

UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE – UNIVILLE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO – PRPPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E MEIO AMBIENTE

**EFEITO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE A MORFOFISIOLOGIA
VEGETAL E A SAÚDE CARDIOVASCULAR EM SERES HUMANOS**

ANA CARENINA GHELLER SCHAIDHAUER

JOINVILLE – SC

2023

ANA CARENINA GHELLER SCHAIDHAUER

EFEITO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE A MORFOFISIOLOGIA VEGETAL
E A SAÚDE CARDIOVASCULAR EM SERES HUMANOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde e Meio Ambiente, Mestrado em Saúde e Meio Ambiente, da Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Saúde e Meio Ambiente, sob orientação do Professor Doutor João Carlos Ferreira de Melo Júnior (Univille) e coorientação do Professor Doutor Paulo Hilário do Nascimento Saldiva (USP).

JOINVILLE - SC

2023

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

S296e Schaidhauer, Ana Carenina Gheller
Efeito da poluição atmosférica sobre a morfofisiologia vegetal e a saúde cardiovascular em seres humanos / Ana Carenina Gheller Schaidhauer; orientador Dr. João Carlos Ferreira de Melo Júnior; coordenador Dr. Paulo Hilário do Nascimento Saldiva. – Joinville: UNIVILLE, 2023.

59 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Saúde e Meio Ambiente – Universidade da Região de Joinville)

1. Sistema cardiovascular - Aspectos da saúde. 2. Ar - Poluição. 3. Biomarcadores. 4. Piperaceae - Fisiologia. I. Melo Júnior, João Carlos Ferreira de (orient.). II. Saldiva, Paulo Hilário do Nascimento (coorient.). III. Título.

CDD 616.12

Elaborada por Ana Paula Blaskovski Kuchnir – CRB-14/1401

Termo de Aprovação

“Efeito da Poluição por Atividade Mineradora sobre a Morfofisiologia Vegetal e a Saúde Cardiovascular em Seres Humanos”

por

Ana Carenina Gheller Schaidhauer

Banca Examinadora:

Prof. Dr. João Carlos Ferreira de Melo Júnior
Orientador (UNIVILLE)

Profa. Dra. Virgínia Grace Barros
(UDESC)

Profa. Dra. Therezinha Mária Novais de Oliveira
(UNIVILLE)

Profa. Dra. Mariane Bonatti Chaves
(UNIVILLE)

Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestra em Saúde e Meio Ambiente, área de concentração Saúde e Meio Ambiente e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Saúde e Meio Ambiente.



Prof. Dr. João Carlos Ferreira de Melo Júnior
Orientador (UNIVILLE)



Prof. Dr. Luciano Lorenzi

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Saúde e Meio Ambiente

Joinville, 31 de março de 2023

Dedico este trabalho ao meu filho, Eduardo, que me motiva a ser uma pessoa melhor a cada dia; às pessoas das comunidades que participaram do estudo, em especial, à Sra Elizangela Teodoro que me apresentou aos moradores vizinhos e às protagonistas, Sra Irdes Neitzel e Sra Andrea Tubin que com sua nobre ajuda tornaram possível a realização desta pesquisa; e ao meu orientador por me inspirar e apoiar nessa jornada.

RESUMO

A cidade de Joinville é a cidade mais industrializada do estado de Santa Catarina, é um dos principais polos econômicos do Sul do país e conta com 590.466 habitantes, sendo aproximadamente 457 habitantes por km² segundo IBGE 2020. O crescimento populacional nos últimos 10 anos está estimado em 14%. A interação das indústrias e da alta densidade populacional com o meio ambiente merece atenção especial pois podem causar desequilíbrios ambientais, como a alta concentração de material particulado fino (PM) na atmosfera. Os elevados níveis de PM no ar ambiente estão associados a injúrias tanto na saúde das plantas quanto na saúde cardiovascular dos seres humanos. Diante de cenários como este, necessitamos visualizar a saúde dentro de um contexto amplo e através do conceito de Saúde Única, em que a saúde animal e a saúde vegetal sejam indissociáveis. A análise da saúde das plantas em um determinado ambiente pode ser utilizada como um biomarcador de poluição, pois o estado de degradação de uma planta normalmente está relacionado com o estado de degradação do seu ambiente. Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar a saúde das plantas e dos seres humanos que vivem em uma região de abrangência a uma mineradora e a uma indústria de peças automobilísticas, aqui denominada área A e comparar com a saúde da mesma espécie de planta e de seres humanos que vivem em uma região mais distante, aqui denominada área B. Trata-se de um estudo observacional e analítico. Para tal, avaliaram-se 45 folhas de 5 indivíduos de *Piper gaudichaudianum* de cada área amostral, 25 pessoas da área A e 25 pessoas da área B no período de novembro de 2021 a fevereiro de 2022. Após a verificação de que os dados não apresentavam distribuição normal, foi realizada a análise por teste não paramétrico de Kruskal Wallis. Os resultados das variáveis analisadas nas plantas traçaram um perfil da fisiologia e morfologia das mesmas. Foram encontrados valores menores de clorofila A, clorofila B, massa fresca, massa seca e área foliar e maiores valores de espessura nas plantas da área A com $P < 0,001$. Em relação às pessoas avaliadas, foi identificado diferença estatística nas variáveis pressão arterial sistólica, pressão arterial diastólica e índice de massa, sendo estas, maiores naqueles que estão expostos à poluição com $p < 0,05$. O PM presente na superfície das plantas foi avaliado quanto ao conteúdo de metais e elementos químicos pelo método de ICP-OES e MEV-

EDX, sendo observada a presença majoritária dos seguintes elementos, Si, Fe, Al, Mg, K, Mn, Zn e Cu. A partir dos resultados encontrados, sugere-se que a poluição por PM presente na área A pode estar associada à elevação dos níveis tensionais em humanos e a graves danos na morfo-fisiologia vegetal. Da mesma forma, a planta estudada se mostrou uma boa espécie a ser utilizada como indicador de qualidade ambiental.

Palavras-chave: Material Particulado, Biomarcador, *Piper*, Saúde Única, Pressão Arterial.

EFFECT OF AIR POLLUTION ON PLANT MORPHOPHYSIOLOGY AND CARDIOVASCULAR HEALTH IN HUMANS

ABSTRACT

The city of Joinville is the most industrialized city in the state of Santa Catarina, it is one of the main economic centers in the South of the Brazil and has 590,466 inhabitants, with approximately 457 inhabitants per km² according to IBGE 2020. Population growth in the last 10 years is estimated by 14%. The interaction of industries and high population density with the environment deserves special attention as they can cause environmental imbalances, such as the high concentration of fine particulate matter (PM) in the atmosphere. Elevated levels of PM in ambient air are associated with damage to both plant health and human cardiovascular health. Faced with scenarios like this, we need to view health within a broad context and through the concept of One Health, in which animal health and plant health are inseparable. The analysis of plant health in a location can be used as a pollution biomarker, as the state of degradation of a plant is usually related to the state of degradation of its environment. Therefore, this study aimed to evaluate the health of plants and human beings living in a region covered by a mining company and an automobilistic industry, here called area A, and compare it with the health of the same species of plant and human beings who live in a more distant region, here called area B. This is an observational and analytical study. For this purpose, 45 leaves of 5 individuals of *Piper gaudichaudianum* from each sample area, 25 people from area A and 25 people from area B were evaluated from November 2021 to February 2022. After verifying that the data did not show normal distribution, the analysis was performed using the non-parametric Kruskal Wallis test. The results of the variables analyzed in the plants traced a profile of their physiology and morphology. Lower values of chlorophyll A, chlorophyll B, fresh mass, dry mass and leaf area and greater thickness values were found in plants from area A with $P < 0.001$. Regarding the people evaluated, a statistical difference was identified in the variables systolic blood pressure, diastolic blood pressure

and mass index, these being greater in those who are exposed to pollution with $p < 0.05$. The PM present on the surface of the plants was evaluated for the content of metals and chemical elements by the ICP-OES and SEM-EDX method, observing the majority presence of the following elements, Si, Fe, Al, Mg, K, Mn, Zn and Cu. Based on the results found, it is suggested that PM pollution present in area A may be associated with increased blood pressure levels in humans and serious damage to plant morphophysiology. Likewise, the studied plant proved to be a good species to be used as an indicator of environmental quality.

Keywords: Particulate Matter, Biomarker, *Piper*, One Health, Blood Pressure.

EFFECTO DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE SOBRE LA MORFOFISIOLOGÍA VEGETAL Y LA SALUD CARDIOVASCULAR EN LOS SERES HUMANOS

RESUMEN

La ciudad de Joinville es la ciudad más industrializada del estado de Santa Catarina, es uno de los principales centros económicos del sur del país y tiene 590.466 habitantes, con aproximadamente 457 habitantes por km² según IBGE 2020. Crecimiento de la población en el últimos 10 años se estima en un 14%. La interacción de las industrias y la alta densidad de población con el medio ambiente merece especial atención, ya que pueden provocar desequilibrios ambientales, como la alta concentración de partículas finas (PM) en la atmósfera. Los niveles elevados de PM en el aire ambiente están asociados con daños tanto a la salud de las plantas como a la salud cardiovascular humana. Ante escenarios como este, necesitamos ver la salud en un contexto amplio y bajo el concepto de Una Salud, en el que la sanidad animal y la sanidad vegetal son inseparables. El análisis de la sanidad vegetal en un entorno determinado puede utilizarse como biomarcador de contaminación, ya que el estado de degradación de una planta suele estar relacionado con el estado de degradación de su entorno. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo evaluar la salud de las plantas y los seres humanos que viven en una región cubierta por una empresa minera y una industria de autopartes, aquí denominada área A, y compararla con la salud de las mismas especies de plantas y seres humanos que viven en una región más distante, aquí llamada área B. Este es un estudio observacional y analítico. Para ello, se evaluaron 45 hojas de 5 individuos de *Piper gaudichaudianum* de cada área de muestra, 25 personas del área A y 25 personas del área B desde noviembre de 2021 hasta febrero de 2022. Luego de verificar que los datos no presentaban una distribución normal, el análisis se realizó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. Los resultados de las variables analizadas en las plantas trazaron un perfil de su fisiología y morfología. Menores valores de clorofila A, clorofila B, masa fresca, masa seca y área foliar y

mayores valores de espesor se encontraron en las plantas del área A con $P < 0.001$. En cuanto a las personas evaluadas, se identificó diferencia estadística en las variables presión arterial sistólica, presión arterial diastólica e índice de masa, siendo estas mayores en quienes están expuestos a la contaminación con $p < 0,05$. Se evaluó el MP presente en la superficie de las plantas para el contenido de metales y elementos químicos por el método ICP-OES y SEM-EDX, observándose la presencia mayoritaria de los siguientes elementos, Si, Fe, Al, Mg, K, Mn, Zn y Cu. Con base en los resultados encontrados, se sugiere que la contaminación por MP presente en el área A puede estar asociada con el aumento de los niveles de presión arterial en humanos y daños graves en la morfofisiología de las plantas. Asimismo, la planta estudiada demostró ser una buena especie para ser utilizada como indicador de calidad ambiental.

Palabras clave: Material Particulado, Biomarcador, *Piper*, Salud Única, Presión Arterial.

SUMÁRIO

1	LISTA DE FIGURAS.....	14
2	LISTA DE TABELAS.....	15
3	LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	16
4	APRESENTAÇÃO GERAL.....	17
5	INTRODUÇÃO.....	19
6	REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO E APRESENTAÇÃO GERAL	24
7	CAPÍTULO 1 - Poluição do ar gerada em região de abrangência industrial: efeito sobre a saúde cardiovascular dos humanos e danos causados à espécie de planta <i>Piper gaudichaudianum</i> (piperaceae).....	29
7.1	RESUMO.....	30
7.2	INTRODUÇÃO.....	32
7.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
7.4	RESULTADOS.....	40
7.5	DISCUSSÃO.....	47
7.6	CONCLUSÕES.....	53
7.7	REFERÊNCIAS.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Imagem ilustrativa em 3D indicando as áreas de estudo (A) e (B) e as duas indústrias, mineral, e, fabricante de peças automobilísticas. Em destaque também, a direção predominante dos ventos e as barreiras naturais que isolam a área B.....	36
Figura 2: Diagrama explicativo sobre a distribuição das amostras coletadas de plantas e análises realizadas.....	38
Figura 3: Gráfico ilustrativo da análise do PCA realizada nas plantas.....	44
Figura 4: Gráfico ilustrativo da análise do PCA realizada nos seres humanos.....	44
Figura 5: Análise do PM ao Microscópico Eletrônico de Varredura (MEV); 1A e 2A – Foto de um indivíduo da área A em 150x e 500x de aumento respectivamente; 1B e 2B – Indivíduo da área B em 150x e 500x de aumento respectivamente.....	45
Figura 6: Análise gráfica qualitativa dos elementos químicos pelo método de dispersão de raios X (EDS) realizado pelo MEV.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características sociodemográficas dos participantes.....	41
Tabela 2 – Tabela de resultados das variáveis avaliadas nas plantas (clorofila A, clorofila B, clorofila total, massa fresca, massa seca, área foliar e espessura) e nos seres humanos. IMC (Índice de Massa Corporal), PAS (Pressão Arterial Sistólica), PAD (Pressão Arterial Diastólica), FC (Frequência Cardíaca), AE (Átrio esquerdo), E/e' (Razão onda E do fluxo mitral e onda E Doppler Tecidual)	43
Tabela 3 – Tabela de resultados da análise de concentração dos elementos químicos do PM por meio de espectrometria por emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (método de ICP-OES)	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PIB – Produto Interno Bruto

MP – Material Particulado

PM – Particulate Matter

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

UFP – Ultrafine Particles

IMC - Índice de Massa Corporal

PAS - Pressão Arterial Sistólica

PAD - Pressão Arterial Diastólica

FC - Frequência Cardíaca

AE - Átrio esquerdo

E/e' - Razão onda E do fluxo mitral e onda E Doppler Tecidual

Imassa – Massa Ventricular Esquerda Indexada pela Superfície Corporal

ICP-OES – Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado

MEV-EDS – Microscopia Eletrônica de Varredura com detector de energia dispersiva por meio de raios X

APRESENTAÇÃO

O município de Joinville, localizado na região norte do estado de Santa Catarina nas coordenadas geográficas 26°18'05''S e 48°50'38''W, apresenta forte vocação industrial com destaque para os setores metalmeccânico, têxtil, plástico, metalúrgico, químico e farmacêutico (IPPUJ 2021). Com uma população estimada em 604.708 habitantes é a cidade mais populosa do Estado, e a terceira mais populosa cidade da região sul do Brasil. Da mesma forma, é a terceira cidade mais rica da região sul e ocupa a 26ª posição a nível nacional com um PIB calculado em 34,5 bilhões de reais no ano de 2019 (IBGE 2021).

Apesar da economia da cidade ser diversificada, com PIB composto por 53% provenientes dos serviços, 33% da indústria e o restante dos serviços públicos e agropecuária (Pereira *et al.* 2019), Joinville é tida como o principal polo industrial do Estado de Santa Catarina (IPPUJ 2021). A indústria é composta de cerca de 2.998 empresas que geram 32% dos empregos da cidade e tem como destaque atividades de fundição de aço e ferro, fabricação de compressores, de eletrodomésticos e de tubos plásticos para a construção civil (Brasil 2016). A construção civil, por sua vez, é representada por 2.448 empresas que somadas empregam aproximadamente 6% dos trabalhadores da cidade (Brasil 2016).

O potencial econômico e industrial da cidade gera crescimento populacional e maior necessidade de obras de infraestrutura e habitacionais (SEPUD 2020). Isto tem como consequência o aumento da degradação ambiental resultante da extração de recursos naturais especialmente minerais como areia e britas bem como o aumento da geração de resíduos industriais, de construção civil e domiciliares (Teixeira & Barbério 2012). Nesse contexto, a poluição do ar, gerada em decorrência da emissão de resíduos por fontes móveis e fixas, desequilibra os sistemas naturais e provoca danos em diferentes organismos, tanto do mundo animal quanto do vegetal (Santos *et al.* 2019).

Sabe-se que a poluição gerada pelas atividades humanas causa graves impactos negativos nas plantas, provocando alterações estruturais e fisiológicas que, por sua vez, reduzem a capacidade fotossintética das mesmas (Santos *et al.* 2019). Do ponto de vista da saúde humana, a poluição ambiental é a principal causa de doenças e mortes prematuras atualmente no mundo (Fuller *et al.* 2018). Estima-se que no ano de 2015, houve nove milhões de mortes prematuras em decorrência da poluição, o que corresponde a três vezes o número de

mortes por AIDS, tuberculose e malária, e, quinze vezes mais que o número de mortes decorrentes de trauma ou violência (Landrigan *et al.* 2018). Por tais razões, há a necessidade de monitorar a qualidade ambiental através de ensaios com espécies vegetais e seres humanos predizendo mecanismos desencadeadores das injúrias à saúde humana e de outros organismos decorrentes da poluição atmosférica a fim de promover políticas públicas de saúde ambiental que possam reduzir estes impactos que além de causarem sofrimento aos impactados geram altos custos aos sistemas de saúde e ao ambiente.

A interdisciplinaridade deste estudo está alicerçada pela análise integrada entre a saúde vegetal e a saúde do ser humano diante dos efeitos causados pela poluição atmosférica derivada da indústria mineral e de peças automobilísticas. Dentro de uma perspectiva integrativa, a qualidade ambiental sob o olhar das ciências biológicas e da medicina busca nesse trabalho, ao se utilizar uma espécie vegetal nativa como biomarcador, corroborar a importância de visualizar a saúde dentro de um contexto amplo, representado pelo conceito da Saúde Única e contribuir com políticas públicas que visem a redução dos índices de poluição do ar.

A partir do exposto, questiona-se: a) A atividade mineradora e atividade industrial, fontes emissoras fixas geradoras de material particulado no ar atmosférico, são capazes de provocar injúrias morfofisiológicas em plantas? b) Seres humanos expostos à uma determinada área de abrangência de poluição por material particulado apresentam alterações cardiovasculares detectadas através do exame físico e do exame de ecocardiograma? c) Injúrias em plantas e em seres humanos provocadas pela poluição atmosférica por atividade industrial relacionam-se entre si no contexto da qualidade e da saúde ambiental?

INTRODUÇÃO GERAL

A crise atual de saúde pública causada pela pandemia por coronavírus alertou o mundo para a intensificação das zoonoses (doenças humanas causadas por patógenos que normalmente infectam animais), assim como, intensifica a obrigação de visualizar a saúde humana dentro de um contexto mais amplo. O conceito de Saúde Única ou “One Health” vem ao encontro de tal necessidade, uma vez que coloca a saúde humana, a saúde animal e a saúde ambiental dentro de um conjunto integrado e indissociável (Rabinowitz *et al.* 2013).

Os esforços interdisciplinares diminuíram no século 20, à medida que medicina e ciência se tornaram cada vez mais especializadas e reducionistas na abordagem da saúde e da doença (Kahn 2011). Contudo, o crescimento das populações humanas, a diminuição da biodiversidade, as doenças infecciosas emergentes, a agricultura intensiva, o desmatamento, as mudanças climáticas, a contaminação ambiental com produtos químicos tóxicos, entre outros, exigem que este novo paradigma seja usado para abordar essas questões: o modelo de Saúde Única (Kahn 2011).

A abordagem One Health pode ser definida como um esforço colaborativo, multidisciplinar e interdisciplinar em nível local, nacional e global para garantir um estado de saúde ideal para humanos, animais e meio ambiente (Calistri *et al.* 2013). Sob este conceito, todos os esforços multidisciplinares devem ser empregados para manter a saúde tanto no plano individual, populacional e do ambiente ou ecossistema ou, em outras palavras, os componentes geográfico, ecológico, atividade humana e a agricultura alimentar na mesma sintonia (Calistri *et al.* 2013).

O termo degradação ambiental se refere à redução temporária ou permanente da capacidade produtiva de um sítio como resultado de ação antrópica, e pode também expressar perdas na estrutura, produtividade e diversidade de espécies nos ecossistemas (de Moraes *et al.* 2010). Quanto mais distúrbios naturais à vegetação, menor será a resiliência ambiental, menos estáveis e potencialmente mais difíceis de restabelecer a dinâmica ecossistêmica e a integridade de suas comunidades de organismos (de Moraes *et al.* 2010). Nesse cenário, abre-se uma ferida provocada por ações antrópicas que atinge não somente os ecossistemas e a sua funcionalidade, como também a qualidade de vida humana. Dentre os principais distúrbios ambientais de

origem antrópica está a poluição ambiental que pode ser percebida em diferentes condições espaciais e temporais, com destaque à poluição do solo, da água e do ar (CETESB 2021).

A poluição do ar é uma mistura complexa de fase gasosa e materiais particulados (MP) ou PM (sigla proveniente do inglês) que variam em função da composição química e física, da fonte emissora e do tamanho da partícula (CETESB 2006). Resumidamente, o material particulado é amplamente categorizado pelo diâmetro aerodinâmico: $<0,1 \mu\text{m}$ (partículas ultrafinas [UFP], $<2,5 \mu\text{m}$ (partículas finas [PM_{2,5}]) e entre 2,5 e 10 μm (partículas grossas [PM₁₀]) (Brook *et al.* 2010). Hoje, a principal fonte de PM_{2,5} em todo o mundo é a queima de combustíveis fósseis dentro das atividades industriais, no tráfego de veículos e nos processos de geração de energia, sendo que tais partículas são capazes de atingirem os alvéolos, ou seja, são inaláveis, enquanto que as partículas maiores, PM₁₀, podem em parte, ficar retidas nas vias aéreas superiores (CETESB 2021). A queima de biomassa, aquecimento, cozimento, atividades internas e fontes não humanas (por exemplo, incêndios) também são fontes relevantes. (CETESB 2006; Brook *et al.* 2010).

A emissão veicular é uma das fontes mais importantes de material particulado, no entanto, esse predomínio de poluição veicular pode estar alterado nas periferias das cidades devido aos distritos industriais que agregam fontes adicionais de poluição do ar às populações vulneráveis que habitam tais localidades (Locosselli *et al.* 2020). Grande parte da poluição industrial vem da fabricação de produtos a partir de matérias-primas e da fabricação de seus subprodutos, à exemplo, o ferro extraído do minério em uma indústria, é transformado em peça de automóvel em outra, e partir desta, diversas substâncias podem ser liberadas no ambiente, tais como gases, óxidos de metais e PM (Boubel *et al.* 2013).

Assim como qualquer outra atividade industrial, a mineração é uma potencial fonte emissora de partículas finas contendo metais pesados e poluentes orgânicos (Huang *et al.* 2019) os quais podem provocar injúrias em diferentes organismos da fauna, da flora (Bujokas 2009) e também em seres humanos (Souza *et al.* 2017). A construção civil e a mineração para o fornecimento de produtos para execução de projetos do setor contribuem significativamente no que se refere ao impacto direto sobre o meio ambiente, já que a mineração da pedra britada além do processo de quebra das rochas, com liberação de poeira ou “fino de pedra”, também utiliza a química como auxílio para melhor desempenho de seus produtos, tais como enxofre e

o tetracloroetileno (Mathias *et al.* 2020). Portanto, a atividade mineradora em jazidas de rochas de origem intrusiva é uma importante fonte de emissão de PM no ar atmosférico, dada a dinâmica característica dessa atividade quanto ao uso de maquinários que fragmentam, extraem e moem as rochas, gerando diferentes tamanhos de PM (Huang *et al.* 2019).

Nas plantas, diversas são as injúrias provocadas pela poluição ambiental. Sombreamento, fechamento dos estômatos e diminuição do fluxo de CO₂ decorrentes da deposição do material particulado já foram descritos (Oliveira *et al.* 2011). Da mesma forma, tem-se como uma das consequências a redução na fotossíntese e, por conseguinte, a diminuição do crescimento do corpo da planta (Pourkhabbaz *et al.* 2010). Outras alterações fisiológicas e bioquímicas, como mudanças nas atividades enzimáticas e fotossintéticas, também foram relatadas (Pedroso 2007; Pourkhabbaz *et al.* 2010). Há estudos que mostraram até mesmo modificações genéticas significativas (Fleck *et al.* 2015).

Em outras análises, a poluição atmosférica gerou danos funcionais e estruturais nas plantas (Larcher 2006), tais como alterações genéticas, aumento na concentração de hormônios vegetais relacionados ao estresse, aumento ou diminuição da respiração, distúrbios na fotossíntese e alterações na abertura e fechamento estomático (Pedroso 2007), além de alteração morfoanatômica, como necrose em tecidos e órgãos, que podem evoluir, levando o indivíduo à morte (Manning & Feder 1980).

A redução da produção fotossintética, causada pela obstrução dos estômatos e pela redução da captação da luz, reflete a baixa capacidade de alocação de recursos pelo vegetal com consequente redução no seu crescimento. Essa relação foi constatada nas populações de *Inga edulis* Mart. (Fabaceae), de uma área urbana com valor médio de material particulado de 0,29mg/cm², cujas folhas sofreram injúrias demonstradas pela redução de área, menor alocação de biomassa e menor retenção de água em comparação à área controle (Cavallaro *et al.* 2018).

Em análise comparativa de amostras da espécie *Tibouchina granulosa* (Desr.) Cogn. (Melastomataceae) de uma região próxima à uma indústria de fundição e importantes vias de trânsito da cidade de Joinville-SC versus área rural (controle) corroboraram a relação inversa entre níveis de poluição e espessura do mesófilo e do limbo (Melo Junior *et al.* 2014). Esta relação inversa também foi significativa em outro estudo realizado na região que avaliou o efeito da poluição sobre a espécie *Alchornea granulosa* (Euphorbiaceae). As amostras coletadas

nas imediações de uma indústria metalomecânica evidenciaram menor desenvolvimento foliar, com destaque às massas fresca e seca, ao conteúdo de água e à área foliar, assim como, menor desenvolvimento de tecidos fotossintetizantes nas folhas dos indivíduos localizados na imediação das áreas poluídas em relação à área controle (Santos *et al.* 2019).

Do ponto de vista da saúde humana, sabe-se que a poluição ambiental é a principal causa de doenças e mortes prematuras e reversíveis atualmente no mundo (Landrigan *et al.* 2018). O entendimento científico da escala e do padrão da poluição e sua associação com uma ampla gama de doenças, particularmente doenças não transmissíveis, forneceu uma estrutura melhor para a compreensão do verdadeiro impacto global da poluição. Ajudando a concentrar a atenção no meio ambiente como um determinante dos desfechos em saúde (Fuller *et al.* 2018).

A maioria dos estudos que ligam as doenças cardiovasculares (DCVs) com exposições ao PM focou na massa das partículas, portanto, essa associação é avaliada e relatada em estudos epidemiológicos e toxicológicos revisados (Pope & Dockery 2006; Brook 2008; Simkhovich *et al.* 2008). Com relação aos compostos “tóxicos” específicos dentro do material particulado, algumas linhas evidenciam a ideia de que metais de transição, compostos orgânicos, semiquinonas e endotoxinas são os mais relevantes em relação à promoção de DCVs (Hayes *et al.* 2020; Miller & Newby 2020). Além, das PM_{2,5}, que em sua maioria são resultado da queima de combustíveis fósseis, sabe-se que as UFP e, também, as PM₁₀ no aumentam o risco para o desenvolvimento das DCVs (Liu *et al.* 2021). A poeira da estrada e do vento proveniente de práticas agrícolas e de certas instalações industriais (por exemplo, indústria mineral) também contribuem para essas partículas, que são tipicamente na faixa grossa (PM₁₀) (Brook *et al.* 2010).

Mais de 90% da população global está exposta a níveis que excedem as diretrizes de qualidade do ar (DQA) da Organização Mundial da Saúde de $10 < \mu\text{g}/\text{m}^3$ para níveis anuais de PM_{2,5} (WHO 2019). A poluição do ar em muitas partes da Ásia rotineiramente excede $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, onde mais de 99% das pessoas estão expostas a níveis acima do DQA anual. Durante episódios extremos de poluição do ar ambiente, PM_{2,5} pode até mesmo atingir concentrações extraordinárias acima de 500 a 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, níveis que estão no mesmo patamar de toxicidade do fumo ativo (Brook *et al.* 2017).

Ainda dentro do ponto de vista cardiovascular, sabe-se que exposições de curto prazo ao PM_{2,5} aumentam o risco relativo de Infarto Agudo do Miocárdio (IAM) em 2,5% para cada elevação de 10µg/m³ (Mustafic *et al.* 2012). Dado o fato de que a exposição à poluição do ar ocorre ao longo da vida, a exposição repetitiva e quase contínua à poluição do ar tem sido hipotetizada como promotora de aterosclerose e eventos recorrentes de doença coronariana (Brook *et al.* 2010).

O estudo multicêntrico europeu ESCAPE demonstrou que a exposição a longo prazo a poluição com material particulado está associada a um aumento no risco do primeiro evento coronariano. A associação aconteceu tanto para o PM_{2,5} quanto para o PM₁₀ e em ambos os casos ocorreram em níveis de poluição abaixo do considerado adequado pela União Européia (Cesaroni *et al.* 2014). Pacientes com doença coronariana de base parecem apresentar maior risco. Foi o que se evidenciou em um estudo realizado em um hospital de Utah. Este estudo mostrou significância estatística no aumento de casos de infartos em pessoas que já possuíam obstruções coronarianas após exposição aguda e de curto prazo ao PM_{2,5} (Pope *et al.* 2015).

Um amplo corpo de evidências atualmente implica a poluição atmosférica no desenvolvimento dos riscos cardiometabólicos tais como hipertensão e resistência à insulina. Há pelo menos 4 meta-análises recentes associando a poluição do ar à hipertensão (Liang *et al.* 2014; Giorgini *et al.* 2015; Cai *et al.* 2016; Yang *et al.* 2018). Elevações de PM_{2,5} em 10µg/m³ são consistentemente associadas a incrementos de 1 a 3 mmHg na pressão sanguínea sistólica e diastólica, mesmo considerando exposições de poucos dias (Rajagopalan *et al.* 2018). Exposição aguda ao ar poluído mostrou ser fator desencadeador de arritmia do tipo Fibrilação Atrial. Em 2016, uma metanálise de 4 estudos envolvendo mais de 460.000 indivíduos, observou que a cada aumento de 10µg/m³ de PM_{2,5}, esteve associado a um aumento no risco de desenvolver fibrilação atrial em 0,89% (Shao *et al.* 2016).

Por tais razões considera-se de grande importância o monitoramento da qualidade do ar, conforme já foi preconizado pela OMS (OMS 2005). No Brasil, foi criado o Pronar (Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar), em 1989, pelo conselho Nacional do Meio Ambiente, que tem como uma de suas premissas a implantação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar no país (Vormittag *et al.* 2021). Apesar de já ter se passado mais de 30 anos da sua criação, ainda não há centrais de monitoramento no estado de Santa Catarina, sendo que o

sudeste abriga 80% das 371 estações ativas no país e menos de 40% das estações brasileiras de monitoramento são capazes de avaliar todos os tipos de poluentes (Vormittag *et al.* 2021).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boubel, R.W., Vallero, D., Fox, D.L., Turner, B. & Stern, A.C. (2013). *Fundamentals of Air Pollution*. 3rd edn. Elsevier.
- Brasil. (2016). Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). *Ministério do Trab. e emprego*.
- Brook, R.D. (2008). Cardiovascular effects of air pollution. *Clin. Sci.*, 115, 175–187.
- Brook, R.D., Newby, D.E. & Rajagopalan, S. (2017). The global threat of outdoor ambient air pollution to cardiovascular health: Time for intervention. *JAMA Cardiol.*, 2, 353–354.
- Brook, R.D., Rajagopalan, S., Pope, C.A., Brook, J.R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., *et al.* (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the american heart association. *Circulation*, 121, 2331–2378.
- Bujokas, W.M. (2009). Influência da poeira de fábrica de cimento nas características químicas da precipitação e no crescimento, nos teores de clorofila e na nutrição de *Schinus terebinthifolius raddi* (anacardiaceae). Universidade Federal do Paraná.
- Cai, Y., Zhang, B., Ke, W., Feng, B., Lin, H., Xiao, J., *et al.* (2016). Associations of Short-Term and Long-Term Exposure to Ambient Air Pollutants With Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Hypertension*, 68, 62–70.
- Calistri, P., Iannetti, S., L. Danzetta, M., Narcisi, V., Cito, F., Di Sabatino, D., *et al.* (2013). The Components of “One World - One Health” Approach. *Transbound. Emerg. Dis.*, 60, 4–13.
- Cavallaro, R., Melo Junior, J.C.F. de, Chaves, M.B. & Nogueira, A.L. (2018). Biomonitoramento da qualidade ambiental: Respostas estruturais de uma espécie arbórea nativa submetida à poluição atmosférica. *Cad. Publicação UNIVAG*, 8, 85–108.
- Cesaroni, G., Forastiere, F., Stafoggia, M., Andersen, Z.J., Badaloni, C., Beelen, R., *et al.* (2014). Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: Prospective cohort study and meta-analysis in 11 european cohorts from the escape project. *BMJ*, 348, 1–16.

- CETESB. (2006). Avaliação dos teores de partículas Inaláveis no Município de Panorama. *Cia. Tecnol. Saneam. Ambient.*
- CETESB. (2021). Relatório da qualidade do ar no Estado de São Paulo. *Secr. Meio Ambient. São Paulo CETESB.*
- Fleck, A. da S., Moresco, M.B. & Rhoden, C.R. (2015). 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. *Atmos. Pollut. Res.*, 7, 488–493.
- Fuller, R., Rahona, E., Fisher, S., Caravanos, J., Webb, D., Kass, D., *et al.* (2018). Pollution and non-communicable disease: time to end the neglect. *Lancet Planet. Heal.*, 2, e96–e98.
- Giorgini, P., Di Giosia, P., Grassi, D., Rubenfire, M., D. Brook, R. & Ferri, C. (2015). Air Pollution Exposure and Blood Pressure: An Updated Review of the Literature. *Curr. Pharm. Des.*, 22, 28–51.
- Hayes, R.B., Lim, C., Zhang, Y., Cromar, K., Shao, Y., Reynolds, H.R., *et al.* (2020). PM2.5 air pollution and cause-specific cardiovascular disease mortality. *Int. J. Epidemiol.*, 49, 25–35.
- Huang, Y., Bao, M., Xiao, J., Qiu, Z. & Wu, K. (2019). Effects of PM2.5 on cardio-pulmonary function injury in open manganese mine workers. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16.
- IBGE. (2021). *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Available at: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>. Last accessed .
- IPPUJ. (2021). *Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville. Cid. em dados*. Available at: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2021/12/Joinville-Cidade-em-Dados-2021---Desenvolvimento-Econômico.pdf>. Last accessed 24 outubro 2022.
- Kahn, L.H. (2011). The need for one health degree programs. *Infect. Ecol. Epidemiol.*, 1, 7919.
- Landrigan, P.J., Fuller, R., Acosta, N.J.R., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N.N., *et al.* (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet*, February, 462–512.
- Larcher, W. (2006). *Ecofisiologia Vegetal*. Rima, São Carlos, São Paulo.
- Liang, R., Zhang, B., Zhao, X., Ruan, Y., Lian, H. & Fan, Z. (2014). Effect of exposure to PM2.5 on blood pressure: A systematic review and meta-analysis. *J. Hypertens.*, 32,

2130–2141.

- Liu, Y., Pan, J., Fan, C., Xu, R., Wang, Y., Xu, C., *et al.* (2021). Short-Term Exposure to Ambient Air Pollution and Mortality From Myocardial Infarction. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 77, 271–281.
- Locosselli, G.M., Moreira, T.C.L., Chacón-Madrid, K., Arruda, M.A.Z., Camargo, E.P. de, Kamigauti, L.Y., *et al.* (2020). Spatial-temporal variability of metal pollution across an industrial district, evidencing the environmental inequality in São Paulo. *Environ. Pollut.*, 263.
- Manning, W.J. & Feder, W.A. (1980). *Biomonitoring air pollutants with plants*. Applied Science Publishers., London.
- Mathias, R.V., Azevedo, B.M., Campos, F.L.S. & Gonçalves, M.B. (2020). Gestão de resíduos como movimentos de interação com as práticas sustentáveis: um estudo realizado em uma empresa da construção civil pesada e na mineração de pedra britada. *Brazilian J. Dev.*, 6, 21395–21407.
- Melo Junior, J.C.F. de, Raimundo, C.M. & Amorim, M.W. (2014). Efeito da poluição atmosférica em folhas de *Tibouchina granulosa* (Desr.) Cogn. (Melastomataceae). *Acta Biológica Catarinense*, 1, 65–72.
- Miller, M.R. & Newby, D.E. (2020). Air pollution and cardiovascular disease: Car sick. *Cardiovasc. Res.*, 116, 279–294.
- de Moraes, L.F.D., Campello, E.F.C. & Franco, A.A. (2010). Restauração florestal: Do diagnóstico de degradação ao uso de indicadores ecológicos para o monitoramento das ações. *Oecologia Aust.*, 14, 437–451.
- Mustafic, H., Jabre, P., Caussin, C., Murad, M.H., Escolano, S., Tafflet, M., *et al.* (2012). Main Air Pollutants and Myocardial Infarction A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA*, 307, 713–721.
- Oliveira, W.L. de, Medeiros, M.B. de, Moser, P., Pinheiro, R. & Olsen, L.B. (2011). Regeneração e estrutura populacional de jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L.), em dois fragmentos com diferentes graus de perturbação antrópica. *Acta Bot. Brasilica*, 25, 876–884.
- OMS. (2005). WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and

- sulfur dioxide: global update 2005: summary of risk assessment. *Organ. Mund. da Saúde*.
- Pedroso, A.N.V. (2007). Poluentes atmosféricos e Plantas bioindicadoras. Instituto de Botânica, São Paulo.
- Pereira, P.T. do V., Tonelli, S. & Ferreira, C. (2019). Caderno de Desenvolvimento de Santa Catarina - Joinville. *SEBRAE SC*.
- Pope, C.A. & Dockery, D.W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 56, 709–742.
- Pope, C.A., Muhlestein, J.B., Anderson, J.L., Cannon, J.B., Hales, N.M., Meredith, K.G., *et al.* (2015). Short-term exposure to fine particulate matter air pollution is preferentially associated with the risk of ST-segment elevation acute coronary events. *J. Am. Heart Assoc.*, 4, 1–10.
- Pourkhabbaz, A., Rastin, N., Olbrich, A., Langenfeld-Heysler, R. & Polle, A. (2010). Influence of environmental pollution on Leaf properties of urban plane trees, *Platanus orientalis* L. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 85, 251–255.
- Rabinowitz, P.M., Kock, R., Kachani, M., Kunkel, R., Thomaz, J., Gilbert, J., *et al.* (2013). Toward Proof of concept of a one health Approach to Disease Prediction and Control. *Emerg. Infect. Dis.*, 19, 1–10.
- Rajagopalan, S., Al-Kindi, S.G. & Brook, R.D. (2018). Air Pollution and Cardiovascular Disease: JACC State-of-the-Art Review. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 72, 2054–2070.
- Santos, G.S. dos, Santos, M.D. dos, Melo Junior, J.C.F. de, Chaves, M.B., Mougá, D.M. da S. & Gumboski, E.L. (2019). Avaliação do potencial bioindicador de *Alchornea glandulosa* no monitoramento da poluição atmosférica. *Acta Biológica Catarinense*, 6, 93–102.
- SEPUD. (2020). *Cidade em Dados. Secr. Planej. Urbano e Desenvol. da Prefeitura Munic. Joinv. - Cid. em Dados.* Available at: <https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/joinville-cidade-em-dados-2020/>. Last accessed 24 outubro 2022.
- Shao, Q., Liu, T., Korantzopoulos, P., Zhang, Z., Zhao, J. & Li, G. (2016). Association between air pollution and development of atrial fibrillation: A meta-analysis of observational studies. *Hear. Lung J. Acute Crit. Care*, 45, 557–562.
- Simkhovich, B.Z., Kleinman, M.T. & Kloner, R.A. (2008). Air Pollution and Cardiovascular

- Injury. *Epidemiology, Toxicology, and Mechanisms. J. Am. Coll. Cardiol.*, 52, 719–726.
- Souza, T.P., Watte, G., Gusso, A.M., Souza, R., Moreira, J. da S. & Knorst, M.M. (2017). Silicosis prevalence and risk factors in semi-precious stone mining in Brazil. *Am. J. Ind. Med.*, 60, 529–536.
- Teixeira, M.C.V. & Barbério, A. (2012). A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Rev. Ambient. e Agua*, 7, 279–292.
- Vormittag, E.D.M.P.A.D.A., Cirqueira, S.S.R., Neto, H.W. & Saldiva, P.H.N. (2021). Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. In: *Estudos Avancados*. p. 7–30.
- WHO. (2019). Air Pollution, October, 5.
- Yang, B.Y., Qian, Z., Howard, S.W., Vaughn, M.G., Fan, S.J., Liu, K.K., *et al.* (2018). Global association between ambient air pollution and blood pressure: A systematic review and meta-analysis. *Environ. Pollut.*, 235, 576–588.



CAPÍTULO 1

Poluição do ar gerada em região de abrangência industrial: efeito sobre a saúde cardiovascular dos humanos e danos causados à espécie de planta *Piper gaudichaudianum* (piperaceae)

Ana Carenina Gheller Schaidhauer
João Carlos Ferreira Melo Junior

Poluição do ar gerada em região de abrangência de uma mineradora de rocha: efeito sobre a saúde cardiovascular dos humanos e danos causados à espécie de planta *Piper gaudichaudianum* (Piperaceae).

Air pollution generated in a region covered by a rock mining company: effect on human cardiovascular health and damage caused to the plant species *Piper gaudichaudianum* (Piperaceae).

RESUMO A poluição atmosférica decorrente das atividades antrópicas é uma mistura complexa de gases e material particulado (PM), sendo considerada como uma das principais causas de morte prematura no mundo atual. Sabidamente está associada a danos à saúde humana, tais como, doenças cardiovasculares, respiratórias, cânceres e transtornos do humor. Da mesma forma, é capaz de interferir diretamente nas espécies vegetais, reduzindo sua capacidade fotossintética, seu crescimento e até mesmo, morte celular. Trata-se de estudo observacional que avaliou uma região de abrangência de duas indústrias: uma mineradora de grande porte que produz matéria prima para a construção civil tais como areia, saibro, britas e derivados; e uma fábrica de peças para sistema de frenagem de automóveis, tais como discos de freio, tambores de freio e cubos de roda. A atividade mineradora em jazidas de rochas de origem intrusiva é considerada fonte de emissão de MP de diversos tamanhos no ar atmosférico, da mesma forma que a atividade industrial. Foram selecionadas 25 pessoas que trabalham ou residem dentro da área de abrangência das indústrias citadas (área A) e 25 pessoas residentes em uma região mais afastada e com baixo tráfego de veículos (área B) para avaliação dos sinais vitais e realização de ecocardiograma transtorácico. Dentro do mesmo princípio, foram coletadas folhas de plantas nativas da espécie *Piperaceae* em ambas as localizações e avaliadas em laboratório. O MP acumulado sobre as folhas foi avaliado por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por meio de espectrometria por emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES). Verificou-se diferença estatística ($P < 0,05$) nos níveis de pressão arterial sistólica (PAS), pressão arterial diastólica (PAD) e índice de massa ventricular esquerda ao ecocardiograma, sendo maiores nas pessoas da área A. Na análise das plantas,

30

houve diferença estatística em todas as características avaliadas, níveis de clorofila, massa fresca, massa seca e área foliar estavam reduzidos e a espessura estava aumentada na área A ($P < 0,001$). A análise do MP evidenciou o predomínio da presença de elementos químicos silício, ferro e alumínio. O presente estudo sugere que a poluição por material particulado é prejudicial tanto para os humanos quanto para a flora, corroborando a necessidade de um melhor monitoramento da qualidade do ar e uma abordagem da saúde humana mais abrangente e universal (Saúde Única).

Palavras-chave: material particulado, poluição atmosférica, mineração, saúde cardiovascular, *Piper gaudichaudianum*, *Piperaceae*, saúde única.

ABSTRACT Air pollution resulting from human activities is a complex mixture of gases and particulate matter (PM) and is considered one of the main causes of premature death in the world today. It is known to be associated with damage to human health, such as cardiovascular and respiratory diseases, cancer and mood disorders. Likewise, it is capable of directly interfering with plant species, reducing their photosynthetic capacity, growth and even cell death. This is an observational study that evaluated a region covered by two industries: a large mining company that produces raw materials for civil construction, such as sand, gravel, gravel and derivatives; and a factory of parts for car braking systems, such as brake discs, brake drums and wheel hubs. Mining activity in intrusive rock deposits is considered a source of PM emission of different sizes in the atmospheric air, in the same way as industrial activity. 25 people who work or live within the coverage area of the industries (area A) and 25 people residing in a more remote region and with low vehicle traffic (area B) were selected for the evaluation of vital signs. and performing a transthoracic echocardiogram. Within the same principle, leaves of native plants of the Piperaceae species were collected in both locations and evaluated in the laboratory. The particulate matter accumulated on the leaves was evaluated by scanning electron microscopy (SEM) and by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). There was a statistical difference ($P < 0.05$) in the levels of systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP) and left ventricular mass index on the echocardiogram, being higher in exposed people in area A. In the analysis of plants, there was a statistical difference in all evaluated characteristics, chlorophyll levels, fresh mass, dry mass

and leaf area were reduced and thickness was increased in area A ($P < 0.001$). The PM analysis showed the presence of predominant chemical elements such as silicon, iron and aluminum. The present study suggests that pollution by particulate matter is harmful for both humans and flora, corroborating the need for better monitoring of air quality and a more comprehensive and universal approach to human health (One Health).

Keywords: particulate matter, air pollution, mining, cardiovascular health, *Piper gaudichaudianum*, Piperaceae, unique health.

1. INTRODUÇÃO

A humanidade enfrenta problemas relacionados à poluição do ar desde tempos antigos como em Atenas (430aC) e Roma (150dC), onde as emissões de casas, fornos de fundição, cerâmicas e outras oficinas pré-industriais escureceu os céus (Hughes 1996). O advento da revolução industrial, a partir dos anos de 1760, foi um marco no desenvolvimento da sociedade moderna em termos de tecnologia e fornecimento de serviços, entretanto, desde então a quantidade de poluentes lançados no ar atmosférico foi paulatinamente se intensificando (WHO 2019). A produção do carvão cresceu exponencialmente e o seu uso nas grandes cidades e no setor industrial em rápida expansão fez com que a poluição do ar atingisse níveis sem precedentes ainda no século XIX (Mosley 2014). A observação de danos à saúde humana e ao meio ambiente decorrentes da poluição do ar foram descritas por diversos autores ainda no início do século XX. Enquanto botânicos descreviam sobre danos à flora de parques de Manchester e Nova York na década de 1920, médicos descreviam evidências sobre raquitismo, doenças pulmonares e humor deprimido entre pessoas que habitavam os grandes centros urbanos (Mosley 2008).

Somaram-se na atualidade às fontes emissoras fixas de poluentes, representadas pelas indústrias, diversas fontes móveis de poluição atmosférica, dentre as quais destacam-se os meios de transporte. O uso em massa do automóvel aumentou drasticamente a emissão de ozônio, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono, dióxido de enxofre e compostos orgânicos voláteis como o benzeno (Mosley 2014). Essas substâncias ficam suspensas no ar através de

micropartículas sólidas ou líquidas, denominadas de material particulado (MP) ou PM, proveniente da sigla em inglês, sendo categorizadas por seu tamanho em micrômetros em PM_{2,5}, PM₁₀ e partículas ultrafinas, menores que 0,1 µm (Brook *et al.* 2004).

A poluição do ar é capaz de produzir diversos danos na saúde humana, nas diferentes fases da vida (Landrigan *et al.* 2018). Os problemas respiratórios foram os primeiros a serem identificados e pesquisados através dos estudos epidemiológicos, devido à grande área de contato entre a superfície respiratória e o meio ambiente (Arbex *et al.* 2012). Nos últimos anos, vários estudos vem associando a poluição do ar com aumento na incidência e no número de óbitos por doenças cardiovasculares, tanto em exposições a curto quanto a longo prazo (Brook *et al.* 2010; Franklin *et al.* 2015; Hayes *et al.* 2020; Miller & Newby 2020). Algumas linhas de pesquisa sugerem o aumento na incidência de câncer de pulmão (Hamra *et al.* 2014), enquanto outras relacionam a poluição a problemas na vida intra uterina com prejuízos no desenvolvimento do feto (Carvalho *et al.* 2020) e doenças de neuro comportamento infantil (Dutheil *et al.* 2021). A associação entre ambientes poluídos e transtornos do humor, como depressão e aumento nas taxas de suicídio, também já foi descrita (Gladka *et al.* 2018).

No entanto, a espécie humana não é a única a ser atingida pela poluição. Os ecossistemas são diretamente afetados tanto pelas mudanças na composição do ar quanto pelas substâncias que precipitam sobre o solo e os corpos hídricos (de Moraes *et al.* 2010). Diversas injúrias já foram identificadas nas plantas, tais como alterações estruturais e funcionais (Larcher 2006). Estudos têm demonstrado os efeitos negativos dos poluentes sobre os vegetais, especialmente nas folhas, por ser órgão mais exposto do corpo da planta. Entre as pesquisas realizadas, são citadas como resultado do efeito da poluição atmosférica as seguintes alterações: a) aumento ou diminuição na produção de certas enzimas; b) alterações genéticas; c) aumento na concentração de hormônios vegetais relacionados ao estresse e outros metabólitos secundários; d) senescência foliar; e) distúrbios no aparelho fotossintético; f) alterações anatômicas na epiderme, tecidos vasculares e parênquima (Melo Junior *et al.* 2014). Por tal razão, a saúde deve ser entendida dentro de um contexto amplo, que englobe todas as espécies que habitam um determinado ambiente. O conceito “One Health” traz a saúde dentro de uma estrutura holística de conhecimento onde a saúde das plantas é considerada como parte indissociável da saúde humana (Morris *et al.* 2022).

O monitoramento da qualidade do ar na região Sul do Brasil é insuficiente, em especial no estado de Santa Catarina, cujo processo de instalação dos sensores de poluição do ar está em fase inicial (Vormittag *et al.* 2021). As plantas são os principais receptores dos poluentes gasosos e particulados da atmosfera, portanto seu uso como biomonitores da qualidade do ar, é uma alternativa viável, principalmente em locais onde não há um sistema de monitoramento estabelecido (Rai 2016). As espécies são divididas entre sensíveis, que indicam a presença de um poluente através de alterações na sua morfologia, anatomia ou fisiologia e espécies acumuladoras, que são capazes de concentrar os poluentes nos seus corpos (Zhou *et al.* 2008). O presente estudo, transversal e observacional, tem como objetivo avaliar os efeitos da poluição do ar gerada por duas indústrias, uma mineradora e uma fabricante de peças automotivas, na saúde cardiovascular dos seres humanos que habitam os seus arredores assim como avaliar a saúde de uma espécie de planta que faz parte do bioma local. E, de tal modo, estudar a saúde de um ponto de vista abrangente, já que as plantas podem ser consideradas como biomarcadores da qualidade ambiental.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo e desenho amostral

A área de estudo localiza-se no município de Joinville, região norte do Estado de Santa Catarina (26°18'05''S, 48°50'38''W). É a terceira maior cidade industrial do Sul do Brasil, com população estimada em 604.708 habitantes e ocupa a 26ª posição no ranking de PIB entre os 5.570 municípios brasileiros conforme o último censo econômico realizado em 2019 (IBGE 2021). Concentra grande parte da atividade econômica com destaque para os setores metalmeccânico, têxtil, plástico, metalúrgico, químico e farmacêutico (IPPUJ 2021). 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. As chuvas são abundantes durante todo o

ano, mas ocorrem com maior frequência no verão (Climate-data 2022). A cobertura vegetal do município é caracterizada por remanescentes do bioma atlântico, com destaque à formações da Floresta Ombrófila Densa (FOD), incluindo as subformações de FOD de Terras Baixas, FOD submontana e FOD montana, além dos bosques de Manguezal (Melo Junior *et al.* 2017).

A região apresenta ventos predominantes de quadrante leste, aproximadamente 22% dos dias do ano, sendo que ventos norte, nordeste, noroeste e oeste, somados, ocorrem em 24% dos dias, ventos sul, sudeste e sudoeste corresponderiam a aproximadamente 37% dos dias do ano e os dias restantes 17% seriam de calmaria (Gonçalves 1993). Considerando as estações do ano, no verão o predomínio é de ventos oriundos de quadrante nordeste; no inverno predominam os ventos sudeste-sudoeste devido ao movimento das massas polares; no outono podem ter ventos de quadrante sul ou sudeste; e na primavera podem ter ventos oriundos do sul seguidos de lestadadas que podem durar vários dias (Barbosa 2009).

A indústria de minérios encontra-se em uma região de transição do Complexo Granulítico Santa Catarina e o Granito Piraí (Ternes *et al.* 2001). A elevada resistência dos materiais rochosos requer que sejam aplicados alguns procedimentos específicos para a realização de sua extração, como explosivos e modernas perfuratrizes (Meurer 2015). Um estudo que avaliou as constituição da rocha das mineradoras da cidade, classificou a rocha da indústria citada neste estudo como Metatonalito, por serem compostas por Quartzo (36%), Plagioclásio (29%), Anfibólito (22%), Piroxênio (7%), Biotita (4%) e Opacos (2%), sendo rochas com elevado percentual de Dióxido de Silício (SiO_2) (Meurer 2015).

Foram selecionados dois pontos amostrais assim caracterizados: 1) Área A - este ponto está na área geográfica de abrangência de uma mineradora de grande porte e de uma indústria fabricante de peças de sistemas de frenagem de automóveis, localizada na Zona Industrial Norte de Joinville, e sua área perimetral dentro do raio de 540 metros de seu entorno; 2) Área B - este ponto encontra-se na área geográfica do Bairro Rio Bonito, distrito de Pirabeiraba, em uma distância de aproximadamente 1200 metros da mineradora em linha reta, tida como área controle. Destaca-se que a área A se encontra nas imediações das duas empresas e a área B apresenta barreiras físicas entre as indústrias, um morro recoberto de mata nativa separando-a da mineradora, com relevo estimado em 200 metros (Google Earth) e uma área de vegetação

nativa entre a indústria de freios (Figura 1). A direção dos ventos que predominam na época do ano na qual o estudo foi realizado também se encontra ilustrada (Figura 1).



Figura 2: Imagem de satélite em 3D da localização das áreas de estudo e de duas indústrias no município de Joinville, Santa Catarina. Legenda: Área residencial A (Área A), Área residencial B (Área B), indústria de minérios e indústria de peças automobilísticas. A direção dos ventos predominantes no período do ano em que o estudo foi realizado está indicado pelas setas. Em destaque as barreiras naturais que isolam a área B (***). Fonte Google Earth.

2.2. Seleção e análise clínica dos seres humanos

Pessoas acima de 18 anos residentes nas proximidades das indústrias ou trabalhadoras das mesmas foram convidadas a participarem do estudo como integrantes do grupo da área A. Em relação ao grupo da área B, foi selecionada uma comunidade de casas em uma localidade

mais afastada, livre de indústrias. As pessoas acima de 18 anos moradoras dessa localidade foram convidadas a participarem do estudo fazendo parte do grupo área B. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Univille em novembro de 2021, sob o parecer número 5.078.508, e todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Os critérios de exclusão para ambos os grupos foram pessoas acima de 75 anos, com histórico de cardiopatia estrutural prévia ou que moravam há menos de 1 ano nas localidades.

No total, foram selecionadas 50 pessoas, entre novembro de 2021 e janeiro de 2022. Destas, as 25 que foram alocadas no grupo área A, possuíam entre 21 e 72 anos, sendo que 24 eram moradoras das imediações das empresas e 1 era trabalhadora da mineradora. Em comum, todos estavam expostos diariamente à poluição. As outras 25 pessoas foram alocadas no grupo área B, possuíam entre 18 e 68 anos, eram todas moradoras da área selecionada como área B e não trabalhavam em nenhuma das indústrias citadas.

As pessoas voluntárias do estudo foram avaliadas do ponto de vista cardiovascular através da análise dos sinais vitais como pressão arterial, frequência cardíaca e por meio de exame de ecocardiograma transtorácico monitorado com três derivações eletrocardiográficas. Além disso, foram coletadas informações sobre o histórico patológico pregresso, medicações de uso contínuo, peso e altura. Em cada área de estudo foi escolhida uma residência, conforme disponibilidade, para a realização da avaliação clínica e exame de imagem. Todos os voluntários se dirigiram à residência escolhida no dia da pesquisa. Foi reproduzido uma ante-sala de triagem, para a avaliação clínica e entrevista, assim como, uma sala de exame com maca e um Ultrassom portátil modelo Phillips CX50, onde foi realizado um exame de ecocardiograma completo. Para análise da pressão arterial foi utilizado esfigmomanômetro padrão. As variáveis escolhidas para comparação entre os grupos foram clínicas: pressão arterial sistólica (PAS), pressão arterial diastólica (PAD), frequência cardíaca (FC) e índice de massa corporal (IMC); e ecocardiográficas: fração de ejeção (FE), volume do átrio esquerdo (VAE), índice de massa ventricular, razão E/e' e medida da raiz aórtica.

2.3. Seleção e análise do material botânico

A espécie de planta escolhida como monitora ambiental foi *Piper gaudichaudianum* Kunth (Piperaceae), por tratar-se de uma planta nativa da região e por ser encontrada abundantemente em ambas as áreas escolhidas para o estudo. Caracteriza-se por um arbusto lenhoso, heliófito, esciófito facultativo, ocorrente em sobosque ou nas bordas de florestas da Mata Atlântica (Filardi *et al.* 2018). Em cada ponto amostral foram selecionados cinco indivíduos adultos da espécie *Piper gaudichaudianum* para a coleta, na mesma estação do ano, de folhas de sol, completamente expandidas, fixadas entre os 3º e 5º caulinares do ápice para a base e destituídas de lesões provocadas por herbívoros ou com evidências de fitopatologias. As amostras foram coletadas no período entre dezembro de 2021 e fevereiro de 2022, após pelo menos cinco dias de estiagem. Foram recolhidas 45 amostras de folhas de 5 indivíduos da espécie em cada área de estudo. Somando 225 amostras de plantas em cada área e totalizando, 450 amostras de plantas. As amostras de cada indivíduo foram divididas para a realização das diferentes análises, sendo 15 para análise fisiológica (teor de clorofilas), 15 para avaliação morfológica (massa, área foliar e espessura) e 15 para caracterização do material particulado depositado e registros de superfície em microscopia de varredura, conforme diagrama explicativo a seguir (Figura 1).

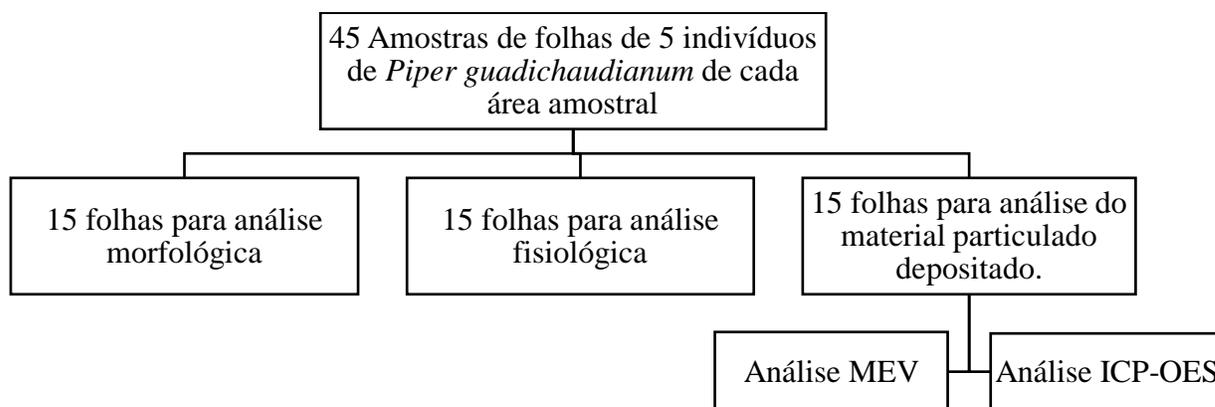


Figura 2: Diagrama explicativo sobre a distribuição das amostras coletadas de plantas e análises realizadas.

A análise morfológica foliar considerou os atributos funcionais de: massa fresca foliar (g) obtidas em balança analítica de precisão SHIMADZU AUY 220; e massa seca foliar (g) obtida em balança analítica de precisão a partir do peso seco constante de folhas secas em estufa de circulação forçada de ar a 70° C por 72 horas; área foliar (cm²) mensurada por digitalização no software Sigma Scan Pro (versão 5.0, SPSS Inc., Chicago IL, USA); e espessura do limbo (mm) medida com paquímetro digital Mitotoyo no terço médio foliar.

Para a determinação dos teores de clorofila foram maceradas 0,5 gramas de 15 folhas de cada indivíduo amostral, com adição de 5 ml de acetona 80%. O conteúdo foi transferido para tubos de centrifugação revestidos com papel alumínio. As amostras foram centrifugadas por 10 minutos a 2000 RPM em centrífuga Sigma 3K12. Após isso, 0,5 ml do extrato foi diluído em 5 ml de acetona 80% e transferido para as cubetas. As leituras foram realizadas em Espectrofotômetro Biospectro SP 22 com comprimentos de onda de 645 e 663 nm para estimar respectivamente os conteúdos de clorofilas A e B, conforme as fórmulas $20,2 \times \text{absorbância } 645$ (para a clorofila A), $8,02 \times \text{absorbância } 663$ (para a clorofila B) e a soma das duas para o resultado da clorofila total (LINDER 1974).

2.4. Análise do Material Particulado (PM)

A caracterização quali-quantitativa do PM foi precedida por sua remoção da superfície foliar. Esta etapa foi realizada mecanicamente com auxílio de pincel e posterior lavagem das folhas em água deionizada em volume controlado (Cavallaro *et al.* 2018). O PM resultante da remoção mecânica foi adicionado à amostra em meio líquido em frasco de vidro âmbar com volume total de 100ml, totalizando 5 frascos por ponto amostral. A caracterização química do PM foi realizada em espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) em equipamento Avio 200 da marca Perkin Elmer. Para tanto, à 25ml de solução de PM em meio aquoso foram adicionados 0,5ml de ácido nítrico (HNO₃) e 0,25ml de ácido clorídrico (HCl). A mistura foi deixada em chapa de aquecimento a 100°C até que a mistura reduzisse de volume para um total de 10ml, completando-se o processo chamado de digestão ácida ou “abertura” da amostra. Em seguida, a solução digerida foi avolumada para 25ml com

água Milli-Q e preparada nos recipientes para leitura no equipamento. Esse processo de preparação da amostra foi adaptado a partir do método americano 200.7 EPA (EPA 1994).

O registro visual e caracterização de composição do PM depositado sobre a folha foi realizado em Microscópio Eletrônico de Varredura JEOL JSM 6701F acoplado no sistema Energy Dispersive X-ray (EDS) que permite a obter a composição elementar das amostras em estudo. A imagem observada no MEV é o resultado da variação de contraste que ocorre quando um feixe de elétrons primários varre a superfície da amostra em análise ponto a ponto. As amostras foram submetidas ao vácuo via ponto crítico e posterior metalização. Obteve-se microfotografias da superfície adaxial da epiderme foliar e curvas de composição atômica do PM.

2.5. Análise estatística

Médias e respectivo desvio padrão de todos os atributos quantitativos foram calculadas. Após o teste de normalidade dos resíduos, os valores medianos foram comparados por análise não paramétrica Kruskal Wallis com nível de significância de 95% ($\alpha \leq 0,05$). Os dados com distribuição normal foram avaliados por meio do Teste t. Análise de Componentes Principais (PCA) com base nos atributos de plantas e seres humanos foi realizada para se verificar a contribuição dos mesmos na distinção entre as populações estudadas. Teste de Correlação de Pearson foi utilizada para verificar possíveis tendências no direcionamento das alterações encontradas nas plantas e nos seres humanos investigados. As análises estatísticas foram realizadas em ambiente R (versão 3.2.5) com o pacote Rcmdr (versão 2.3-0) e auxílio de pacotes complementares (Borcard *et al.* 2011).

3. RESULTADOS

As características demográficas dos participantes estão descritas na Tabela 1. Verifica-se que ambas as populações apresentam proporção de idade e sexo semelhantes, predominando o sexo feminino. Considerando o histórico patológico, predominou na área A os hipertensos e na área B a maior presença de obesos. A prevalência de tabagismo ativo foi baixa em ambos os

grupos. Considerando as variáveis clínicas e ecocardiográficas avaliadas em ambos os grupos, verifica-se que o valor médio da PAS foi 134,8mmHg, significativamente maior no grupo da área A. Da mesma forma, a PAD média no grupo da área A foi 83mmHg, significativamente maior, assim como o índice de massa, cujo valor foi 73,88mg/m². Para as demais variáveis avaliadas nas pessoas não houve diferença estatística significativa (Tabela 2). A análise de componentes principais (PCA) mostrou, para os atributos avaliados nos seres humanos, que os dois primeiros componentes explicaram juntos 49% da variância total dos dados. A pressão arterial sistólica e diastólica foram mais relacionados ao eixo principal 1, que explicou 32% da variância. Já o eixo principal 2 explicou 16% da variância e esteve mais relacionado à frequência cardíaca (Figura 3).

Tabela 1 – Características sócio-demográficas dos participantes da pesquisa.

Característica	Área A	Área B
Idade (anos)	42 ± 15	40 ± 12.28
Gênero [n°(%)]		
Masculino	10 (40%)	7 (28%)
Feminino	15 (60%)	18 (72%)
Comorbidades [n°(%)]		
Eutrófico	9 (36%)	9 (36%)
Sobrepeso	8 (32%)	3 (12%)
Obesidade	8 (32%)	13 (52%)
Diabetes	2 (8%)	1 (4%)
Tabagismo Ativo	2 (8%)	4 (16%)
Hipertensão	9 (36%)	3 (12%)
Dislipidemia	3 (12%)	1 (4%)
Transtorno Humor	4 (16%)	2 (8%)

Dentre os atributos avaliados nas plantas, houve diferença estatística significativa em todos. Observou-se que os indivíduos da área A apresentaram menores teores de clorofilas A e B, assim como massa reduzida, área reduzida e espessura aumentada quando comparadas com os indivíduos da área B (Tabela 2). A análise de componentes principais (PCA) mostrou, para os atributos da espécie de planta monitora, que os dois primeiros componentes explicaram

juntos 74% da variância total dos dados. Os teores de clorofila A, clorofila B e clorofila total foram mais relacionados ao eixo principal 1, que explicou 58% da variância. Já o eixo principal 2 explicou 15% da variância e esteve mais relacionado aos atributos de massa fresca e seca foliar (Figura 4).

Tabela 2 – Tabela de resultados dos atributos avaliados nas plantas e nos seres humanos das áreas A e B. E/e' (Razão onda E do fluxo mitral e onda E Doppler Tecidual).

Atributos		Área A	Área B	Kruskal Wallis test	
		Média	Média	χ^2	p
Planta	Clorofila A ($\mu\text{mol/g}$)	3.93 (\pm 4.52)	7.02 (\pm 3.1)	24.80	<0.001
	Clorofila B ($\mu\text{mol/g}$)	2.16 (\pm 2.96)	5.19 (\pm 2.21)	43.59	<0.001
	Clorofila total ($\mu\text{mol/g}$)	6.10(\pm 6.69)	12.22 (\pm 4.68)	36.89	<0.001
	Massa fresca (g)	0.50 (\pm 0.29)	0.84 (\pm 0.16)	55.10	<0.001
	Massa seca (g)	0.16 (\pm 0.07)	0.21 (\pm 0.05)	16.01	<0.001
	Área foliar (cm^2)	20.24 (\pm 13.76)	40.01 (\pm 7.79)	72.25	<0.001
	Espessura (μm)	0.11 (\pm 0.03)	0.07 (\pm 0.02)	46.94	<0.001
Ser	Índice de massa corporal (Kg/m^2)	28.23 (\pm 6.12)	28.58 (\pm 6.08)	0.034	0.85
Humano	Pressão arterial sistólica (mmHg)	134.80 (\pm 11.7)	120.8 (\pm 19.7)	19.09	<0.001
	Pressão arterial diastólica (mmHg)	83.00 (\pm 6.81)	76.80 (\pm 7.79)	22.09	<0.001
	Frequência cardíaca (bat/min)	74.40(\pm 13.06)	74.56 (\pm 8.71)	0.00028	0.98
	Fração de ejeção (%)	70.20 (\pm 4.27)	69.84 (\pm 2.7)	0.44	0.50
	Volume do átrio esquerdo (mL)	25.28 (\pm 5.3)	24.68 (\pm 4.83)	0.25	0.61
	Índice de massa (g/m^2)	73.88 (\pm 9.19)	66.88 (\pm 9.98)	3.93	0.04
	Razão E/e'	6.88 (\pm 1.83)	6.84 (\pm 2.89)	0.09	0.75
	Raiz aórtica (mm)	31.64 (\pm 2.37)	31.24 (\pm 3.75)	0.12	0.72

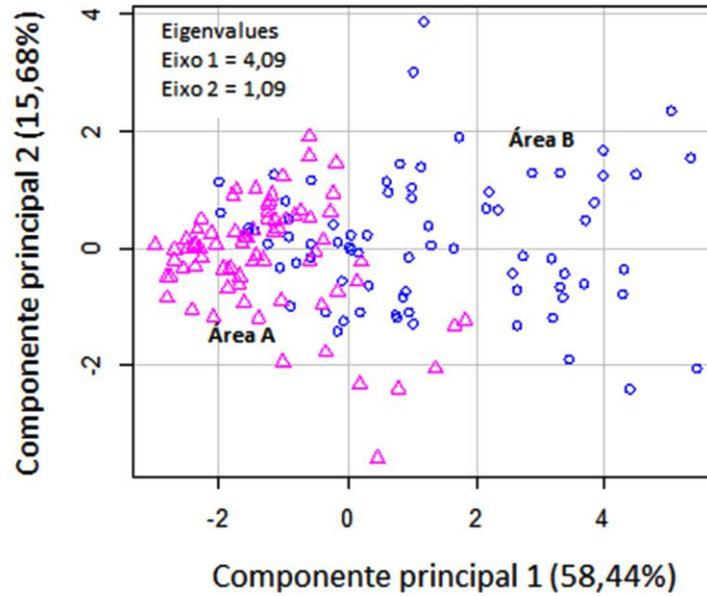


Figura 3 – Gráfico ilustrativo da análise do PCA realizada nas plantas.

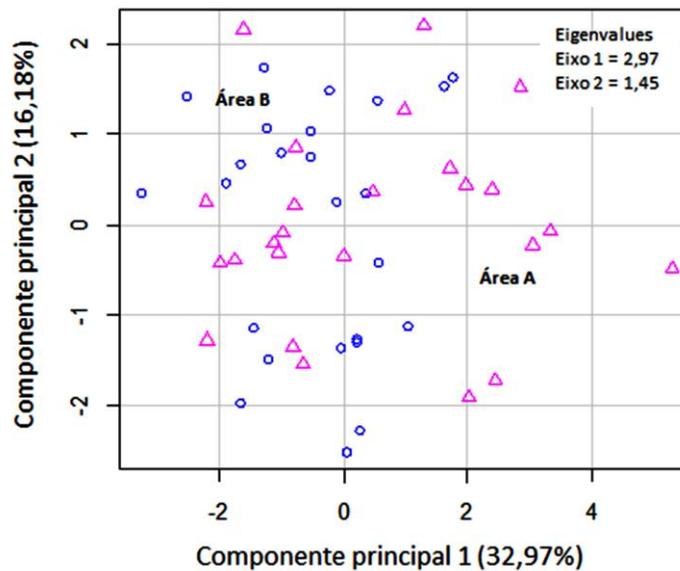


Figura 4 – Gráfico ilustrativo da análise do PCA realizada nos seres humanos.

Na análise do material particulado, feita por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV), observou-se grande quantidade de conteúdo depositado sobre a epiderme foliar dos indivíduos da área A quando comparadas com folhas da área B (Figura 5). A análise qualitativa dos elementos químicos pode ser estimada pelo MEV através de gráficos por meio do sistema de

dispersão de RX (EDS) considerando que cada elemento possui um espectro energia dispersiva. Foram encontrados picos mais significativos de silício, alumínio e nióbio na planta da área A (Figura 6A) e mais significativos de carbono, nitrogênio e oxigênio na área B (Figura 6B). Sabe-se que o silício está presente de forma abundante nas rochas e na poeira gerada pela quebra e processamento das mesmas (Meurer 2015).

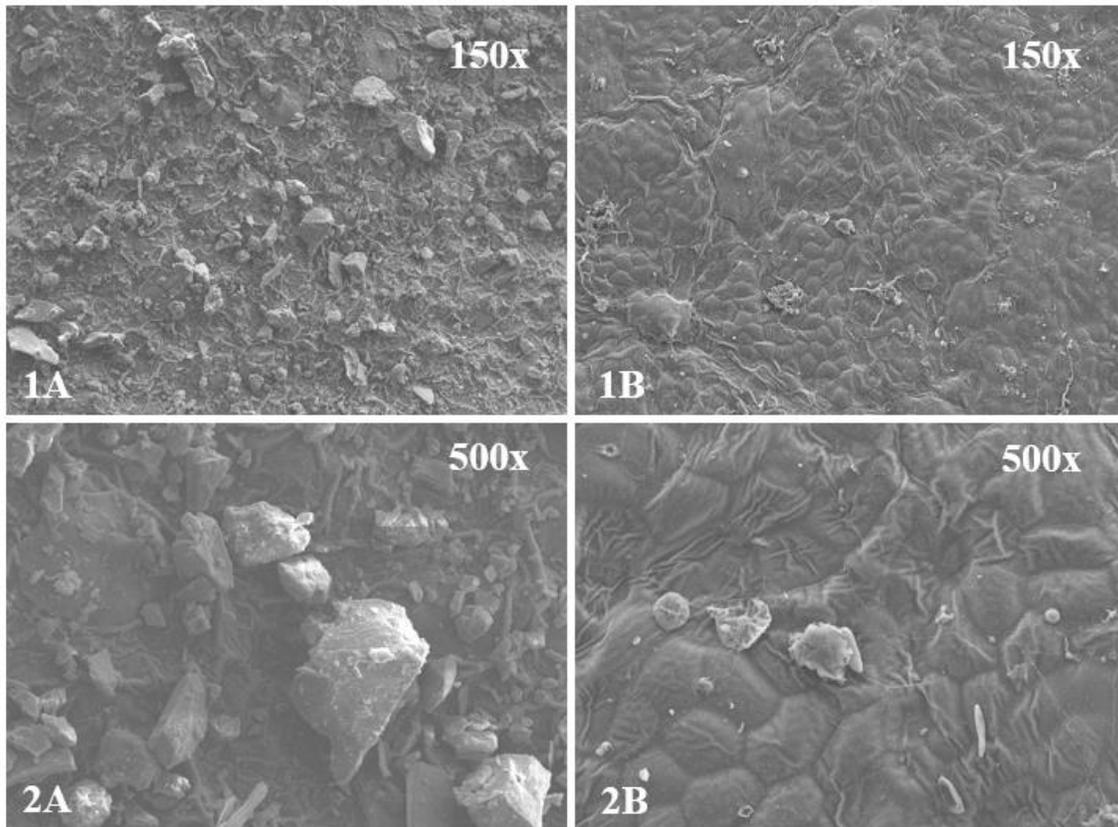


Figura 5: Fotomicrografias da superfície adaxial da epiderme foliar de *Piper guadichaudianum* em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Legenda: 1A e 2A: área A nos respectivos aumentos, 150 e 500 vezes; 1B e 2B: área B nos respectivos aumentos 150 e 500 vezes.

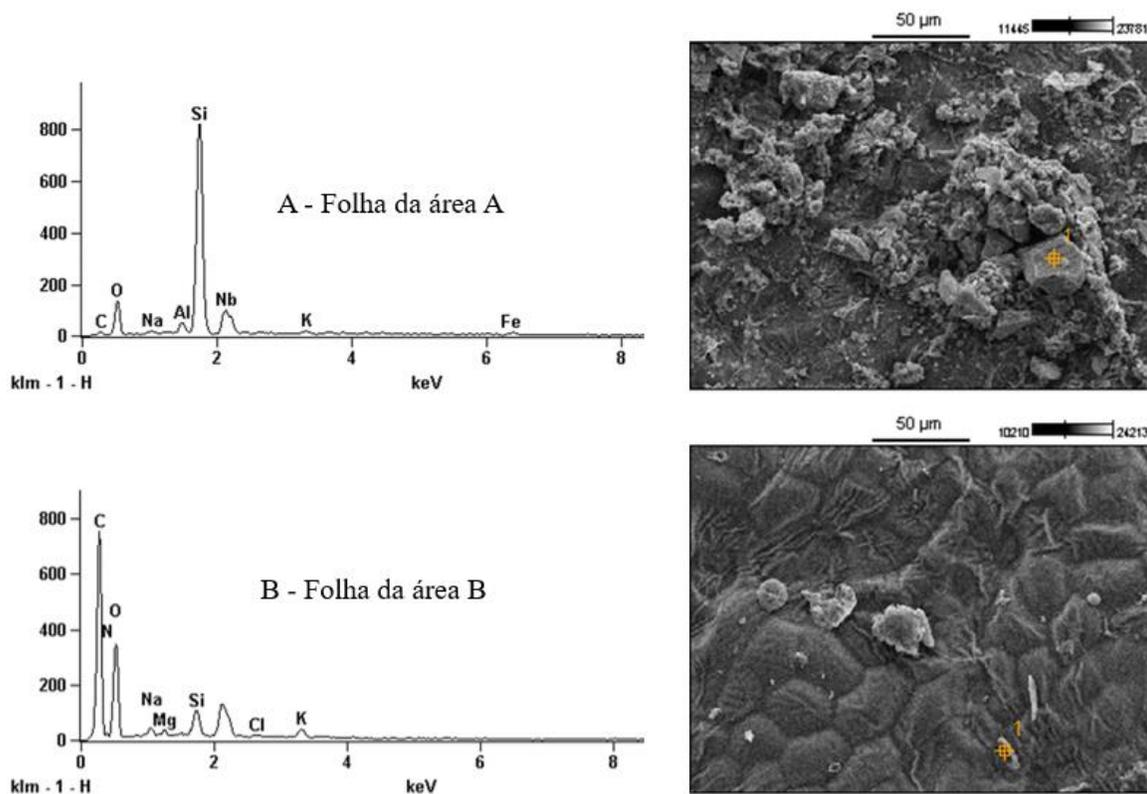


Figura 6: Análise qualitativa por MEV dos elementos químicos de pontos selecionados em duas amostras de plantas, uma da área A (A) e outra da área B (B). À direita imagens ilustrativas dos respectivos pontos selecionados, ambas em aumento de 500x. À esquerda gráficos de intensidade de raios-X em número absoluto (eixo vertical) em função da energia (eixo horizontal). Unidade de energia keV (quilo-eletron volt). Legenda: C (carbono), O (oxigênio), N (nitrogênio), Na (sódio), Si (silício), Al (Alumínio), Nb (nióbio), K (potássio), Fe (ferro), Mg (magnésio), Cl (cloro).

O PM foi avaliado quanto aos elementos químicos de forma quantitativa por meio do ICP-OES que identificou dentre os elementos analisados, uma quantidade significativa de Alumínio, Cobre, Ferro, Magnésio, Manganês, Potássio, Silício e Zinco (Tabela 3).

Tabela 3: Análise por teste *t* entre os pontos amostrais da quantidade de elementos químicos encontradas nas amostras de PM pelo método de ICP - OES.

Elemento Químico (ICP-OES)	Área A	Área B	Teste <i>t</i>	
	Média (mg/L)	Média (mg/L)	t	p
Alumínio	6.74	0.06	21.66	<0.0001
Cobre	0.03	0.01	19.01	<0.0001
Ferro	12.12	0.11	22.19	<0.0001
Magnésio	5.26	0.11	21.01	<0.0001
Manganês	0.19	0.006	17.89	<0.0001
Potássio	4.38	0.34	10.95	<0.0001
Silício	14.11	1.97	23.49	<0.0001
Zinco	0.1	0.02	17.75	<0.0001

4. DISCUSSÃO

A vegetação é um indicador eficaz do impacto geral da poluição do ar, especificamente no contexto do material particulado (PM) (Rai 2016). Alterações morfológicas foram encontradas em um estudo que avaliou os efeitos do PM sobre as folhas da espécie *Alchornea glandulosa* (Euphorbiaceae) em quatro pontos geográficos diferentes da cidade de Joinville, sendo que os indivíduos próximos às indústrias apresentavam um menor desenvolvimento vegetal com destaque aos valores encontrados de massa fresca e massa seca (Santos *et al.* 2019). Dentro do mesmo contexto, outro estudo que avaliou a espécie *Inga edulis* (Fabaceae) em duas regiões amostrais em Joinville, uma localizada nas imediações de um distrito industrial e outra próxima à uma área de extensa vegetação nativa, concluiu que as plantas próximas às indústrias apresentavam, em detrimento da elevada quantidade de PM depositado sobre suas folhas, significativa redução em crescimento e alocação de recursos, identificados pelos menores valores de massas fresca e seca, área foliar e espessura do limbo (Cavallaro *et al.* 2018). Estudo realizado, na cidade de São Paulo, com amostras de madeira da espécie arbórea *Tipuana tipu* (Fabaceae)

concluiu que as árvores apresentaram menor crescimento nas regiões de maior industrialização e consequente maiores índices de PM₁₀ (Locosselli *et al.* 2019).

A deposição de poeira na superfície da folha produz efeitos nocivos diretos sobre o processo fotossintético, pois compromete a troca gasosa com a atmosfera e pode tanto ocluir os estômatos quanto penetrar no corpo das folhas através dos orifícios estomáticos causando alterações fisiológicas, como a redução da capacidade fotossintética (Gerosa *et al.* 2003; Pina & Moraes 2010; Arrivabene *et al.* 2015). A medição dos valores de clorofila é uma ferramenta importante para a análise das condições fisiológicas das espécies vegetais, pois a redução da mesma pode estar diretamente relacionada à redução do crescimento da planta (Rai 2016). A redução das taxas de fotossíntese quantificada a partir de baixos valores de clorofila já foi descrita como potencial efeito do PM nas plantas (Chauhan & Joshi 2008). No entanto, a resposta ao estresse decorrente da poluição no corpo vegetal é variável conforme a resposta adaptativa de cada espécie (Janhäll 2015).

Diante desta perspectiva, um estudo avaliou o efeito da poeira de uma fábrica de cimento sobre as plantas da espécie *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae) nas proximidades da cidade de Curitiba, Estado do Paraná, e mostrou menores valores de área foliar, massa fresca e massa seca e maiores taxas de clorofila A e B nas plantas expostas à poeira do cimento, sugerindo que esta espécie foi capaz de elevar a produção de pigmentos fotossintéticos como forma de compensação aos danos morfológicos sofridos pelo estresse à poluição (Bujokas 2009). Ao contrário do que foi visto no estudo anterior, uma pesquisa realizada na Índia, que avaliou o acúmulo de poeira e os teores de pigmento foliar em seis espécies de plantas que habitam a beira de uma rodovia de grande fluxo de veículos, concluiu que houve redução dos valores de clorofila A e B em todas as espécies estudadas (*Pongamia pinnata* - Fabaceae, *Tabernaemontana divaricata* - Apocynaceae, *Ipomoea carnea* - Convolvulaceae, *Ficus religiosa* - Moraceae, *Ficus benghalensis* - Moraceae, *Quisqualis* sp. - Combretaceae), especialmente nas estações do ano com menos chuva (Prusty *et al.* 2005), corroborando os resultados obtidos neste estudo para *P. guadichadianum*.

Já se tratando dos mecanismos pelos quais os poluentes atmosféricos causam eventos cardiovasculares estão em constante estudo e podem ser divididos em seis vias secundárias que são interdependentes e podem se sobrepor, a citar: 1) disfunção da barreira endotelial; 2) inflamação envolvendo células imunes inatas e adaptativas; 3) vias pró-trombóticas; 4) desequilíbrio do sistema nervoso autônomo com estímulo da via simpática por meio de receptores pulmonares; 5) efeito direto sobre o sistema nervoso central e ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal; e 6) mudanças epigenômicas (Rajagopalan *et al.* 2018). Considerando tais possibilidades, acredita-se que os danos na função endotelial seriam os principais promotores dos distúrbios como hipertensão, diabetes e aterosclerose (Münzel *et al.* 2018).

Diversas séries temporais associaram a exposição a curto prazo ao material particulado com o aumento na mortalidade em seres humanos (Liu *et al.* 2019). O estudo SCALA avaliou diversas cidades na América Latina e concluiu que a exposição ao PM₁₀ e ao ozônio está diretamente relacionado a uma elevação nas mortes por doenças cardiovasculares, acidente vascular cerebral (AVC) e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) (Romieu *et al.* 2012). Na análise multicêntrica (APHENA), que teve como abrangência a Europa, Estados Unidos e Canadá, houve associação consistente entre o aumento da mortalidade e a exposição ao PM₁₀ (Katsouyanni *et al.* 2009). Da mesma forma, um estudo realizado na Ásia (PAPA) mostrou que a exposição aos gases poluidores (dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio) e ao PM₁₀ esteve relacionado ao aumento das mortes por causas naturais, cardiovasculares e respiratórias (Wong *et al.* 2008).

Importantes metanálises publicadas nos últimos anos que avaliaram estudos epidemiológicos cujo tema era doença hipertensiva e exposição aos poluentes atmosféricos como gases e PM, encontraram resultados sugerindo que tanto a exposição a curto prazo quanto a longo prazo ao PM podem aumentar os valores basais da pressão arterial e o risco do desenvolvimento de Hipertensão (Liang *et al.* 2014; Giorgini *et al.* 2015; Cai *et al.* 2016; Yang *et al.* 2018). Estudo epidemiológico realizado na cidade de São José dos Campos, estado de São Paulo, avaliou o número de internações hospitalares por hipertensão arterial e comparou com os índices de poluentes atmosféricos (PM₁₀, dióxido de enxofre e ozônio) fornecidos pela agência estatal de meio ambiente (CETESB) no período de janeiro de 2007 a dezembro de 2010, concluindo que o

risco relativo de internações por hipertensão aumentou entre 9 e 13% para cada elevação de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nas taxas de PM_{10} no ar (Nascimento & Francisco 2013).

A associação da poluição do ar e efeitos cardiovasculares em adultos já está bem documentada (Kaufman *et al.* 2016). Pesquisas mais recentes vêm associando a poluição do ar com elevação da pressão arterial em adolescentes. Um estudo chinês avaliou a pressão arterial de 60 mil crianças e adolescentes de 7 a 18 anos de idade de 94 escolas de 7 províncias diferentes assim como a qualidade do ar nessas localidades por meio de sensores de níveis de $\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10} e concluiu que a exposição a longo prazo a níveis mais elevados de PM esteve associado à maiores valores de pressão arterial e maior prevalência de hipertensão (Zhang *et al.* 2019). Uma análise semelhante, realizada na Holanda, avaliou a pressão arterial em crianças de 12 anos participantes da coorte PIAMA birth juntamente com dados dos níveis de $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} e NO_2 fornecidos por sensores, associando o endereço das escolas e residências com os pontos de alto fluxo de veículos e encontrou maiores valores de pressão arterial diastólica nas crianças com exposição de longo prazo à níveis mais elevados dos poluentes (Bilenko *et al.* 2015).

Injúrias cardiovasculares provocadas pela inalação de PM no ar atmosférico podem estar relacionadas a outras fontes poluentes tais como a queima de biomassa, consequência de incêndios florestais, desmatamentos, queima intencional para agricultura, atos de cozinhar, aquecer e iluminar (Almetwally *et al.* 2020). Estima-se que 18% das mortes prematuras atribuídas à poluição do ar sejam provenientes das poeiras da natureza (Ueda *et al.* 2012). Um estudo ecológico realizado na cidade de Araraquara, estado de São Paulo, avaliou o número de internações hospitalares entre março de 2003 e julho de 2004 em associação com os valores do índice total de partículas suspensas (TSP) fornecidos por uma central de monitoramento e concluiu que nos meses de colheita da cana de açúcar que utiliza técnicas de queimada houve um incremento nos valores de TSP e nas internações hospitalares devido a quadros hipertensivos (Arbex *et al.* 2010).

Aproximadamente 32% dos adultos brasileiros apresentam elevação nos níveis da pressão arterial com necessidade do uso de medicações anti-hipertensivas, sendo que aqueles que apresentam mau controle da hipertensão podem apresentar danos cardiovasculares que variam de

alterações discretas na massa ventricular esquerda até quadros graves de acidente vascular cerebral (AVC) e consequente óbito (Barroso *et al.* 2021). A ecocardiografia foi uma das primeiras modalidades de imagem a determinar por meio de fórmulas matemáticas, a massa do ventrículo esquerdo, sendo que o índice de massa corresponde ao valor da massa total dividido pela superfície corporal, seu aumento (hipertrofia ventricular) está diretamente relacionado a desfechos piores e sua regressão é o objetivo da terapia (Armstrong & Ryan 2018). Um estudo transversal que utilizou dados de uma coorte multicêntrica e multirracial americana para o estudo da aterosclerose (MESA), avaliou os valores de massa ventricular esquerda aferidos por meio de ressonância cardíaca, níveis de $PM_{2.5}$ e o endereço residencial dos participantes, obtendo como resultados maiores valores de índice de massa nos moradores próximos a vias de grande fluxo de veículos (Van Hee *et al.* 2009).

Os metais e metalóides, como os encontrados no material particulado avaliado neste estudo, são capazes de provocar diversos tipos de doenças nos seres humanos como cânceres, problemas cardiovasculares, renais, hematológicos e depressão (Edelstein & Ben-Hur 2018). A análise do PM por ICP-OES identificou os elementos químicos Si, Fe, Al, Mg, K, Mn, Zn e Cu como predominantes e com valores, significativamente, maiores na área A. A quebra da rocha com explosivos e maquinário é capaz de produzir uma nuvem de poeira que tende a avançar por metros conforme a direção dos ventos e perdurar na atmosfera por horas a depender do tamanho das partículas, sendo que as mais finas ficam suspensas por mais tempo (Huang *et al.* 2019). O padrão de rocha manufaturado na mineradora é rico em SiO_2 , o que pode explicar o fato de o silício ter sido o elemento mais encontrado na análise deste estudo (Meurer 2015).

Espécies químicas presentes no PM classificadas como material crustal derivam de poeiras do solo e partículas de material de rochas sopradas pelo vento, ou são produzidas pela agricultura, mineração e tráfego rodoviário, são elas, Al, Ca, Mg, K e Si (Schlesinger 2007). Considerando a descrição acima e o ambiente do estudo, sugere-se que o silício, potássio, magnésio e alumínio, encontrados em valores elevados na área A são provenientes da quebra das rochas. O alumínio também pode ser injetado na atmosfera pela combustão do carbono, por meio de emissões de veículos automotores, de incineração de resíduos e através de gases liberados pela indústria metalúrgica e cimenteira (Barabasz *et al.* 2002). O potássio já foi descrito como em abundância

no PM gerado após a queima de biomassa (Schlesinger 2007). O segundo elemento de maior valor foi o ferro, que tanto pode estar presente na terra como pode ser gerado pelo desgaste das máquinas usadas para perfuração da rocha e também pelo uso dos carros para transporte dos produtos (Moreira 2010). Os metais de transição como manganês, zinco, cobre e especialmente o ferro presentes no ar podem ser emitidos por fontes industriais, de combustão de carvão e a partir de sistemas de frenagem dos meios de transporte, sendo potenciais formadores de radicais livres de oxigênio (ROS) e causando danos diretos à saúde humana (Ding *et al.* 2020).

Um estudo realizado em Ribeirão Preto, cidade de 660 mil habitantes, avaliou a espécie *Tradescantia pallida* (Commelinaceae) cultivada em solo uniforme e não contaminado em três pontos amostrais, de baixo, médio e alto fluxo de veículo, sendo que as plantas ficaram expostas em dois períodos de tempos diferentes para análise em clima úmido e seco, e, por meio de ICP-MS, observaram maiores concentrações de Fe, Pb e Zn nas plantas das áreas de alto fluxo e durante a estação seca (Santos *et al.* 2015). Pesquisadores do Distrito Federal encontraram resultados semelhantes ao avaliar a presença de poluentes em uma região de alto fluxo de veículos e próxima a uma fábrica de cimento utilizando cascas de árvore da espécie *Myracrodruon urundeuva* (Anacardiaceae) e nelas identificaram a presença dos elementos químicos Fe, Mg, Al, S, Ba, Na e Zn em quantidades estatisticamente maiores quando comparadas às cascas de árvores de uma área de reserva ambiental, inferindo que estes elementos são provenientes da poluição (Santos *et al.* 2014).

As substâncias químicas acumuladas nas plantas, sendo nas folhas, caules ou raízes, podem ser um sinalizador direto dos padrões dos poluentes atmosféricos em uma determinada localidade (Nakazato *et al.* 2021). Os primeiros registros de que poluentes atmosféricos podem causar danos aos organismos vegetais e estes, serem usados como monitores da qualidade do ar, foram feitos por Nylander em 1866 (VDI 1999). Desde então, métodos biológicos utilizando diferentes espécies de plantas superiores e inferiores com objetivo de biomonitoramento foram aprimorados (Rai 2016). Os métodos de sensoriamento remoto da qualidade do ar estão amplamente difundidos e apresentam uma perspectiva de larga escala, enquanto o monitoramento por meio de espécies vegetais é capaz de trazer informações mais detalhadas sobre a resposta adaptativa do

ecossistema local, sendo que a associação dos dois métodos é capaz de aumentar a eficácia da análise (Lawley *et al.* 2016).

Há décadas as evidências científicas vem demonstrando os efeitos deletérios da poluição do ar na saúde humana e ter conhecimento sobre a qualidade do ar nos centros urbanos pode direcionar os programas de saúde pública para as áreas mais vulneráveis (Vormittag *et al.* 2021). A vegetação presente nos ambientes urbanos está diretamente ligada às questões da saúde pública, não apenas por ser capaz de identificar os tóxicos atmosféricos presentes em suas estruturas mas também por regular o clima, preservar áreas importantes para a manutenção do abastecimento de água e regular a qualidade do ar através da retenção em seu corpo de uma parcela dos poluentes presentes na atmosfera (Ferreira 2020).

O presente estudo sugere que os poluentes gerados no ar pelas indústrias são capazes de causar danos expressivos na espécie *Piper gaudichaudianum*, além de serem capazes de elevar níveis basais de pressão arterial em humanos, dados esses corroborados pelos maiores valores de massa ventricular esquerda. A microscopia eletrônica de varredura foi capaz de identificar quantidades elevadas de MP na superfície adaxial das folhas da área próxima às indústrias. Os elementos químicos presentes no material particulado apontam que a indústria de minérios foi a fonte principal, tendo a indústria automobilística uma contribuição secundária. Por tais razões, estudos associativos que envolvam a saúde vegetal e dos seres humanos são importantes para se ter uma análise global dos níveis de poluição e comprometimento do ecossistema de uma determinada localidade.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, apesar do padrão diretamente proporcional aqui encontrado no âmbito do impacto da poluição por PM em plantas e em seres humanos, sugere-se a necessidade da realização de pesquisas de maior impacto estatístico para que seja determinado de forma mais robusta os efeitos diretos da poluição do ar no sistema cardiovascular. Considerando que as doenças cardiovasculares representam uma das principais causas de

morbidade e mortalidade em todo o mundo é extremamente importante que seja de conhecimento geral o real impacto da poluição atmosférica sobre a saúde. Dentro deste contexto, o monitoramento da qualidade do ar deve ser um trabalho contínuo para que políticas públicas voltadas à redução dos possíveis danos à saúde humana e saúde vegetal sejam implantadas, em especial, nas áreas de maior vulnerabilidade ambiental.

6. REFERÊNCIAS

Almetwally, A.A., Bin-Jumah, M. & Allam, A.A. (2020). Ambient air pollution and its influence on human health and welfare: an overview. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 27, 24815–24830.

Arbex, M.A., Saldiva, P.H.N., Pereira, L.A.A. & Braga, A.L.F. (2010). Impact of outdoor biomass air pollution on hypertension hospital admissions. *J. Epidemiol. Community Health*, 64, 573–579.

Arbex, M.A., Santos, U. de P., Martins, L.C., Saldiva, P.H. do N., Pereira, L.A.A. & Braga, A.L.F. (2012). A poluição do ar e o sistema respiratório. *J Bras Pneumol*, 38, 643–655.

Armstrong, W.F. & Ryan, T. (2018). *Feingenbaum's Echocardiography*. Eight Edit. Wolters Kluwer.

Arrivabene, H.P., Souza, I. da 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.

Barabasz, W., Albińska, D., Jaśkowska, M. & Lipiec, J. (2002). Ecotoxicology of Aluminium. *Polish J. Environ. Stud.*, 11, 199–203.

Barbosa, A. (2009). Estudos Preliminares Sobre O Campo Térmico De Joinville, Sc. Universidade Federal de Santa Catarina.

Barroso, W.K.S., Rodrigues, C.I.S., Bortolotto, L.A., Mota-Gomes, M.A., Brandão, A.A., de Magalhães Feitosa, A.D., *et al.* (2021). Brazilian guidelines of hypertension - 2020. *Arq. Bras. Cardiol.*, 116, 516–658.

Bilenko, N., Van Rossem, L., Brunekreef, B., Beelen, R., Eeftens, M., Hoek, G., *et al.* (2015). Traffic-related air pollution and noise and children's blood pressure: Results from the PIAMA birth cohort study. *Eur. J. Prev. Cardiol.*, 22, 4–12.

Borcard, D., Gillet, F. & Legendre, P. (2011). *Introduction in: Numerical Ecology with R. Springer New York*. Second Edi. Springer, New York.

Brook, R.D., Franklin, B., Cascio, W., Hong, Y., Howard, G., Lipsett, M., *et al.* (2004). Air pollution and cardiovascular disease: A statement for healthcare professionals from the expert panel on population and prevention science of the American Heart Association. *Circulation*, 109, 2655–2671.

Brook, R.D., Rajagopalan, S., Pope, C.A., Brook, J.R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., *et al.* (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the american heart association. *Circulation*, 121, 2331–2378.

Bujokas, W.M. (2009). Influência da poeira de fábrica de cimento nas características químicas da precipitação e no crescimento, nos teores de clorofila e na nutrição de *Schinus terebinthifolius raddi* (anacardiaceae). Universidade Federal do Paraná.

Cai, Y., Zhang, B., Ke, W., Feng, B., Lin, H., Xiao, J., *et al.* (2016). Associations of Short-Term and Long-Term Exposure to Ambient Air Pollutants With Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Hypertension*, 68, 62–70.

Carvalho, M.A., Hettfleisch, K., Rodrigues, A.S., Benachi, A., Vieira, S.E., Saldiva, S.R.D.M., *et al.* (2020). Association between exposure to air pollution during intrauterine life and cephalic circumference of the newborn. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 05 Novembe.

Cavallaro, R., Melo Junior, J.C.F. de, Chaves, M.B. & Nogueira, A.L. (2018). Biomonitoramento da qualidade ambiental: Respostas estruturais de uma espécie arbórea nativa submetida à poluição atmosférica. *Cad. Publicação UNIVAG*, 8, 85–108.

Chauhan, A. & Joshi, P.C. (2008). Effect of ambient air pollution on photosynthetic pigments of some selected trees in urban area. *Ecol. Environ. Conserv.*, 14, 529–533.

Climate-data. (2022). *Clima: Joinville. Climate-data.org*. Available at: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/santa-catarina/joinville-4496/>. Last accessed .

Ding, J., Guan, Y., Cong, Y., Chen, L., Li, Y.F., Zhang, L., *et al.* (2020). Single-particle analysis for structure and iron chemistry of atmospheric particulate matter. *Anal. Chem.*, 92, 975–982.

Dutheil, F., Comptour, A., Morlon, R., Mermillod, M., Pereira, B., Baker, J.S., *et al.* (2021). Autism spectrum disorder and air pollution: A systematic review and meta-analysis. *Environ. Pollut.*, 278.

Edelstein, M. & Ben-Hur, M. (2018). Heavy metals and metalloids: Sources, risks and strategies to reduce their accumulation in horticultural crops. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, 234.

EPA. (1994). METHOD 200.7 - Determination of elements and trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectropemtry. *US Environ. Prot. Agency*, Revision 4.

Ferreira, M.L. (2020). *Ferramentas ambientais aplicadas ao planejamento de cidades sustentáveis*. ANAP. 1ª Edição. Tupã / SP.

Filardi, F.L.R., De Barros, F., Baumgratz, J.F.A., Bicudo, C.E.M., Cavalcanti, T.B., Nadruz Coelho, M.A., *et al.* (2018). Brazilian flora 2020: Innovation and collaboration to meet target 1 of the global strategy for plant conservation (GSPC). *Rodriguesia*, 69, 1513–1527.

Franklin, B.A., Brook, R. & Arden Pope, C. (2015). Air pollution and cardiovascular disease. *Curr. Probl. Cardiol.*, 40, 207–238.

Gerosa, G., Marzuoli, R., Bussotti, F., Pancrazi, M. & Ballarin-Denti, A. (2003). Ozone sensitivity of *Fagus sylvatica* and *Fraxinus excelsior* young trees in relation to leaf structure and foliar ozone uptake. *Environ. Pollut.*, 125, 91–98.

Giorgini, P., Di Giosia, P., Grassi, D., Rubenfire, M., D. Brook, R. & Ferri, C. (2015). Air

Pollution Exposure and Blood Pressure: An Updated Review of the Literature. *Curr. Pharm. Des.*, 22, 28–51.

Gladka, A., Rymaszewska, J. & Zatonski, T. (2018). Impact of air pollution on depression and suicide. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, 31, 711–721.

Gonçalves, M.L. (1993). Geologia para planejamento de uso e ocupação territorial do município de Joinville. Universidade de São Paulo.

Hamra, G.B., Guha, N., Cohen, A., Laden, F., Raaschou-Nielsen, O., Samet, J.M., *et al.* (2014). Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: A systematic review and meta-analysis. *Environ. Health Perspect.*, 122, 906–911.

Hayes, R.B., Lim, C., Zhang, Y., Cromar, K., Shao, Y., Reynolds, H.R., *et al.* (2020). PM2.5 air pollution and cause-specific cardiovascular disease mortality. *Int. J. Epidemiol.*, 49, 25–35.

Van Hee, V.C., Adar, S.D., Szpiro, A.A., Barr, R.G., Bluemke, D.A., Diez Roux, A. V., *et al.* (2009). Exposure to traffic and left ventricular mass and function the multi-ethnic study of atherosclerosis. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 179, 827–834.

Huang, Y., Bao, M., Xiao, J., Qiu, Z. & Wu, K. (2019). Effects of PM2.5 on cardio-pulmonary function injury in open manganese mine workers. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16.

Hughes, J.D. (1996). *Pan's Travail*. Johns Hopkins Univ. Press. Baltimore, Maryland, USA.

IBGE. (2021). *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Available at: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>. Last accessed .

IPPUJ. (2021). *Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville. Cid. em dados*. Available at: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2021/12/Joinville-Cidade-em-Dados-2021—Desenvolvimento-Econômico.pdf>. Last accessed 24 outubro 2022.

Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution - Deposition and dispersion. *Atmos. Environ.*, 105, 130–137.

Katsouyanni, K., Samet, J., Anderson, H., Atkinson, R., Le Tertre, A., Medina, S., *et al.* (2009). Air pollution and health: a European and North American approach (APHENA). *Res Rep Heal. Eff Inst*, 142, 5–90.

Kaufman, J.D., Adar, S.D., Barr, R.G., Budoff, M., Burke, G.L., Curl, C.L., *et al.* (2016). Association between air pollution and coronary artery calcification within six metropolitan areas in the USA (the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollution): a longitudinal cohort study. *Lancet*, 388, 696–704.

Landrigan, P.J., Fuller, R., Acosta, N.J.R., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N.N., *et al.* (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet*, February, 462–512.

Larcher, W. (2006). *Ecofisiologia Vegetal*. Rima, São Carlos, São Paulo.

Lawley, V., Lewis, M., Clarke, K. & Ostendorf, B. (2016). Site-based and remote sensing methods for monitoring indicators of vegetation condition: An Australian review. *Ecol. Indic.*, 60, 1273–1283.

Liang, R., Zhang, B., Zhao, X., Ruan, Y., Lian, H. & Fan, Z. (2014). Effect of exposure to PM_{2.5} on blood pressure: A systematic review and meta-analysis. *J. Hypertens.*, 32, 2130–2141.

LINDER, S. (1974). A Proposal for the Use of Standardized Methods for Chlorophyll Determinations in Ecological and Eco-physiological Investigations. *Physiol. Plant.*, 32, 154–156.

Liu, C., Chen, R., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A.M., Guo, Y., Tong, S., *et al.* (2019). Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. *N. Engl. J. Med.*, 381, 705–715.

Locosselli, G.M., Camargo, E.P. de, Moreira, T.C.L., Todesco, E., Andrade, M. de F., André, C.D.S. de, *et al.* (2019). The role of air pollution and climate on the growth of urban trees. *Sci. Total Environ.*, 666, 652–661.

Melo Junior, J.C.F. de, Amorim, M.W., Arriola, I.A., Canuto, K.K. & Pereira, L.G. da S. (2017). Flora vascular , estrutura comunitária e conservação de fragmentos da floresta atlântica

na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira , Joinville , SC , Brasil. *Acta Biológica Catarinense*, 4, 41–72.

Melo Junior, J.C.F. de, Raimundo, C.M. & Amorim, M.W. (2014). Efeito da poluição atmosférica em folhas de *Tibouchina granulosa* (Desr.) Cogn. (Melastomataceae). *Acta Biológica Catarinense*, 1, 65–72.

Meurer, P. (2015). Caracterização de materiais rochosos do norte de Santa Catarina para fins de aplicação em obras de pavimentação. Universidade Federal de Santa Catarina.

Miller, M.R. & Newby, D.E. (2020). Air pollution and cardiovascular disease: Car sick. *Cardiovasc. Res.*, 116, 279–294.

de Moraes, L.F.D., Campello, E.F.C. & Franco, A.A. (2010). Restauração florestal: Do diagnóstico de degradação ao uso de indicadores ecológicos para o monitoramento das ações. *Oecologia Aust.*, 14, 437–451.

Moreira, T.C.L. (2010). Interação da vegetação arbórea e poluição atmosférica na cidade de São Paulo. Universidade de São Paulo.

Morris, C.E., Géniaux, G., Nédellec, C., Sauvion, N. & Soubeyrand, S. (2022). One Health concepts and challenges for surveillance, forecasting, and mitigation of plant disease beyond the traditional scope of crop production. *Plant Pathol.*, 71, 86–97.

Mosley, S. (2008). *The Chimney of the World - A History of Smoke Pollution in Victorian and Edwardian Manchester*. Routledge, New York.

Mosley, S. (2014). Environmental History of Air Pollution and Protection. *Environ. Hist.*, 4, 143–169.

Münzel, T., Gori, T., Al-Kindi, S., Deanfield, J., Lelieveld, J., Daiber, A., *et al.* (2018). Effects of gaseous and solid constituents of air pollution on endothelial function. *Eur. Heart J.*, 39, 3543–3550.

Nakazato, R.K., Lourenço, I.S., Esposito, M.P., Lima, M.E.L., Ferreira, M.L., Campos, R. de O.A., *et al.* (2021). Trace metals at the tree-litter-soil- interface in Brazilian Atlantic Forest

plots surrounded by sources of air pollution. *Environ. Pollut.*, 268.

Nascimento, L.F.C. & Francisco, J.B. (2013). Particulate matter and hospital admission due to arterial hypertension in a medium-sized Brazilian city. *Cad. Saude Publica*, 29, 1565–1571.

Pina, J.M. & Moraes, R.M. (2010). Gas exchange, antioxidants and foliar injuries in saplings of a tropical woody species exposed to ozone. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 73, 685–691.

Prusty, B.A.K., Mishra, P.C. & Azeez, P.A. (2005). Dust accumulation and leaf pigment content in vegetation near the national highway at Sambalpur, Orissa, India. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 60, 228–235.

Rai, P.K. (2016). Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 129, 120–136.

Rajagopalan, S., Al-Kindi, S.G. & Brook, R.D. (2018). Air Pollution and Cardiovascular Disease: JACC State-of-the-Art Review. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 72, 2054–2070.

Romieu, I., Gouveia, N., Cifuentes, L.A., Ponce de Leon, Antonio Junger, W., Vera, J., Strappa, V., *et al.* (2012). Multicity study of air pollution and mortality in Latin America (the ESCALA study). *Res Rep Heal. Eff Inst*, 171, 5–86.

Santos, A.P.M., Segura-Muñoz, S.I., Nadal, M., Schuhmacher, M., Domingo, J.L., Martinez, C.A., *et al.* (2015). Traffic-related air pollution biomonitoring with *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt. cv. *purpurea* Boom in Brazil. *Environ. Monit. Assess.*, 187.

Santos, C.M. dos, Oliveira, R.C., Roig, H.L. & Réquia Júnior, W.J. (2014). Biomonitoramento passivo com casca de aroeira vermelha (*Myracrodruon urundeuva* Lorenzi Harri) para verificar a variabilidade espacial da poluição atmosférica em uma região do Distrito Federal, Brasil. *Eng. Sanit. e Ambient.*, 19, 453–460.

Santos, G.S. dos, Santos, M.D. dos, Melo Junior, J.C.F. de, Chaves, M.B., Mougá, D.M. da S. & Gumboski, E.L. (2019). Avaliação do potencial bioindicador de *Alchornea glandulosa* no monitoramento da poluição atmosférica. *Acta Biológica Catarinense*, 6, 93–102.

Schlesinger, R.B. (2007). The health impact of common inorganic components of fine

particulate matter (PM_{2.5}) in ambient air: A critical review. *Inhal. Toxicol.*, 19, 811–832.

Ternes, A., Neves, A., Starling, D. Nascimento, J., Lopes, M., Thomazi, M., Gonçalves, M. Sganzerla, N., *et al.* (2001). *Joinville 150 Anos*. Instituto. Joinville - SC.

Ueda, K., Shimizu, A., Nitta, H. & Inoue, K. (2012). Long-range transported Asian Dust and emergency ambulance dispatches. *Inhal. Toxicol.*, 24, 858–867.

VDI. (1999). Verein Deutscher Ingenieure: Biological measuring techniques for the determination and evaluation of effects of air pollutants on plants. Fundamentals and aims. *VDI/DIN Handb. Reinhaltung der Luft*.

Vormittag, E.D.M.P.A.D.A., Cirqueira, S.S.R., Neto, H.W. & Saldiva, P.H.N. (2021). Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. In: *Estudos Avancados*. p. 7–30.

WHO. (2019). Air Pollution, October, 5.

Wong, C.M., Vichit-Vadakan, N., Kan, H., Qian, Z., Vajanapoom, N., Ostro, B., *et al.* (2008). Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA): A multicity study of short-term effects of air pollution on mortality. *Environ. Health Perspect.*, 116, 1195–1202.

Yang, B.Y., Qian, Z., Howard, S.W., Vaughn, M.G., Fan, S.J., Liu, K.K., *et al.* (2018). Global association between ambient air pollution and blood pressure: A systematic review and meta-analysis. *Environ. Pollut.*, 235, 576–588.

Zhang, Z., Dong, B., Li, S., Chen, G., Yang, Z., Dong, Y., *et al.* (2019). Exposure to ambient particulate matter air pollution, blood pressure and hypertension in children and adolescents: A national cross-sectional study in China. *Environ. Int.*, 128, 103–108.

Zhou, Q., Zhang, J., Fu, J., Shi, J. & Jiang, G. (2008). Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Anal. Chim. Acta*, 606, 135–150.

Termo de Autorização para Publicação de Teses e Dissertações

Na qualidade de titular dos direitos de autor da publicação, autorizo a Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE) a disponibilizar em ambiente digital institucional, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/IBICT) e/ou outras bases de dados científicas, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o texto integral da obra abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data 19/05/2023.

1. Identificação do material bibliográfico: () Tese (X) Dissertação () Trabalho de Conclusão

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Autor: ANA CARENINA GHELLER SCHAIDHAUER

Orientador: JOÃO CARLOS FERRERIA DE MELO JUNIOR Coorientador: PAULO HILARIO DO NASCIMENTO SALDIVA

Data de Defesa: 31/03/2023

Título: EFEITO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE A MORFOFISIOLOGIA VEGETAL E A SAÚDE CARDIOVASCULAR EM SERES HUMANOS

Instituição de Defesa: UNIVILLE

3. Informação de acesso ao documento:

Pode ser liberado para publicação integral (X) Sim () Não

Havendo concordância com a publicação eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese, dissertação ou relatório técnico.

 Documento assinado digitalmente
ANA CARENINA GHELLER SCHAIDHAUER
Data: 19/05/2023 11:12:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do autor

JOINVILLE, 19 DE MAIO DE 2023

Local/Data