

UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE – UNIVILLE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM SAÚDE E MEIO AMBIENTE
MESTRADO EM SAÚDE E MEIO AMBIENTE

EFEITO DA SÍLICA ATMOSFÉRICA POR ATIVIDADE MINERADORA
SOBRE PLANTAS E SERES HUMANOS

Mariana Simonato Lorenzini
Prof. Dr. João Carlos de Melo Junior
Prof. Dr. Helbert do Nascimento Lima

Joinville – SC

2023

Mariana Simonato Lorenzini

EFEITO DA SÍLICA ATMOSFÉRICA POR ATIVIDADE MINERADORA
SOBRE PLANTAS E 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 para a obtenção do título de Mestre em Saúde e Meio Ambiente, sob orientação do Professor Doutor João Carlos Ferreira de Melo Júnior e coorientação do Professor Doutor Helbert do Nascimento Lima.

Joinville – SC

2023

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

L869e Lorenzini, Mariana Simonato
Efeito da sílica atmosférica por atividade mineradora sobre plantas e seres humanos / Mariana Simonato Lorenzini; orientador Dr. João Carlos Ferreira de Melo Júnior; coorientador Dr. Helbert do Nascimento Lima. – Joinville: UNIVILLE, 2023.

69 f.: il.

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

1. Ar – Poluição. 2. Sílica. 3. Rins – Doenças. I. Melo Júnior, João Carlos Ferreira de (orient.). II. Lima, Helbert do Nascimento (coorient.). III. Título.

CDD 628.53

Termo de Aprovação

“Efeito da Sílica Atmosférica por Atividade Mineradora sobre Plantas e Seres Humanos”

por

Mariana Simonato Lorenzini

Banca Examinadora:

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

Prof. Dr. Helbert do Nascimento Lima
Coorientador (UNIVILLE)

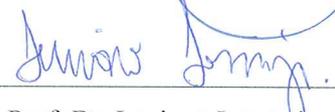
Profa. Dra. Patrícia Soffiatti
(UFPR)

Prof. Dr. Marcelo Pitombeira de Lacerda
(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, 27 de abril de 2023

AGRADECIMENTOS

Um trabalho de mestrado é uma trajetória permeada por inúmeros desafios, oscilando entre os opostos, alegrias e tristezas, incertezas e determinações. Parafrasando o grande poeta Manuel Bandeira “no meio do caminho tinha uma pedra, tinha uma pedra no meio do caminho”, são “pedras” que nos tornam fortalecidos para enfrentar os obstáculos que a vida nos oferece. Por isso, expresso aqui, por meio de palavras sinceras, o agradecimento a cada pessoa que contribuiu positivamente para o caminho dessa jornada científica.

Primeiramente, dedico este trabalho à Deus por me amparar em todos momentos que trilhei ao longo dessa viagem científica, concedendo-me força, perseverança e, principalmente, saúde para concluir meu estudo.

Em especial, agradeço meu pai, Fernando Lorenzini (*in memoriam*), meu melhor amigo, professor nas horas vagas de Medicina Geral e Urologia, minha inspiração de profissional e ser humano, sendo quem me estimulou a iniciar tal projeto, infelizmente não sendo possível estar presente fisicamente nos momentos finais deste trabalho, mas estando presente espiritualmente.

Aos meus professores, ao orientador Dr. João Carlos de Melo Jr. e ao coorientador Dr. Helbert do Nascimento Lima por suas orientações, dedicação, incentivo e motivação para a realização do trabalho. Ao Dr. Marcelo Lacerda, membro da banca de qualificação, pelos conselhos, sugestões e interesse em contribuir para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu primo Dr. Thomas Erdmann, que me deu apoio, nos meus piores e melhores momentos, incentivou e colaborou para que este trabalho, após muita persistência, está sendo finalizado.

À minha mãe Maria Regina Simonato e à minha amiga e colega de profissão, Maria Helena Naumann Gaertner, que foram fundamentais para me auxiliarem na coleta de urina dos participantes da pesquisa e estiveram sempre me apoiando e estimulando para persistir no meu objetivo final.

Ao meu amigo João Pedro Ribeiro Baptista, futuro colega de profissão, agradeço imensamente pela confiança e amizade que se iniciaram ainda na graduação e estendeu-se em colaborar para que esse meu sonho se tornasse realidade.

Aos participantes da pesquisa, pois sem eles não seria possível concluir o estudo.

À equipe do Laboratório de Morfologia e Ecologia Vegetal da Univille e ao Laboratório de Análises Clínicas do Centro Hospitalar Unimed Joinville, peças fundamentais para seguir com essa caminhada.

Por fim, revelo o profundo agradecimento à minha família Simonato e Lorenzini, amigos e colegas de trabalho e chefes do Hospital Regional Hans Dieter Schmidt por contribuírem para a concretização desta dissertação, impulsionando meu conhecimento intelectual e emocionalmente. Assim, como meu amado pai defendia, “conhecereis a verdade, e a verdade vos libertará” (João 8:32).

RESUMO

Introdução: Embora o crescimento econômico seja um aspecto importante no desenvolvimento de uma cidade, algumas atividades industriais podem implicar em aumento de fontes emissoras de poluentes atmosféricos quando não controlado. Um exemplo é o material particulado grosso, representado pela poeira contendo sílica, decorrente de operações mineradoras. A poluição atmosférica por sílica causa injúrias anatómicas e funcionais em plantas e em humanos. Desta forma, o monitoramento de plantas pode ser um útil como parâmetro biológico para o monitoramento da saúde de pessoas que vivem em ambiente expostos à poeira da sílica. **Objetivo:** Demonstrar as injúrias morfológicas e fisiológicas e provocadas pela poluição atmosférica por sílica em plantas (redução do teor de clorofila, aumento da espessura e área foliar) e correlacionar com a presença de níveis elevados de sílica na urina de seres humanos expostos à poeira da sílica na mesma região. **Métodos:** Trata-se de um estudo transversal, observacional, analítico, que analisou 150 folhas de plantas da espécie *Piper gaudichaudianum* de dois pontos amostrais (poluído e controle) e 51 amostras de urina de pessoas potencialmente expostas ou não a poeira de sílica das mesmas áreas (26 residentes em área poluída e 25 residentes em área controle) no período de novembro de 2021 a dezembro de 2022. A área definida como poluída foi adjacente a uma mineradora e a área controle em uma região protegida da poluição atmosférica pela mineradora por meio de um morro que é considerado uma barreira física natural. Os atributos funcionais vegetais (massa fresca, massa seca, área e espessura foliar e teor de clorofila a, b e total) foram analisados por meio de ICP-OES e MEV para análise do material particulado na folha. Para análise da sílica na urina, foi verificado pela razão da dosagem de sílica em amostra simples de urina por meio de ICP-OES e creatinina urinária por método colorimétrico. **Resultados:** Verificou-se uma maior concentração de material particulado sobre a superfície foliar de *P. gaudichaudianum* na população amostral da zona poluída em relação à zona de controle, principalmente Ferro e Sílica. A massa fresca, massa seca, o nível de clorofila a, b e clorofila total foram menores nas folhas das zonas poluídas em relação aquelas da zona controle. Apenas a espessura foliar foi maior nas folhas da zona poluída. Já em relação a mediana da excreção urinária de sílica, não se identificou diferença significativa entre as pessoas moradoras da área poluída ou controle. Embora houve uma associação entre moradores da zona poluída apresentarem menor chance de um valor de sílica na urina acima da mediana da amostra ($\geq 3,91$ mg/g), tal associação não foi significativa após ajuste para idade. **Conclusão:** A deposição de material particulado lançado na atmosfera pode afetar negativamente no desenvolvimento morfológico e fisiológico da espécie monitora deste estudo, com aumento da espessura foliar, redução da área foliar e redução dos teores de clorofila a, b e total. No entanto, tais achados não foram associados a uma maior presença de sílica urinária das pessoas residentes na área de maior contaminação. Fatores de contaminação amostral e dietético podem ter influenciado tais achados na amostra humana estudada.

Palavras chaves: Folhas, urina, poeira de sílica, nefropatia.

ABSTRACT

Effect of atmospheric silica by mining activity on plant and human kidney health

Introduction: Industrial activities may negatively impact levels of air pollution and endanger the biodiversity and the health of urban populations. An illustration of this is the coarse particulate matter that results from mining operations, which is represented by dust that contains silica. Injuries to the anatomical and functional systems of both plants and humans are brought on by atmospheric silica pollution. In order to track the health of people who live in silica dust-exposed environments, monitoring plants may be a helpful biological parameter. **Objective:** To demonstrate the physiological damage caused by silica pollution of the atmosphere in plants (reduction in chlorophyll content, increase in leaf thickness and area), and to correlate with the high levels of silica found in the urine of people who have been exposed to silica dust in the same area. **Methods:** From November 2021 to December 2022, a cross-sectional, observational, analytical study was conducted to analyze 150 leaves from *Piper gaudichaudianum* plants from two sampling points (polluted and control), as well as 51 urine samples from individuals who may or may not have been exposed to silica dust. Of these individuals, 26 lived in the polluted area and 25 in the control area. The area designated as polluted was close to a mining operation, and the control area was in an area that the mining operation claimed was shielded from air pollution. ICP-OES and SEM for analysis of particulate matter in the leaf were used to examine the functional attributes of the plant (fresh mass, dry mass, leaf area and thickness, and chlorophyll a, b, and total content). ICP-OES was used to measure the ratio of silica dosage in a straightforward urine sample, and a colorimetric method was used to measure urinary creatinine. **Results:** A higher concentration of particulate material was confirmed to be present on *Piper gaudichaudianum* foliar surface in the local population of the polluted area relative to the control area, particularly in Iron and Silica. When compared to the corresponding portions of the control zone, the fresh and dry mass, the level of chlorophyll a and b, and the total chlorophyll were all lower in the polluted areas. The leafiness was more severe only in the trees from the polluted zone area. However, there was no discernible difference in the median of urinary silica excretion between residents of the polluted or unpolluted areas. Although there was a correlation between residents of polluted areas and having a lower likelihood of having a urinary sulfate concentration above the average (3,91 mg/g), this correlation was not significant after adjusting to age. **Conclusion:** The atmospheric deposition of particulate matter may have a negative impact on the physiological development of the study species under observation, including an increase in leaf thickness, a reduction in leaf area, and a decrease in the chlorophyll a, b, and total levels. These findings, however, were not connected to a higher prevalence of urinary silica in the people who lived in the area with the highest contamination. These findings may have been affected by factors affecting sample contamination and diet.

Keywords: Leaves, urine, silica dust, nephropathy.

RESUMEN

Efecto del sílice atmosférico por la actividad minera en la salud renal vegetal y humana

Introducción: Aunque el crecimiento económico es un aspecto importante en el desarrollo de una ciudad, algunas actividades industriales pueden implicar un aumento de fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos cuando no están controladas. Un ejemplo es el material particulado grueso, representado por el polvo que contiene sílice, derivado de las operaciones mineras. La contaminación atmosférica por sílice causa lesiones anatómicas y funcionales en plantas y seres humanos. De esta forma, el monitoreo de plantas puede ser útil como parámetro biológico para el objetivo de monitorear la salud de las personas que viven en ambientes expuestos al polvo de sílice. **Objetivo:** Demostrar las lesiones morfológicas y fisiológicas provocadas por la contaminación atmosférica por sílice en plantas (disminución del contenido de clorofila, aumento del grosor y área foliar) y correlacionarlas con la presencia de niveles elevados de sílice en la orina de seres humanos expuestos al polvo de sílice en la misma región. **Métodos:** Se analizaron 150 hojas de plantas de dos puntos muestrales (contaminado y control) de la especie *Piper gaudichaudianum* y 51 muestras de orina de personas potencialmente expuestas o no al polvo de sílice de las mismas áreas (26 residentes en área contaminada y 25 residentes en área de control) en el período de noviembre de 2021 a diciembre de 2022. El área definida como contaminada estaba adyacente a una mina y el área de control estaba en una región protegida de la contaminación atmosférica por la mina a través de una montaña considerada una barrera física natural. Los atributos funcionales vegetales (masa fresca, masa seca, área y grosor foliar y contenido de clorofila a, b y total) se analizaron mediante ICP OES y MEV para el análisis del material particulado en la hoja. Para el análisis de la sílice en la orina, se verificó la razón de la dosificación de sílice en muestra simple de orina mediante ICP colorimétrico. **Resultados:** Se verificó una mayor concentración de material particulado sobre la superficie foliar de *P. gaudichaudianum* en la población muestral de la zona contaminada en relación con la zona de control, principalmente hierro y sílice. La masa fresca, masa seca, el nivel de clorofila a, b y clorofila total fueron menores en las hojas de las zonas contaminadas en relación con aquellas de la zona de control. Solo el grosor foliar fue mayor en las hojas de la zona contaminada. En cuanto a la mediana de excreción urinaria de sílice, no se identificó diferencia significativa entre las personas residentes en el área contaminada o de control. Aunque hubo una asociación entre los residentes de la zona contaminada presentando menor probabilidad de un valor de sílice en la orina por encima de la mediana de la muestra ($\geq 3,91$ mg/g), tal asociación no fue significativa después del ajuste por edad. **Conclusión:** aunque la deposición de material particulado puede tener efectos negativos en el desarrollo de la especie vegetal monitorizada en este estudio, con aumento del grosor foliar, reducción del área foliar y disminución de los niveles de clorofila a, b y total, estos hallazgos no estuvieron asociados con una mayor presencia de sílice en la orina de las personas que viven en la zona más contaminada. Los factores de contaminación de la muestra y dietéticos podrían haber

influido en estos hallazgos en la muestra humana estudiada.

Palabras clave: Hojas, orina, polvo de sílice, nefropatía.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização dos pontos amostrais na cidade de Joinville – SC.....	34
Figura 2 – Fluxograma do estudo.....	35
Figura 3 – Especificação química obtida por espectrometria de massa do material particulado presente na superfície adaxial foliar de <i>Piper gaudichaudianum</i> (Piperaceae) nos pontos poluído e controle.....	43
Figura 4 – Microscopia eletrônica de varredura da superfície adaxial foliar de <i>Piper gaudichaudianum</i> (Piperaceae).....	43
Figura 5 – Análise de componentes principais com atributos foliares de <i>Piper gaudichaudianum</i> (Piperaceae) nos pontos poluído e controle.....	46
Figura 6 – Distribuição dos valores de Silica/Creatinina Urinária por local de residência.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Representa a calibração do equipamento referido para ICP-OES....39

Gráfico 2 – Representa a calibração do equipamento referido para ICP-OES....40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Médias, desvios-padrão e escores da análise de componentes principais dos atributos morfológicos e fisiológicos das populações de <i>Piper gaudichaudianum</i> (Piperaceae) nas zonas poluída e controle.....	45
Tabela 2 – Características gerais da amostra total e estratificada pelo <i>status</i> da zona em que residem (n=51)	48
Tabela 3 – Variáveis associadas com valores de sílica/creatinina urinária acima da mediana da distribuição da amostra ($\geq 3,91$ mg/g), por Regressão Logística (n=51)	53

LISTA DE ABREVIATURAS

PIB	Produto Interno Bruto
IDHM	Índice de Desenvolvimento Municipal
MP	Material Particulado
PTS	Partículas Totais em Suspensão
MP ₁₀	Material Particulado Grosso
MP _{2.5}	Material Particulado Fino
SO ₂	Dióxido de Enxofre
CO	Monóxido de Carbono
O ₃	Ozônio
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
Pb	Chumbo
Si	Silício
SiO ₂	Dióxido de Silício
ICP OES	<i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
TFG	Taxa de Filtração Glomerular
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	15
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 Geral.....	18
2.2 Específicos.....	18
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1 Poluição atmosférica e qualidade ambiental.....	19
3.2 Poluição atmosférica e efeitos na saúde.....	20
3.3 Joinville e suas características.....	24
3.4 Sílica.....	26
3.5 Biomarcadores de sílica.....	28
3.5.1 Planta monitora e características morfofisiológicas.....	28
3.5.2 Urina humana e suas características biológicas.....	29
4. INTERDISCIPLINARIEDADE.....	31
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
5.1 Delineamento do Estudo.....	32
5.2 População do Estudo e Amostragem.....	32
5.2.1 Área de estudo.....	32
5.2.2 População amostral: humanos e coleta de urina.....	34
5.3 Instrumentos e métodos utilizados.....	36
5.3.1 Material botânico e atributos selecionados.....	37
5.3.2 Coleta e análise de material particulado botânico.....	38
5.3.3 Coleta e análise do material particulado na urina.....	38
5.3.4 Análise da creatinina urinária.....	40
5.4 Análise Estatística.....	41
5.4.1 Plantas da espécie <i>Piper gaudichaudianum</i>	41
5.4.2 Urina.....	41
5.5 Aspectos éticos.....	42
6. RESULTADOS.....	43

6.1 Plantas da espécie <i>Piper gaudichaudianum</i>	43
6.2 Urina.....	47
7. DISCUSSÃO.....	51
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
REFERÊNCIAS.....	57
APÊNDICE A.....	65
APÊNDICE B.....	68
APÊNCICE C.....	69
ANEXO A.	70

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Sabe-se que o processo de industrialização, quando feito de forma sem considerar possíveis danos ambientais, pode ser responsável pela degradação de ecossistemas, o que reflete indiscriminadamente na saúde dos seres humanos (CASSIANO, 2016). As atividades industriais e as inovações tecnológicas constituem elementos determinantes do dinamismo inovador na economia mundial. Todavia, tal crescimento industrial em algumas cidades pode implicar danos a saúde, uma vez que os interesses empresariais podem não priorizar a saúde dos trabalhadores e comunidades adjacentes a tais indústrias (GEDELHA, 2006).

Juntamente ao vertiginoso crescimento econômico e industrial, há o aumento da degradação ambiental pela poluição do ar atmosférico em decorrência da emissão de resíduos fabris, com conseqüente desequilíbrio aos sistemas naturais e a injúrias em diferentes organismos, como plantas e animais. Há nesse sentido, diversos impasses socioeconômicos estabelecidos pela intervenção do homem, visto que ele é peça integrante desse meio (MAGALHÃES, 1994; CASSIANO, 2016). Ademais, o crescimento populacional e o conforto gerado pelo progresso contribuem amplamente para a geração de poluentes no ar, expondo cada vez mais os seres vivos à substâncias nocivas (TEIXEIRA & BARBERIO, 2012; SANTOS *et al.*, 2019). Tal poluição gerada pelos seres humanos causa graves impactos negativos nas plantas, como alterações funcionais e estruturais (SANTOS *et al.*, 2019). Além disso, a emissão de poluentes no meio ambiente culmina em aumento de doenças ocupacionais e crônicas, o que reflete na maior necessidade de tratamento e de internações hospitalares, onerando o sistema público de saúde (BOSSON-RIEUTORT *et al.*, 2018). Nesse contexto, pode-se citar o maior polo industrial do estado de Santa Catarina, o município de Joinville.

Localizado na região Sul do Brasil, a cidade de Joinville é o maior polo industrial do estado de Santa Catarina, cujo parque industrial abriga cerca de 1.400 indústrias de pequeno, médio e grande porte, o que impulsiona o crescimento econômico e potencializa os problemas de ordem socioambiental na região. Com população de 604.708 habitantes, é a cidade mais populosa de Santa Catarina, a

quarta da Região Sul e a 16.º do país, com densidade demográfica de 457,58 hab./km². Com o terceiro maior polo industrial do sul do Brasil, Joinville possui o maior Produto Interno Bruto (PIB) do Estado, sendo o 21.º município no *ranking* nacional (IBGE, 2016). O setor primário destaca-se pela produção de banana, palmito e arroz. O secundário, abriga complexos industriais (eletrometalmecânico, moveleiro, têxtil e de confecções), bens de capital e químico (plásticos e borrachas). O setor terciário concentra empresas de *software*. Com tal industrialização acelerada e precocemente, Joinville entra na lista de cidades com altos índices de poluição atmosférica e, conseqüentemente, impactos negativos na saúde dos seres vivos são esperados (SANTOS *et al.*, 2019).

Dessa forma, há a necessidade de monitorar a qualidade ambiental por meio de ensaios com espécies vegetais e seres humanos como forma de estabelecer mecanismos desencadeadores das injúrias à saúde humana e de outros organismos decorrentes da poluição atmosférica.

Uma prática que tem grande potencial de contaminação do meio ambiente é a atividade mineradora que envolve a liberação atmosférica de sílica. Estudos de monitoramento comprovam que tal poluição apresenta riscos significativos para a saúde e o meio ambiente, especialmente quando é liberada no ar como poeira fina (EPA, 1996). A exposição prolongada à poeira da sílica pode proporcionar o desenvolvimento de diversas doenças, dentre elas, a bem estabelecida doença pulmonar chamada silicose, silicotuberculose, cor pulmonale, **doenças autoimunes como a esclerodermia e dano renal** (EPA, 1996). Estima-se que 4,2 milhões de mortes em todo o mundo estão ligadas à poluição do ar ambiente, principalmente por doenças cardíacas, acidente vascular encefálico, doença pulmonar obstrutiva crônica, câncer de pulmão e infecções respiratórias agudas (WHO, 2023). A sílica, também pode aumentar o risco de câncer de pulmão (WHO, 2023). Além disso, a poeira da sílica pode desencadear alterações nefrológicas, como glomerulonefrites, insuficiência renal, câncer renal e nefrolitíase formada por cristais de sílica (SALDANHA, *et al.*, 1975; STEENLAND, 1990; LEE *et al.*, 1993). Esses riscos são especialmente elevados para trabalhadores da mineração expostos a altos níveis de sílica em suas atividades diárias. Mais de 99% da população vive em áreas onde a poluição do ar

está acima das diretrizes de qualidade do ar da OMS e 4,2 milhões de mortes são atribuídas à poluição do ar ambiente a cada ano (WHO, 2023).

Além dos riscos para a saúde, a emissão de sílica no meio ambiente pode interferir negativamente sobre a qualidade do ar e da água, o que impacta diretamente na vida selvagem e na biodiversidade. No sistema vegetal, as injúrias provenientes da poeira da sílica são bem estabelecidas, como alterações estruturais (clorose) e funcionais (fotossíntese), menor espessura do limbo e do mesófilo, menor desenvolvimento foliar (massa fresca e área foliar) e menor capacidade fotossintetizante (CAVALLARO, *et al.* 2018). No entanto, há uma carência de estudos que correlacionam plantas e seres humanos de forma integrada no ambiente, considerando as populações vegetais como verdadeiros biomarcadores para danos na saúde humana (MELO Jr., *et al.* 2014).

Diante desse cenário, seres humanos e plantas expostos a poluição ambiental, mais especificamente, poeira da sílica, podem apresentar marcadores dessa poluição em seus organismos e assim, relacionarem-se entre si no contexto da qualidade ambiental, fazendo necessário compreender as inúmeras injúrias fisiológicas geradas por tal poluição a esses organismos. Para isso, foi utilizada uma planta monitora da espécie *Piper gaudichaudianum* a qual foi selecionada para tal estudo devido haver número de indivíduos abrangente na área de estudo, o que permite um número mínimo de indivíduos com validade amostral.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Demonstrar as injúrias foliares provocadas pela poluição atmosférica por sílica em plantas da espécie *Piper gaudichaudianum* e correlacionar tais achados com a excreção de sílica na urina de seres humanos expostos à poeira da sílica, numa perspectiva integrada de monitoramento da qualidade ambiental na cidade de Joinville, Santa Catarina.

2.2 Específicos

- Mensurar possíveis alterações estruturais e fisiológicas de plantas expostas e não expostas à poluição por sílica, por meio de atributos morfológicos foliares e da concentração dos teores de clorofila a, b, e total.
- Avaliar a excreção de sílica na urina de indivíduos expostos ou não a contaminação atmosférica de sílica, como um potencial marcador biológico de injúria renal gerada pela poluição de poeira da sílica nos seres humanos.
- Comparar a ocorrência de relação entre injúrias em plantas e níveis de sílica urinária em seres humanos decorrentes da poluição por sílica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Poluição atmosférica e qualidade ambiental

No começo do século XX os centros urbanos tornaram-se maiores e mais populosos, com a crescente circulação de veículos, atividades industriais e mineradoras, a qualidade ambiental deixou de ser um estado de bem estar social e passou a representar um estado de risco à população, seja animal e vegetal (RUSSO, 2005). O novo dinamismo da economia mundial, onde a indústria e as inovações tecnológicas têm grande espaço, constituem a base do desenvolvimento para melhores condições e avanços com indústrias fortes que disputam lugar no mercado global (GEDELHA, 2006). Infelizmente, na área da saúde, tal avanço, não é diretamente proporcional, visto que os interesses empresariais se deslocam em vias de lucro econômico e não direcionados para a saúde dos seres vivos (GEDELHA, 2006). Dentro desse contexto, entra a tão falada poluição atmosférica que gera graves impactos nocivos aos organismos vivos.

Conforme o Ministério da Saúde, a poluição é definida pela presença ou lançamento de substâncias tóxicas na atmosfera que interfiram no meio ambiente, na saúde, na segurança e no bem estar das pessoas. As fontes emissoras de poluentes na atmosfera podem ser fixas (pontuais) como as atividades industriais e mineração ou móveis (difusas), por exemplo os veículos com motores de combustão (BRASIL, 2021). São poluentes atmosféricos: partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis ou material particulado grosso e fino (MP_{10} e $MP_{2,5}$), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3), dióxido de nitrogênio (NO_2) e chumbo (Pb) (SANT`ANNA, 2021). Dentre os poluentes atmosféricos, o grande protagonista que se destaca no âmbito da qualidade ambiental é o material particulado grosso (MP_{10}).

O MP consiste em uma mistura de partículas sólidas e líquidas em suspensão no ar emitidas por processos naturais ou antropogênicos, as quais diferenciam-se em

quatro classes: partículas grossas (2,5-10 μ m), partículas finas (0,1-2,5 μ m), partículas ultrafinas (0,01 -0,1 μ m) e nanopartículas (< 0,01 μ m) (BRITO, 2018). Segundo Wilson et al.(1997), dentre os componentes no material particulado inalável grosso (MP₁₀) está o mineral silício (Si) presente na crosta terrestre em grande quantidade.

Segundo Brito *et al.* (2018) há uma variedade de técnicas analíticas para determinar o MP atmosférico, são elas: Espectrometria de absorção atômica (AAS), espectrometria de fluorescência atômica (AFS), espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES), espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), fluorescência de raios-X (XRF), análise por ativação de nêutrons (NAA) e emissão de raios-X por partículas induzidas (PIXE) e a cromatografia iônica (IC).

No Brasil, desde 1968, com a criação da Campanha Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), agência governamental com o intuito de monitorar, fiscalizar e licenciar atividades produtoras de poluição, é possível divulgar em tempo real as concentrações de poluentes medidos no ar e conseqüentemente de MP. No boletim anual da qualidade do ar do estado de São Paulo de 2021, a CETESB divulgou que ocorreram 79 dias de altas das concentrações de MP, o que caracteriza a qualidade do ar ruim ou muito ruim (CETESB, 2023). Esse fato tem impacto nocivo direto na saúde humana, fauna e flora.

Vormittag *et al.* (2021) descreve as condições atuais da rede de monitoramento de qualidade do ar no Brasil. Segundo os autores, apenas dez estados brasileiros e o Distrito Federal realizam o monitoramento através de 371 estações ativas, sendo 80% delas na Região Sudeste. Além disso, o MP₁₀ é o poluente mais monitorado em 62,8% das estações. Desta forma, existe ainda a necessidade de ampliar pontos de monitoramento em outras regiões do país proporcionando a fim de melhor compreender os impactos ambientais de outros materiais potencialmente tóxicos à saúde.

3.2 Poluição atmosférica e efeitos na saúde

Desde a antiguidade, os humanos, os animais e os patógenos podem ser

considerados como um único sistema dinâmico, no qual estes elementos interagem mutuamente dentro de um mesmo ambiente, conceituado de forma apropriada como *One Health* ou, de forma mais abrangente, *One World - One Health* (CALISTRÍ *et al.*, 2013; CANTAS & SUER, 2014). A expressão ainda é pouco disseminada fora do âmbito da saúde, mas os conceitos que o embasam são bem antigos.

Aristóteles (384-322 a.C) introduziu o conceito de medicina comparada nos estudos de várias doenças epizoóticas de humanos e outras espécies animais, integrando com ecossistema, escrita em uma série de obras (CARNEIRO E PETTAN-BREWER, 2021). Depois no século XIX, o médico patologista alemão Rudolf Virchow defendia que entre animais e medicina humana não há divisórias, e nem deveria haver, sendo o responsável por cunhar o termo zoonose (doenças e/ou infecções transmitidas para o homem através dos animais) (CARNEIRO E PETTAN-BREWER, 2021). Assim, “*One Health*” abrange todos os pilares para prevenir doenças, proteger e promover a saúde em diferentes setores da tríade humano/ animal/ ambiente (CONCEIÇÃO *et al.*, 2023).

Esse termo trata da integração entre a saúde humana, a saúde animal, o ambiente e a adoção de políticas públicas efetivas para prevenção e controle de enfermidades trabalhando nos níveis local, regional, nacional e global (CARNEIRO E PETTAN-BREWER, 2021). À medida que o mundo se torna cada vez mais conectado, a necessidade de aplicar efetivamente o conceito *One Health* passa cada vez mais ser incorporado nas avaliações de impactos ambientais de todas as atividades de desenvolvimento econômico de uma região. Não só para proteger pessoas e animais de doenças, mas também para impedir rupturas econômicas que podem acompanhar surtos de doenças (CONCEIÇÃO *et al.*, 2023). 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, com outras palavras, os componentes geográfico, ecológico, atividade humana e a agricultura alimentar na mesma sintonia (CALISTRÍ *et al.*, 2013).

A degradação ambiental provocada por ações antrópicas são geradoras de perturbações graves ao ecossistema, atingindo um estágio clímax no cenário de distúrbio vegetal e do potencial de resiliência ambiental, o que interfere diretamente

no conceito de “One Health (GONZAGA , 2016; MORAES et al., 2010). Quanto mais distúrbios naturais à vegetação, menor será a resiliência ambiental, menos estáveis e potencialmente mais difíceis de restabelecer uma comunidade vegetal (MORAES et al., 2010). Nesse cenário, tem-se repercussões negativas provocadas por ações antrópicas que atingem não só a comunidade ambiental, como também os próprios seres humanos residentes desse meio.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define saúde como o estado de completo bem-estar físico, mental e social e não apenas a ausência de enfermidade (doença, deficiência, invalidez) como era defendido na Antiguidade do século XX (BRASIL, 1997). Assim, é indispensável compreender o estado de saúde no contexto histórico, econômico, político, social, de qualidade de vida, das necessidades básicas dos seres vivos, incluindo valores, crenças, direitos, deveres e relações dinâmicas em que se relacionam (SCLIAR, 2007).

A relação entre o processo saúde-doença no mundo ocidental inicialmente foi creditada pelo médico italiano Bernardo Ramazzini, que em 1700 descreveu em seu livro *De Morbis Artificum Diatriba* as doenças ocupacionais da época, defendendo a máxima “é melhor prevenir do que remediar” (CONSOLINO *at al.*, 2011). Com a revolução industrial na Europa, a partir do século XVIII, a incidência de doenças ocupacionais, como exemplo a silicose pulmonar, aumentou em larga escala, juntamente práticas médicas foram implantadas para detectar processos danosos à saúde, com ênfase em higiene industrial para controle das doenças ocupacionais, relacionando ambiente trabalho-corpo (CONSOLINO *at al.*, 2011).

No Brasil, apenas na década de 80, com a Reforma Sanitária, foram implementadas Ações Integradas de Saúde visando a proteção e promoção da saúde dos trabalhadores (CONSOLINO *at al.*, 2011). Melo e Zago (2012) publicaram um estudo com 8 trabalhadores de pedreiras de Minas Gerais, com silicose pulmonar em estágios avançados. Por ser uma doença de progressão lenta e insidiosa, o diagnóstico pode ser tardio e dependente do tempo de exposição ao material particulado atmosférico (sílica), quanto maior for o tempo de exposição, maior o agravo à saúde. Nesse estudo, ressaltam que o Programa Nacional de Erradicação da Silicose (PNES) propõe como meta a erradicação da doença como

problema de saúde pública até 2030, por meio da criação de tecnologias apropriadas de prevenção primária (MELO E ZAGO, 2012).

Paradoxalmente, mesmo com uma maior visibilidade social dos problemas que afetam a qualidade de vida da classe trabalhadora, desde os tempos mais longínquos, os agravos à saúde dos seres vivos é marcada por impactos provenientes da poluição gerada pelas indústrias, refletindo nos tempos atuais, por meio de afecções agudas e crônicas aos sistemas respiratório e cardiovascular (BRAGA *et al.*, 2001). Por isso, é necessário perceber com clareza a multidisciplinariedade para atuar com efetividade impulsionando saúde aos seres vivos.

Juntamente ao amplo crescimento econômico e industrial da cidade, tem-se como consequência o aumento da degradação ambiental representada, também, pela poluição do ar atmosférico em decorrência da emissão de resíduos fabris, desequilibrando os sistemas naturais e provocando injúrias em diferentes organismos, como plantas e animais. Há nesse sentido, diversos impasses negativos estabelecidos pela intervenção do homem, visto que ele é peça integrante desse meio (MAGALHÃES, 1994; CASSIANO, 2016). São exemplos os impactos gerados sobre o meio ambiente, haja vista que, a depender do tipo de fábrica e das infraestruturas para ela oferecidas, são gerados mais poluentes na atmosfera, nos solos e sobre a saúde dos seres vivos (POCHMANN, 2016). O fato é que o crescimento populacional e o conforto gerado pelo progresso contribuem amplamente para a geração de poluentes no ar, expondo cada vez mais os seres vivos à substâncias nocivas como a fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, ozônio, dióxido de nitrogênio e monóxido de carbono (TEIXEIRA & BARBERIO, 2012; SANTOS *et al.*, 2019). Além disso, a emissão de poluentes no meio ambiente culmina em aumento de doenças ocupacionais e crônicas, o que reflete na maior necessidade de tratamento e de internações hospitalares, onerando o sistema público de saúde (RIEUTORT *et al.*, 2018; BOSSON RIEUTORT *et al.*, 2018).

Desta forma, a saúde pode ser um importante indicador do estado funcional saudável dos sistemas ecológicos, ou melhor ainda, estes sistemas refletem a saúde dos componentes vivos e não-vivos do planeta (LERNER & BERG, 2015). As injúrias

em plantas decorrentes da deposição de material particulado provindo da poluição atmosférica servem de bioindicador para os efeitos deletérios sobre a saúde ocupacional de indivíduos expostos à esses componentes (SANTOS *et al.*, 2019; CAVALLARO *et al.*, 2019).

Sabe-se que a deposição de partículas de poluentes sobre a lâmina foliar gera sérios danos morfológicos e estruturais das plantas, incluindo a clorose, diminuição do conteúdo de pigmentos fotossintéticos e redução da fotossíntese e trocas gasosas (ARRIVABENE *et al.*, 2015).

Klumpp *et al.* (2003) analisou o impacto da poluição atmosférica no solo do complexo petroquímico de Camaçari (PCC) no litoral da Bahia. Nesse estudo, as concentrações totais de enxofre no solo foram determinadas usando ICP-OES e concentrações foliares de enxofre na lâmina foliar foram determinadas em material seco usando um analisador automático de enxofre (EltraCS500), demonstrando que o acúmulo acentuado de material particulado contendo enxofre foi diretamente responsável por cloroses internervais severas e necroses em folhas de mangueiras e outras plantas (Klumpp *et al.*, 2003).

3.3 Joinville e suas características

Localizada na região Sul do Brasil, Joinville situa-se nas coordenadas 26°18'05" S e 48°50'38" W, totalizando uma área de 1.128 km² (IPPUJ, 2021), o relevo do município é distribuído entre terrenos cristalinos da Serra do Mar e escarpas da serra na região de transição entre o Planalto Ocidental e as Planícies Costeiras (JOINVILLE CIDADE EM DADOS, 2019). Em relação aos ecossistemas, destacam-se, com mais de 60% de cobertura, a Floresta Ombrófila Densa (cerca de 680 km²) e ecossistemas associados, principalmente os Manguezais, com 36 km² (JOINVILLE CIDADE EM DADOS, 2019).

Além disso, o patrimônio natural de Joinville contempla sete Bacias hidrográficas (Rio Cachoeira, Rio Cubatão, Rio Piraí, Rio Itapocuzinho, Palmital, Independentes da Vertente Leste e Sul), Lagoa de Saguacú e Baía da Babitonga. Por

outro lado, a vegetação, em muitos lugares do município, foi suprimida em função da urbanização, da industrialização e da agricultura nas regiões periféricas (BACK *et al.*, 2019). Por isso, considerando a relevância da proteção da natureza para um ambiente equilibrado, o fato de parte do patrimônio natural existente já se encontrar danificado, a criação de Unidades de Conservação (UCs) foi uma das formas de proteger o que ainda permanece (BACK *et al.*, 2019). Assim, no território joinvilense, foram criadas nove UCs, das quais sete são de gestão municipal: Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) da Ilha do Morro do Amaral, Parque Ecológico Prefeito Rolf Colin, Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra Dona Francisca, Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) do Morro do Boa Vista, Parque Natural Municipal da Caieira, Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) do Morro do Iriirú, Parque Municipal do Morro do Finder; uma de gestão Estadual: Estação Ecológica do Bracinho; e uma de gestão privada: Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Caetezal.

Joinville é o maior polo industrial do estado de Santa Catarina, cujo parque industrial abriga cerca de 1.400 indústrias de pequeno, médio e grande porte, o que impulsiona o crescimento econômico mas, por outro lado, potencializa os problemas de ordem socioambiental na região. Com população de 569.645 habitantes, é o 9.º município mais populoso dentre os 295 de Santa Catarina, o quarto da Região Sul e o 16.º do país, com densidade demográfica de 457,58 hab./km² (IBGE, 2023). Conforme dados da ONU (2013), o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) coloca a cidade na 21.ª posição no cenário nacional, com IDH = 0,809 (IBGE, 2016). Com o terceiro maior polo industrial do sul do Brasil, Joinville possui o maior Produto Interno Bruto (PIB) do Estado, sendo o 21º município no *ranking* nacional (IBGE, 2016). O setor primário destaca-se pela produção de banana, palmito e arroz. O secundário, abriga complexos industriais (eletrometalmecânico, moveleiro, têxtil e de confecções), bens de capital e químico (plásticos e borrachas). O setor terciário concentra empresas de *software*.

O processo de industrialização foi a força propulsora para o berço da poluição ambiental, a qual é observada no cenário atual. Nesse sentido, os primórdios da industrialização joinvilense ocorreu acelerada e precocemente no ano de 1880,

estabilizando as primeiras indústrias pioneiras do setor metal-mecânico, enquanto que ao mesmo tempo no Brasil ainda contemplava-se a substituição das importações de produtos têxteis (DE e ROCHA, 1994). Atualmente, Joinville é o terceiro polo industrial do estado, considerada pela Confederação Nacional da Indústria o mais diversificado parque industrial do país e um dos maiores, com poderosas empresas que concorrem a nível mundial pela contínua inovação na administração e produção industrial, destacando-se por representar aproximadamente 15% do total de vendas externas do Estado, destinadas a diversos países (DE e ROCHA, 1994). Diante desse grande centro industrial, a poluição ambiental lançada no meio ambiente provoca alterações ambientais de diversas magnitudes (CAVALLARO *et al.*, 2019).

3.4 Sílica

Ainda na Grécia e Roma antigas, as atividades de mineração, construção e produção de peças decorativas, propiciaram a progressão do emprego e do risco de exposição à sílica concomitante ao processo de industrialização (TERRA FILHO & SANTOS, 2006). Como a sílica é o mineral mais presente na superfície do planeta, especialmente na areia e nas rochas, sendo utilizada enormemente nas indústrias de diversas áreas, torna-se evidente que o estudo dos efeitos da poluição do ambiente de trabalho e de seu entorno geográfico, por este composto, tem importância clínica na determinação ou no desencadeamento de muitas doenças (SALDANHA, *et al.*, 1975; STEENLAND *et al.*, 1990; LEE *et al.*, 1993; PARKS, *et al.*, 1999; RAPITI *et al.*, 1999; MARTINS, 2009; GHARAMANI, 2010; McCORMIC *et al.*, 2010; VUPPUTURO *et al.*, 2012; MASCARENHAS *et al.*, 2018; PETERS *et al.*, 2019).

Sabe-se os efeitos bem estabelecidos da poeira da sílica cristalina sobre os pulmões, o que provoca uma resposta fibrótica no parênquima pulmonar, apresentando-se clinicamente variável com diferentes níveis de gravidade (ÁLVAREZ *et al.*, 2015). A silicose é a doença ocupacional respiratória mais frequente no meio ambiente, sendo considerada um problema global de saúde pública (ÁLVAREZ *et al.*, 2015). Além da silicose, outras doenças ocupacionais são

registradas quando os seres humanos estão expostos à poeira da sílica, tendo um papel importante para o desencadeamento de glomerulonefrites, insuficiência renal, câncer renal e litíase urinária formada por cristais de sílica (SALDANHA, *et al.*, 1975; STEENLAND *et al.*, 1990; LEE *et al.*, 1993; PARKS, *et al.*, 1999; RAPITI *et al.*, 1999; GHAMRANI, 2010; McCORMIC *et al.*, 2010; VUPPUTURO *et al.*, 2012; MASCARENHAS *et al.*, 2018; PETERS *et al.*, 2019). A propriedade tóxica da sílica e certos silicatos são bem estabelecidas, como o amianto azul associado ao mesotelioma e o pó de carvão associado à pneumoconiose (ROBERTS & WILLIAMS, 1990).

O fato é que o silício, cada vez mais, tem se tornado de interesse científico, visto a sua concentração em fluidos fisiológicos como na urina e no soro sanguíneo, tendo importância tanto na saúde quanto na doença. No soro, as concentrações de silício aumentam em até 20 vezes em pacientes com insuficiência renal crônica em hemodiálise, possivelmente relacionado à ingestão dietética do silício (ROBERTS & WILLIAMS, 1990). Já na urina de pacientes saudáveis, as concentrações de silício relatadas na literatura estão na faixa de 280 $\mu\text{mol/L}$ (ROBERTS & WILLIAMS, 1990).

Um estudo realizado por King e Dolan (1934) analisou 58 amostras de urina de trabalhadores de minério, em Toronto, expostos à poeira da sílica e comparou com amostras de urina de estudantes de Toronto não expostos a poeira da sílica. Conforme os autores, a faixa de normalidade de excreção de sílica na urina de pessoas não expostas à poeira da sílica é de 15 a 20 mg de SiO_2 e quanto são sujeitos ao ambiente com poeira contendo sílica, essa faixa passa para 50 mg de SiO_2 . A sílica absorvida pelos pulmões ou injetada no sangue é rapidamente excretada na urina, isso quer dizer, trabalhadores expostos à poeira da sílica apresentam excreção renal de sílica superior à pessoas não expostas (King e Dolan, 1934).

Outra pesquisa desenvolvida por Bloomfield, Sayers e Goldman (1935), corroborou com o estudo de King e Dolan, visto que analisaram cento e vinte e três amostras de urina de trabalhadores expostos a poeira de sílica (destes, 20 estavam afastados das atividades laborais em média há 7 anos), pelo método colorimétrico de

Dolan e King, e foi encontrada correlação entre o período em anos de exposição à poeira de sílica e a quantidade de sílica urinária, mesmo os ex-trabalhadores, após um lapso de anos longe da exposição à sílica, mantiveram excreção urinária de sílica superior aos indivíduos normais (Bloomfield, Sayers e Goldman, 1935).

A grande questão é que a profilaxia primária de doenças, sendo elas ocupacionais ou não, na forma de controle da poeira da sílica, é um dos focos da Campanha de Eliminação Global da Silicose da Organização Mundial da Saúde e da Organização Internacional do Trabalho (REES, 2017) .

3.5 Biomarcadores de sílica

3.5.1 Planta monitora e características morfofisiológicas

Contando com aproximadamente 3600 espécies de distribuição pantropical, Piperaceae é uma família que possui cinco gêneros, no Brasil é representada por cerca de 450 táxons, distribuídos em três gêneros e com maior diversidade na Mata Atlântica e Amazônia (Melo *et al.*, 2014). Os representantes da família podem ser ervas epífitas, terrícolas ou rupícolas, hemiepífitas, repadeiras, arbustos eretos ou escandentes, ou pequenas árvores. As folhas são simples, alternas, opostas ou verticiladas, de margem inteira e geralmente possuem odor característico (Yuncker, 1972). Segundo o estudo de Yuncker (1972, 1973, 1974), pioneiro na pesquisa com Piperaceae no Brasil, mais de 500 táxons foram identificados por meio de fotografias de exsiccatas.

A espécie *Piper gaudichaudianum* Kunth, conhecida popularmente por apertaruão, pariparoba, erva-de-São-Manuel ou jaborandi (Guimarães *et al.*, 2015), e está presente em diversas regiões brasileiras, tais como: Norte (Pará), Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco), Centro-Oeste (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso), Sudeste (Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo), Sul (Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina), distribuída nos

domínios fitogeográficos da Amazônia, do Cerrado e da Mata Atlântica (Guimarães *et al.*, 2015). É um arbusto moderado a denso pubescente, os tricomas são variáveis acima de 1 mm ou mais longos, mas também podem ser mais curtos, eretos ou não muito frequente direcionados para cima, apresenta lâmina foliar assimétrica e com o lado mais curto agudo e o lado mais longo arredondado, obtuso a subcordado ou ocasionalmente agudo (Reflora, 2020).

Em relação à aplicabilidade medicinal dos metabólitos secundários bioativos para esta espécie citada, Schindler *et al.* (2017) relatam que derivados prenilados dos isômeros do ácido benzóico podem ser obtidos do extrato etanólico das folhas, que apresentaram atividade antimicrobiana contra cepas de *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* e *Candida tropicalis* (Schindler *et al.*, 2017). Em relação aos estudos da *Piper gaudichaudianum* como biomarcadora de poluição, não há relatos publicados na literatura como marcador biológico de poluição atmosférica.

3.5.2 Urina humana e suas características biológicas

Normalmente, o rim filtra 120 mL/min de sangue, realizando a depuração de produtos finais do metabolismo proteico e reabsorvendo água e solutos necessários para a homeostase corporal (ABENSUR, 2011). O produto final da filtração renal é a urina. A taxa de filtração glomerular (TFG), definida como a capacidade renal de depurar uma substância a partir do sangue, expressa o volume de plasma que pode ser completamente depurado na unidade de tempo. A TFG diminui progressivamente ao longo do tempo na maioria das doenças renais, especialmente se associado a complicações como hipertensão arterial. Tal diminuição da TFG pode acarretar em anemia, desnutrição energético-proteica e osteodistrofia renal (ABENSUR, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Substâncias de menor peso molecular, com cargas positivas ou não ligados a proteínas tem mais facilidade de atravessarem a barreira glomerular do rim e serem encontradas na urina (ABENSUR, 2011). Diversos estudos tem encontrado a presença de Silica na urina e associados a uma maior exposição ambiental (KING E

DOLAN, 1934). A dosagem de sílica na urina de uma amostra isolada, corrigida fatores diluicionais da urina pela razão dos valores de sílica pela creatinina urinária, demonstram uma boa correlação com a dosagem de sílica de urina de 24 horas (STRATTA *et al.*, 2001). Assim, considerando a facilidade para coleta de uma amostra de urina isolada e sua associação com ambientes contaminados, tal material biológico se torna um método útil de avaliação.

4. INTERDISCIPLINARIEDADE

Segundo Ghahramani (2010), a exposição à poeira de sílica está associada ao aumento da mortalidade por doença renal aguda e doença renal terminal, cujas enfermidades provenientes dos efeitos tóxicos da sílica podem ser prevenidas pela remoção da fonte de exposição para minimizar a agressão à saúde. Além disso, Cavallaro *et al* (2018) acrescentam que as perturbações ambientais provocadas pela poluição geram alterações estruturais, funcionais e químicas sobre os vegetais, cujas comunidades podem ser consideradas bioindicadores para a avaliação ou monitoramento de mudanças no ambiente. Nesse sentido, o conceito de “*One Health*” é um dos alvos da correlação entre saúde animal, vegetal e ambiental, sendo ferramenta primordial para prevenção de doenças e ajuste de atividades industriais e reversão de impacto ambiental (CONCEIÇÃO *et al.*, 2023).

Desta forma, é de suma importância a correlação das grandes áreas, tais como:

Botânica que é instrumento para análise das injúrias foliares geradas pela poluição de poeira de sílica e fornece espécies com potencial de serem bioindicadores;

Saúde coletiva que serve de ponte entre a botânica e a medicina, cujas atribuições acerca de saúde pública, sistema público de saúde, impactos nocivos às populações vegetais e animais são de relevância para melhora da qualidade de vida;

Medicina que seu cerne em estudar os danos à saúde fisiológica da população exposta à poluição ambiental contendo poeira de sílica.

Portanto, a partir da confluência entre as grandes áreas citadas é possível identificar os danos gerados pelos materiais particulados atmosféricos nas populações vegetais e animais e, sequencialmente atribuir medidas para evitar os mesmos com posterior redução de gastos públicos com internações hospitalares, medicamentos e tratamentos onerosos ao sistema de saúde público.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Delineamento do Estudo

Este estudo transversal, observacional, analítico, que analisou folhas da espécie *Piper gaudichaudianum* e amostras de urina de populações expostas ou não a poeira de sílica no período de novembro de 2021 a dezembro de 2022 em um bairro de Joinville.

5.2 População do Estudo e Amostragem

5.2.1 Área de estudo

Dois pontos amostrais foram definidos no município de Joinville, localizado na porção nordeste do Estado de Santa Catarina. Estes pontos amostrais são representativos de duas áreas geográficas específicas definidas arbitrariamente: o primeiro de uma área poluída com a poeira de sílica, localizada nas imediações de uma fonte emissora, sendo chamado de zona poluída; o segundo ponto livre desse tipo de poluição foi considerado como zona controle. A fonte emissora de poluição ambiental considerada foi uma mineradora que sabidamente produz MP do tipo sílica. Tais pontos amostrais são separados por uma barreira natural, um morro, cuja função é impedir a transição da poeira da sílica da área poluída para a área controle. Abaixo é apresentada uma definição dos pontos supracitados:

Zona poluída (26°14'3902.81", 48°55'34.09") - este ponto é representativo da área geográfica do polo industrial de Joinville, referente à extração mineral. Britagem Vogelsanger, localizada no Bairro Vila Nova de Joinville, e sua área perimetral, distante 1,2km da área de mineração a céu aberto; altitude de 60 metros acima do nível do mar; sem obstáculos naturais entre a fonte poluidora e a zona poluída, localiza-se adjacente a uma rua com intenso tráfegos de caminhões procedentes da área de mineração.

Zona controle (26°13'38.33", 48°55'31.91") - este ponto é representativo da área geográfica da Área de Preservação Ambiental (APA) Dona Francisca totalmente fora do alcance dos ventos incidentes na zona poluída ou que contenham fontes emissoras desse tipo de poluição no ar atmosférico, distante 3,5 km da área de mineração de rocha quartzosa a céu aberto; altitude de 75 metros acima do nível do mar; cercada por morros de 130 a 280 metros de altitude cobertos por mata nativa preservada de floresta ombrófila densa. Nessa região, vive uma pequena comunidade de moradores e com pouco tráfego de veículos.

Entre a zona poluída e a zona controle existe uma barreira física representado por um morro (Figura 1).

Os dois pontos amostrais podem ser visualizados na Figura 1.

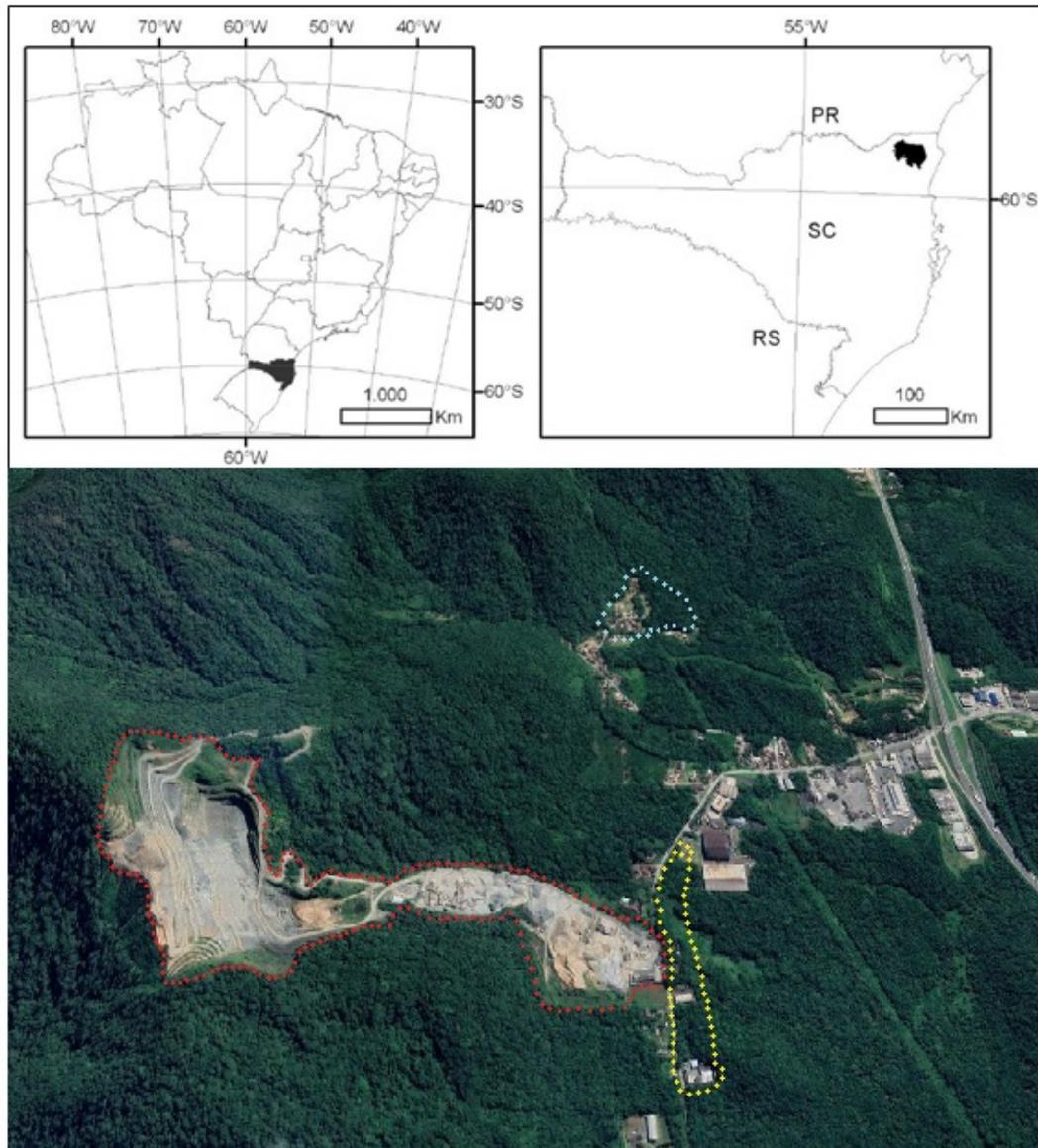


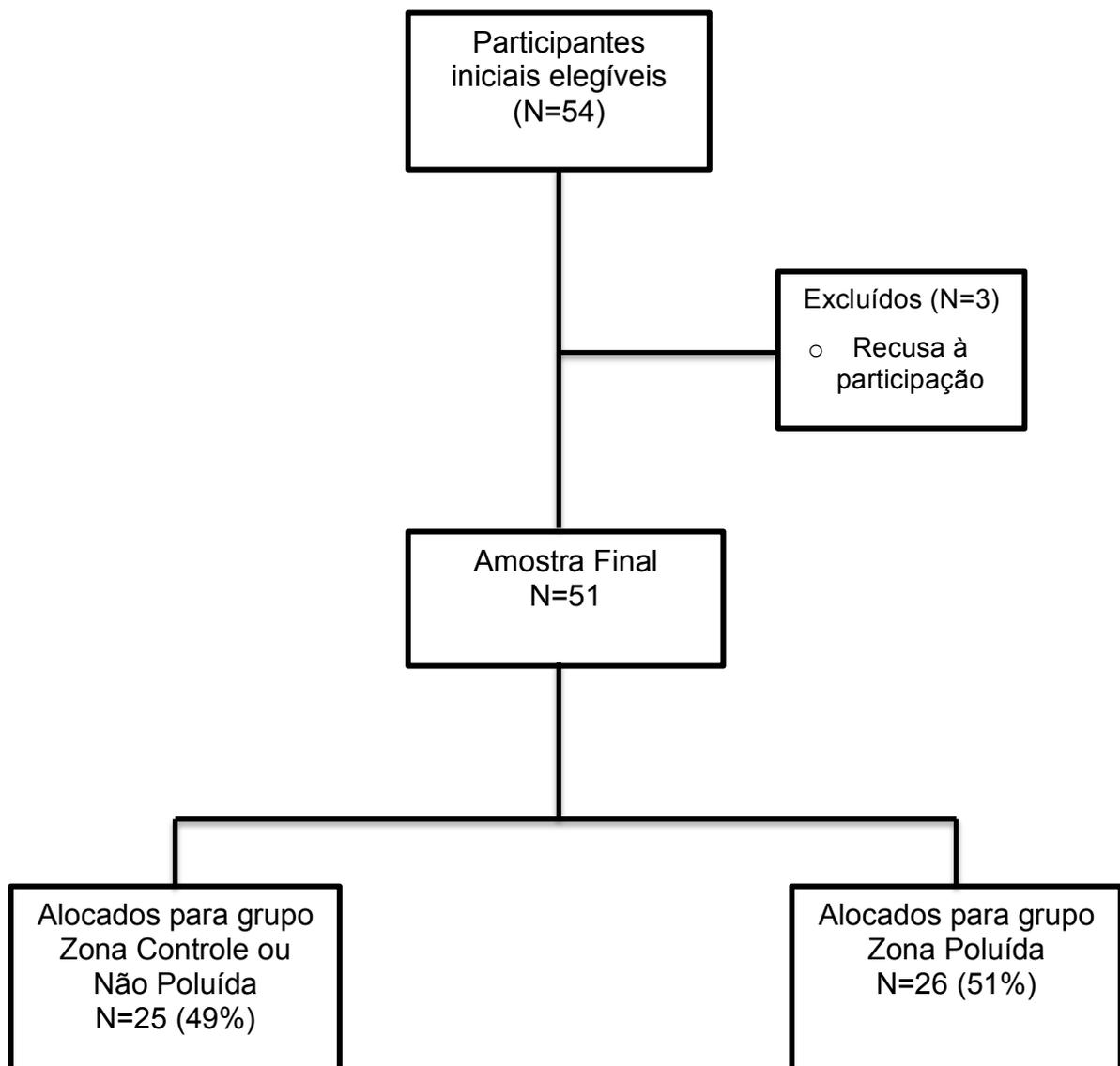
Figura 1: Localização dos pontos amostrais na cidade de Joinville, Santa Catarina, Brasil. Legenda: área de mineração (pontilhado vermelho); área poluída (pontilhado amarelo); área controle (pontilhado azul).

Fonte: Laboratório de morfologia e ecologia vegetal – Univille

5.2.2 População amostral: humanos e coleta de urina

Conforme a Figura 2, a amostra inicial da pesquisa foi de 54 participantes elegíveis, sendo 3 participantes excluídos devido à recusa à participação do estudo. Os 51 demais participantes foram incluídos no estudo conforme a região pertencente, poluída ou controle.

Figura 2. Fluxograma do estudo



Fonte: autor.

De cada um dos pontos amostrais das áreas poluídas e controle, foram coletadas amostras de urina (primeira urina da manhã) de 51 funcionários e/ou moradores pertencentes às características previamente definidas para tais pontos. Os participantes de cada ponto amostral foram selecionados por meio da técnica girar a caneta sobre o ponto central de cada região em um mapa (*spinning the pen method*). Na rua definida pela caneta foram sorteadas 25 casas de cada ponto amostral. Para cada casa um morador presente no momento da visita pelo pesquisador foi convidado para participar do estudo, assinando o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A) .

Como critérios de inclusão, foi instituído indivíduos adultos, maiores de 18 anos e menores de 60 anos e considerados saudáveis mediante um interrogatório sobre doenças (Apêndice B), além de morar e trabalhar no próprio bairro definidos nos pontos amostrais. Foram excluídos aqueles participantes que apresentaram uma depuração da creatinina endógena (DCE) abaixo dos limites de normalidade.

Os participantes foram previamente contactados em visita domiciliar para participarem do estudo. Foi agendada a aplicação de um questionário fechado sobre a saúde do participante da pesquisa (Apêndice B) e coletado material biológico (amostra de urina) uma única vez. O preenchimento correto do questionário fechado e coleta de amostra foram feitas em horário previamente agendado com cada participante em uma manhã na própria casa do participante.

Foram doados frascos, contendo o número do participante, com capacidade volumétrica de 80 ml para a coleta de amostra de urina, conforme as orientações conforme o Apêndice C. Esta amostra coletada, foi utilizada para a dosagem da creatinina sérica por um laboratório de análises clínicas credenciado na cidade de Joinville – SC e para análise do dióxido de silício no Laboratório de Análises Clínicas da UNIVILLE.

Os frascos contendo as amostras de urina foram acondicionados em caixas de isopor, refrigerados 2 a 8° C, e transportados imediatamente para a análise laboratorial.

As amostras de urina, bem como os frascos, tubos de ensaio utilizados, foram

desprezados de acordo com a legislação sanitária vigente.

5.3 Instrumentos e métodos utilizados

5.3.1 Material botânico e atributos selecionados

Em cada ponto amostral foram selecionados 5 indivíduos de *P. gaudichaudianum*, totalizando 10 indivíduos amostrais em fase adulta de desenvolvimento na mesma fase fenológica, na mesma estação do ano e na fase adulta das plantas padronizando a coleta, para evitar o viés da sazonalidade sobre o desenvolvimento foliar. De cada indivíduo foram coletadas 30 folhas (N=150). A escolha dos atributos funcionais foi baseada em Pérez-Harguindeguy *et al.* (2013), compreendendo: massa fresca (g), massa seca (g), obtidos com auxílio de balança analítica de precisão; área foliar (cm²) mensurada por meio do software Sigma Scan Pro 5.0; espessura foliar (mm) obtida por meio de paquímetro digital; e teor de clorofila.

As folhas coletadas foram acondicionadas em recipientes plásticos com a devida identificação dos indivíduos e da área amostral. O conteúdo de água foi determinado pela diferença entre as massas fresca e seca. A quantificação de pigmento fotossintetizante foi realizada através da medição dos teores de clorofila a e b em 15 folíolos por indivíduo (N=150). Para esse fim, foram maceradas manualmente em cadinho cerâmico 0,5 gramas do terço médio do folíolo de cada indivíduo coletado, com acréscimo de 5 ml de acetona 80%. O conteúdo foi então transferido para tubos de ensaios revestidos com papel alumínio, para proteção contra a luz. As amostras foram centrifugadas em centrífuga Sigma 3K12 por 10 minutos a 2000 RPM. Terminada a centrifugação, foi feita então a diluição de 0,5 ml do sobrenadante em 5 ml de acetona 80%, transferindo-se para as cubetas. As leituras foram efetuadas em espectrofotômetro Biospectro SP 22 com comprimentos de onda de 645 e 663 nm para mensurar na devida ordem os teores de clorofilas a e b (WHITHAM *et al.*, 1971). Para os cálculos referentes a clorofila foram usadas as seguintes equações (HENDRY

& PRICE, 1993):

- *Clorofila a* = $(12,7 \times A_{XX} - 2,69 \times A_{XX}) \times 1,119$; onde A = absorvância;
- *Clorofila b* = $(22,9 \times A_{XX} - 4,68 \times A_{XX}) \times 1,102$;
- clorofila total foi dada pela somatória das \sum *Clorofila a e Clorofila b*.

5.3.2 Coleta e análise de material particulado botânico

Para a caracterização do material particulado (MP) utilizou-se 15 folhas de cada indivíduo dos 2 pontos amostrais (N=150). A remoção do MP foi realizada por meio de limpeza mecânica da superfície foliar em 2 etapas, a primeira com o uso de pincel de cerda dura e a segunda por meio de lavagem com água deionizada.

A caracterização visual do MP sobre a lâmina foliar foi realizada por meio de microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM 670F (MEV). A quantificação e especificação do MP foi realizada por meio da Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma (ICP-OES). Para isso, foram acrescentados 0,5ml de ácido nítrico (HNO₃) e 0,25ml de ácido clorídrico (HCl) aos 25ml da solução aquosa contendo MP de cada ponto amostral. A solução líquida foi colocada em chapa de aquecimento a 100°C até que a solução reduzisse seu volume para o total de 10ml, configurando como abertura da amostra. Na última etapa, a solução foi avolumada para 25ml com água Milli-Q e sequencialmente foi possível a análise de metais através do equipamento citado.

5.3.2 Coleta e análise do material particulado na urina

Para determinação do material particulado na urina, foi inicialmente separado as amostras em dois grupos: grupo controle (25 amostras) e grupo poluído (26 amostras), ambas armazenadas em congelador à -20°C.

Inicialmente foi realizada a limpeza das vidrarias a serem utilizadas com solução de Extran e água, na sequência submergido em ácido nítrico a 10% (v/v) durante 24h e finalizado com água Milli-Q. Após, foi fracionado 20 ml de urina, de cada amostra, em copo de Becker de capacidade para 50 ml e registrado neste

mesmo recipiente o código da amostra conforme os grupos amostrais. Na sequência, tampou-se o copo de Becker com vidro relógio em tamanho correspondente, regulado a chapa aquecedora para 4h a 100°C. Após, a solução foi avolumada para 25 ml com 3ml de HNO₃ (ácido nítrico) 50% v/v, 1ml de H₂O₂ (peróxido de hidrogênio) 50% e água Mili-Q, sob auxílio de micropipeta de vidro e capela de exaustão, acompanhando o processo de digestão química. Após 2h, se mantivesse em processo de ebulição, adicionou-se 0,5 ml de H₂O₂.

Em seguida, foi realizada filtragem das amostras digeridas utilizando filtro quantitativo faixa preta e transferido para tubo Falcon (devidamente identificado com o código das amostras) adicionando o padrão interno de Ítrio. Do total do filtrado, avolumou-se para 15 ml utilizando água Milli-Q. Por fim, foi possível realizar o processo de leitura das amostras em ICP-OES após calibração com solução aquosa, por meio do uso de padrões de concentrações determinadas para análise do SiO₂ (dióxido de silício) conforme os gráficos 1 e 2 (ROBERTS & WILLIAMS, 1990).

Gráfico 1. Representa a calibração do equipamento referido para ICP-OES

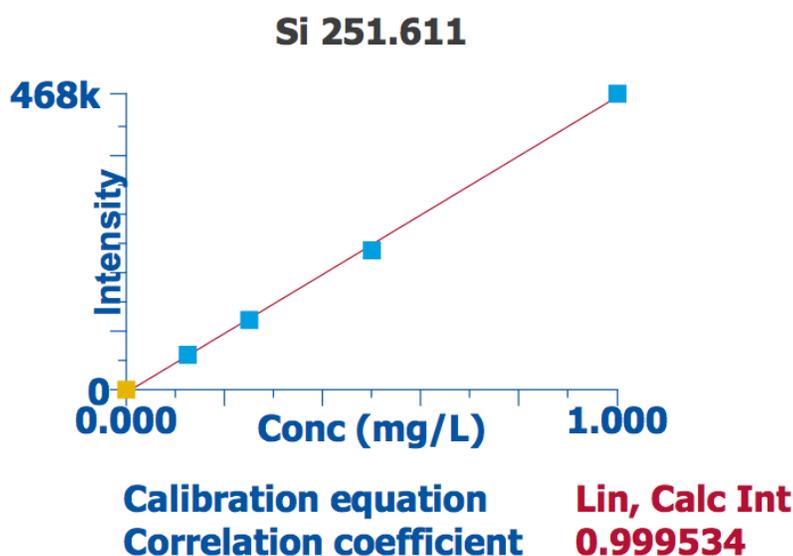
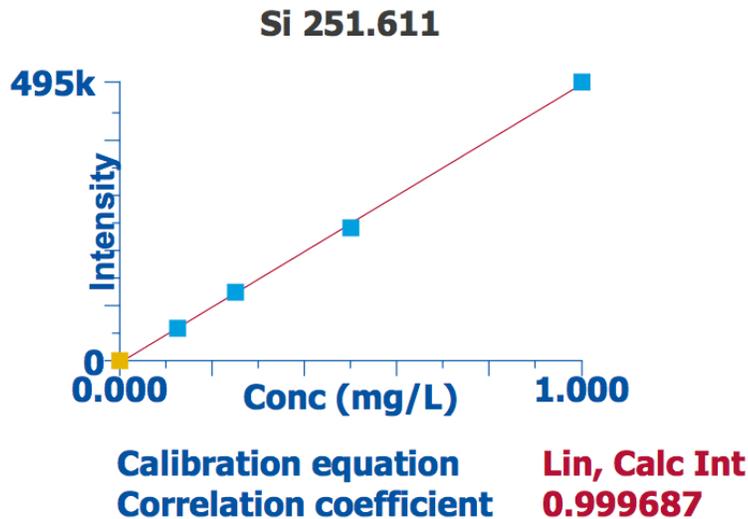


Gráfico 2. Representa a calibração do equipamento referido para ICP-OES



5.3.3 Análise da creatinina urinária

A dosagem de creatinina na urina foi realizada pelo método colorimétrico automatizado por meio do Sistemas Integrados VITROS 5600/XT 7600 (RESENDE *et al.*, 2009). Para isso, é necessário calibrar o equipamento da seguinte forma: o nível de reflectância do slide é lido a um comprimento de onda de 670 nm em dois pontos temporais fixos, durante o período de incubação, sendo calculada a variação da reflectância entre estas duas leituras. A partir da execução de uma calibração para cada lote de slides, a concentração de creatinina em amostras desconhecidas pode ser determinada utilizando o modelo matemático de cinética de dois pontos existente no software e a variação de reflectância calculada para cada slide de teste desconhecido. Após essa etapa, é adicionada uma gota da amostra no slide. A creatinina difunde-se para a camada de reagente, onde é hidrolisada em creatina na etapa de determinação da taxa. A creatinina é convertida em sarcosina e ureia pela creatina amidinohidrolase. A sarcosina, na presença da oxidase de sarcosina, é oxidada dando origem a glicina, formaldeído e peróxido de hidrogênio. Finalmente, o corante leuco é oxidado pelo peróxido de hidrogênio, sob efeito

catalítico da peroxidase, para formar um produto com cor. Após a adição da amostra, procede-se à incubação do slide. Durante a fase de reação inicial, a creatina endógena na amostra é oxidada. A alteração final na densidade do reflexo é medida em 2 pontos temporais. A diferença de densidade do reflexo é proporcional à concentração de creatinina presente na amostra.

5.4 Análise Estatística

5.4.1 Plantas da espécie *Piper gaudichaudianum*

Médias e respectivos desvios-padrão foram calculados para todos os atributos biológicos e variáveis ambientais quantitativas selecionadas. A comparação das médias foi realizada por meio de teste t, com $p \geq 0,05$. Análise de componentes principais (PCA) foi realizada para verificar qual atributo melhor explicava a variação no conjunto de dados. Trata-se de um teste de ordenação métrico que reduz a dimensionalidade da matriz indicando quais fatores correlacionados explicam a variabilidade dos dados e quais variáveis são correlacionadas a cada eixo da análise (JAMES et al., 2014). Os testes foram realizados em ambiente R.

5.4.2 Urina

As variáveis categóricas são apresentadas pela frequência absoluta e percentagem. As variáveis numéricas por média e desvio padrão ou mediana e variação interquartil. Após verificação de distribuição não normal pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, as médias das variáveis quantitativas foram comparadas pelo teste U de Mann-Whitney estratificado pela exposição principal estudada, zona poluída versus zona não poluída. Já as variáveis categóricas foram comparadas pelo teste qui-quadrado ou teste exato de Fischer. Posteriormente, realizou-se análise univariada para verificação das variáveis associadas com valores de sílica/creatinina urinária acima da mediana da distribuição da amostra ($\geq 3,91$ mg/g), por regressão

logística. Todas as variáveis com valor de p na univariada $<0,100$ foram incluídas no modelo multivariado. Utilizou-se o software STATA/IC versão 15.1 para análise dos dados.

5.5 Aspectos éticos

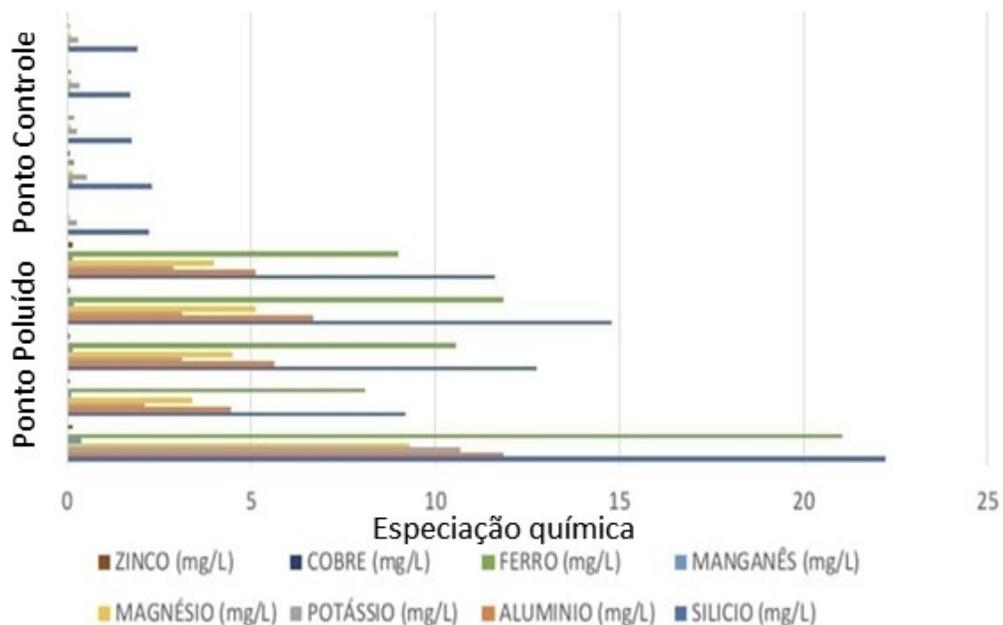
O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade da Região de Joinville, sob o parecer nº 4.593.757, em 16 de março de 2021, CAAE – 40834320.0.0000.5366 (Anexo A). Os participantes que concordaram em participar do estudo assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) em obediência à resolução nº 466 de 2012 do Conselho Nacional de Saúde (Apêndice A).

6. RESULTADOS

6.1 Plantas da espécie *Piper gaudichaudianum*

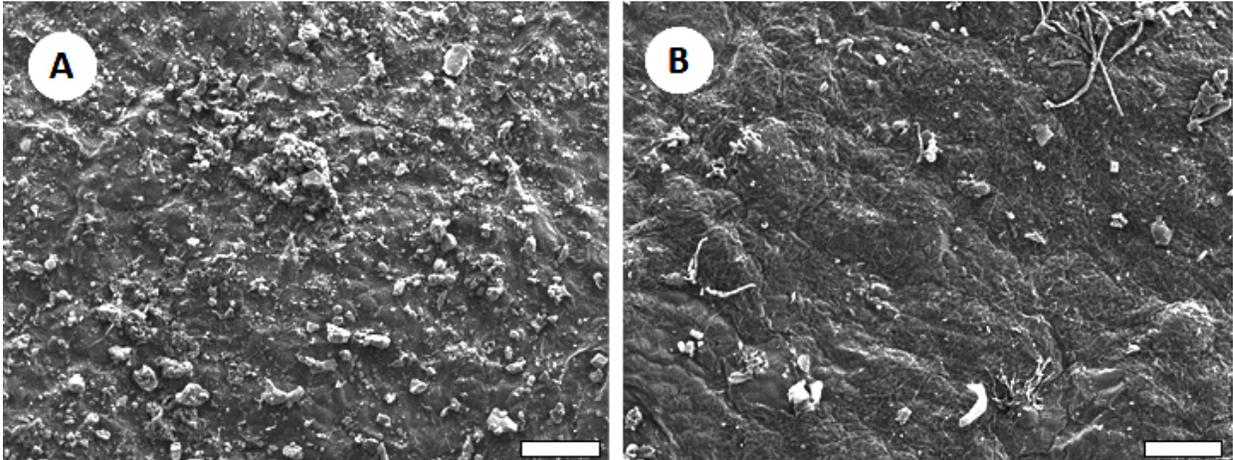
Conforme apresentado na Figura 3., por meio do auxílio do ICP-OES, foi possível identificar diversos elementos químicos contidos no MP, sendo a maior concentração na área poluída (ZP) dos elementos silício (Si) e ferro (Fe). A concentração de MP nas folhas de *P. gaudichaudianum* é evidentemente maior na ZP (ou ponto poluído) quando comparado à ZC (ou ponto controle). Isso é possível afirmar após observar as partículas sólidas de diferentes tamanhos aderidas à superfície adaxial da epiderme foliar da espécie biomonitora ao utilizar como auxílio a microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Figura 4).

Figura 3. Especificação química obtida por espectrometria de massa do material particulado presente na superfície adaxial foliar de *Piper gaudichaudianum* (Piperaceae) nos pontos poluído e controle.



Fonte: equipe do laboratório de análises clínicas da Universidade da Região de Joinville

Figura 4. Microscopia eletrônica de varredura da superfície adaxial foliar de *Piper gaudichaudianum* (Piperaceae). Legenda: (A) Zona Poluída; (B) Zona Controle. Barra de escala = 100 μ m.



Fonte: Laboratório de Morfologia e Ecologia Vegetal da Universidade da Região de Joinville

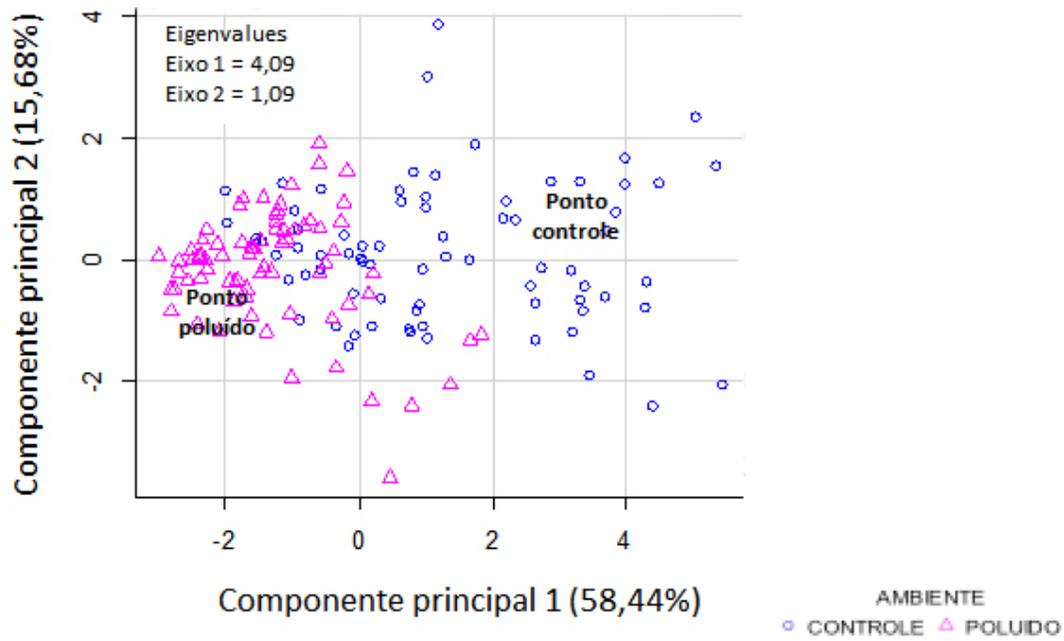
Conforme exposto na Tabela 1, os atributos foliares diferiram entre as populações de *P. gaudichaudianum* localizadas nas áreas poluída e controle. A população da área poluída apresentou menores valores de área foliar, massas frescas e seca e teores de clorofila, enquanto que a espessura foliar foi mais elevada quando comparada à área controle. 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 5).

Tabela 1. Médias, desvios-padrão e escores da análise de componentes principais dos atributos morfológicos e fisiológicos das populações de *Piper gaudichaudianum* (Piperaceae) nas zonas poluída e controle. Letras distintas na mesma linha indicam diferença estatística ao nível de 0,05.

Atributo	Zona Poluída	Zona Controle	PCA	
			Comp. 1	Comp. 2
Massa fresca (g)	0.50 ± (0,17) b	0.85 ± (0,30) a	0.39	0.41
Massa seca (g)	0.17 ± (0,06) b	0.22 ± (0,08) a	0.41	0.29
Área foliar (cm²)	20.24 ± (7,80) b	40.02 ± (13,77) a	0.44	0.39
Espessura foliar (cm)	0.11 ± (0,02) a	0.08 ± (0,03) b	0.38	0.54
Clorofila a (mgL⁻¹)	3.94 ± (3,10) b	7.03 ± (4,51) a	0.36	0.49
Clorofila b (mgL⁻¹)	2.16 ± (2,22) b	5.2 ± (2,97) a	0.36	0.20
Clorofila total (mgL⁻¹)	6.10 ± (4,69) b	12.23 ± (6,70) a	0.25	0.00
		Proporção de variância	0.5844	0.1568
		Proporção cumulativa	0.5844	0.7413

Fonte: Laboratório de Morfologia e Ecologia Vegetal da Universidade da Região de Joinville

Figura 5. Análise de componentes principais com atributos foliares de *Piper gaudichaudianum* (Piperaceae) nos pontos poluído e controle.



Fonte: Laboratório de Morfologia e Ecologia Vegetal da Universidade da Região de Joinville

6.2 Urina

No total, 51 participantes foram incluídos na pesquisa, destes 41,2% eram homens e 58,8% mulheres, com distribuição homogênea entre os grupos ($p=0,46$). A mediana das idades foi de 44 anos, Índice de Massa Corporal (IMC) conforme a mediana de $28,57 \text{ Kg/m}^2$, cuja classificação conforme a Sociedade Brasileira de Endocrinologia enquadra como sobrepeso. Em média, a maioria dos participantes reside no local há duas décadas, sendo a hipertensão arterial sistêmica (HAS) a comorbidade mais prevalente (19,9%), seguida de diabetes mellitus (DM) com 9,8%. Dos 51 participantes, a mediana da idade foi de 44 anos, com predomínio do sexo feminino (59%), com mediana do tempo de residência de 20 anos e 20% com presença de Hipertensão Arterial Sistêmica. A mediana da relação sílica/creatinina Ur (mg/g) foi de 3,91 na amostra geral.

Quando estratificada a amostra, em relação à zona não poluída e zona poluída, não houve diferença estatística nas variáveis analisadas (Tabela 2), bem como em relação a mediana dos valores de sílica/creatinina na urina.

Tabela 2. Características gerais da amostra total e estratificada pelo *status* da zona em que residem (n=51).

	Amostra Total n=51		Zona Não Poluída n= 25 (49%)		Zona Poluída n=26 (51%)		Valor p
Idade , anos; mediana/VIQ	44	34/60	48	39/59	41,5	28/60	0,250
Sexo							0,461
Homens	21	41,2	9	36,0	12	46,1	
Mulheres	30	58,8	16	64,0	14	53,8	
IMC , Kg/m ² ; média/DP	28,57	5,78	28,12	5,96	29,00	5,68	0,457
Tempo residência , anos; mediana/VIQ	20	9/40	16	8/23	31,5	12/48	0,069
Tabagismo							0,692
Nunca	34	66,7	16	64,0	18	69,2	
Atual/Ex	17	33,3	9	36,0	8	30,8	
Diabetes , sim	5	9,8	2	8,0	3	11,5	0,519
HAS , sim	10	19,6	3	12,0	7	26,9	0,162
Sílica Ur , mg/l; mediana/VIQ	4,36	2,83/6,16					0,559
Creatinina Ur , mg/l; mediana/VIQ	1,28	0,62/1,89	1,28	0,57/1,90	1,30	0,65/1,70	0,578
Relação Sílica/Creatinina Ur , mg/g; mediana/VIQ	3,91	3,13/5,87	4,24	3,53/5,87	3,63	2,39/5,87	0,279

DP: desvio padrão; VIQ: variação interquartil (percentil 25/percentil 75); IMC: índice massa corporal; Ur: urinária; HAS: hipertensão arterial sistêmica.

Fonte: autor

Na Tabela 3, foram avaliadas as variáveis associadas (idade, sexo, IMC, tabagismo, tempo de residência e zona poluída) com valores de sílica/creatinina acima da mediana da amostra ($\geq 3,91$ mg/g) por regressão logística. Na análise univariada o aumento da idade foi associada a maior chance de ter valores de relação sílica/creatinina na urina acima da mediana. Já morar em zona poluída foi associado a menor chance de ter valores de relação sílica/creatinina na urina acima da mediana da amostra. Após ajuste para idade, o local de residência não foi mais associado com valores de relação sílica/creatinina na urina acima da mediana.

Tabela 3. Variáveis associadas com valores de sílica/creatinina urinária acima da mediana da distribuição da amostra ($\geq 3,91\text{mg/g}$), por Regressão Logística (n=51).

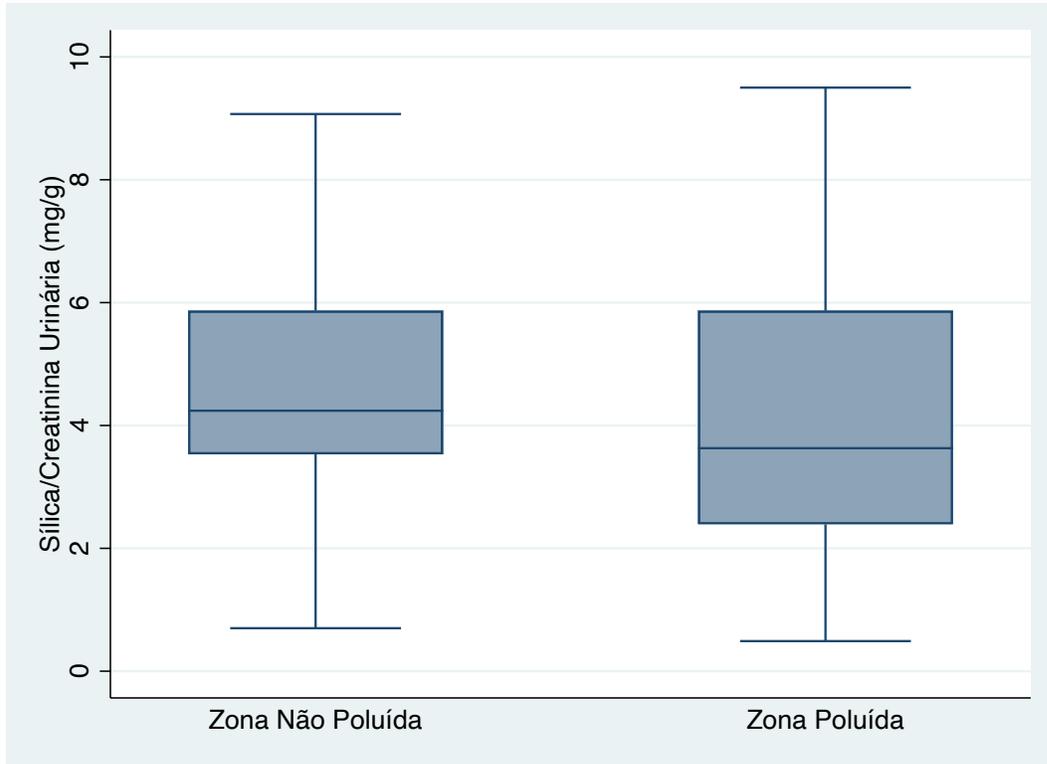
	Análise Univariada			Análise Multivariada		
	OR	CI 95%	Valor p	OR	CI 95%	Valor p
Idade , por unidade de aumento	1,06	1,02-1,13	0,005	1,06	1,01-1,11	0,009
Sexo , homens vs. mulheres	0,69	0,23-2,13	0,525			
IMC , por unidade de aumento	0,99	0,90-1,09	0,886			
HAS , sim vs. não	0,86	0,22-3,44	0,835			
Tabagismo , atual/ex vs. nunca	1,00	0,31-3,21	1,000			
Tempo residência , por unidade de aumento	1,01	0,98-1,04	0,480			
Zona Poluída , sim vs. não	0,29	0,09-0,93	0,038	0,32	0,09-1,13	0,078

OR: *odds ratio*; IC: intervalo de confiança; IMC: índice massa corporal; HAS: hipertensão arterial sistêmica.

Fonte: autor

A Figura 6 demonstra a distribuição das variáveis de relação sílica/ creatinina urinária de outra forma ilustrativa, também identificando a semelhança entre a variação da zona de controle e zona poluída.

Figura 6. Distribuição dos valores de Silica/Creatinina Urinária por local de residência.



Man-Whitney Teste, $p=0,279$

Fonte: autor

7. DISCUSSÃO

Neste estudo foram analisadas plantas e amostras de urina humana de locais com alta taxa de concentração de poeira de sílica, considerando as plantas como biomarcadores para exposição ao poluente ambiental. Os principais resultados deste estudo evidenciaram que: uma maior concentração de material particulado sobre a superfície foliar de *P. gaudichaudianum* na população amostral da zona poluída em relação à zona de controle. Entretanto, o mesmo não se observou na excreção urinária de sílica/creatinina de pessoas moradoras da área poluída. Não houve associação de valores acima da mediana da amostra naqueles em que viviam em áreas poluídas demonstradas pelas alterações nas plantas.

Klumppa *et al.* (2003) analisou as concentrações totais de enxofre (S) no solo próximo ao complexo petroquímico de Camaçari, no litoral do estado da Bahia. Tal estudo utilizou como biomarcador a planta mangueira, por meio de ICP-OES após digestão ácida com HNO₃ e HCl em um microondas, foi possível determinar as concentrações totais de enxofre, o que resultou em concentrações drasticamente superiores de enxofre nas folhas de mangueira em áreas poluídas (aproximadamente o dobro) comparativamente aos locais de referência distante da fonte emissora. Assim como esse estudo de Klumppa *et al.* (2003), nesta pesquisa também foi possível constatar que devido a maior proximidade com a fonte poluidora, além da ausência de barreiras naturais e do tráfego de veículos pesados, a concentração de material particulado na área poluída foi significativamente superior se comparada com a concentração de MP na área controle. Outro estudo de Heerdt & Melo Júnior (2022) também está de acordo com o estudo de Klumppa *et al.* (2003), visto que constataram há uma maior concentração de material particulado e outros poluentes na planta da espécie *Handroanthus chrysotrichus* (Bignoniaceae), em ponto situado nas imediações da fonte emissora. De maneira análoga, Cavallaro *et al.* (2018), corrobora com tais pesquisas apresentadas, bem como com o atual estudo, visto que também foi desenvolvido na cidade de Joinville, com a espécie *Inga edulis* (Fabaceae), utilizando igual metodologia, destaca uma maior concentração de material particulado

nas proximidades de potenciais fontes emissoras.

Os materiais particulados citados anteriormente, são verdadeiros agressores à vida vegetal, que respondem ao estresse a que se encontram submetidos por modificações nos ciclos vitais ou pela acumulação de poluentes (KLUMPP et al., 2001). Esses vegetais que sofrem alterações morfo-fisiológicas em resposta ao ambiente nocivo em que se situam são considerados bioindicadores de acumulação e quando sofrem alterações morfológicas, fisiológicas, genéticas e etológicas, são considerados organismos sensíveis, denominados de bioindicadores de reação (KLUMPP et al., 2001; SILVA et al., 2000). A *Piper gaudichaudianum* (Piperaceae) neste estudo foi utilizada como bioindicador da acumulação de poeira de sílica provinda da fonte emissora de poluente ambiental, o que gerou alterações fisiológicas e morfológicas.

Melo Júnior *et al* (2014) e Cavallaro *et al* (2018) em seus estudos corroboram ao afirmar que existe maior investimento na manutenção do órgão foliar nos pontos poluídos, além de uma maior reação fotossintética nos pontos controle, da mesma forma como ocorreu no presente estudo. Por isso, os valores médios dos parâmetros morfológicos da área poluída se diferenciam em relação à área de controle em relação ao investimento feito pela planta, ou seja, a área foliar se apresentou ativamente menor na ZP em comparação à ZC, o que refletiu em uma menor massa fresca e seca, mesmo que a espessura das folhas da ZP fossem maiores. Essa diferença na área foliar entre as populações amostrais, pode ser justificada por uma menor taxa de produção fotossintética em virtude da deposição do material particulado, com conseqüente baixa capacidade de alocação de recursos pelo vegetal.

Nanos e Ilias (2007) selecionaram aleatoriamente dez oliveiras (*Olea europaea* L. cv. *Konservolea*) próxima a uma fábrica de cimento na região de Volos, Grécia central, após análise concluíram que a exposição à poeira de cimento resultava em redução nos teores de clorofila a, b e total das folhas, bem como erosão na camada de ceras epicuticulares e obliteração dos estômatos, redução nas taxas de crescimento vegetativo e reprodutivo, perda de turgescência, clorose, necrose e senescência foliar. Da mesma forma, no atual estudo os resultados também

evidenciaram menor valor médio de produção de clorofila a e b e clorofila total na população da ZP, sendo reflexos claros dos prejuízos fisiológicos provenientes da deposição de grande quantidade de material particulado sobre a superfície adaxial das folhas.

A redução fotossintética pode ser explicada, assim como afirmado por Nanos e Ilias (2007) pela obstrução dos estômatos e por conseguinte das trocas gasosas, o que leva a declínio nos valores médio de produção de clorofila entre as duas áreas amostrais (poluída e controle), impedindo o desenvolvimento fisiológico da planta.

Também foi possível evidenciar que na zona poluída detectou taxas semelhantes de material particulado de sílica que na zona controle, não sendo considerado fator de risco o local de moradia do indivíduo, influenciando apenas na qualidade ambiental local. Li *et al* (2015), em um estudo com camundongos, analisou a biodistribuição in vivo e a excreção das partículas de sílica na urina e fezes, por meio de metodologia semelhante em diferentes intervalos de tempo pelo ICP-OES. Nesse estudo de Li, a excreção renal de silício na urina, após 2h da administração via oral, foi cerca de 1,5 a 4,3 vezes maior do que o do grupo controle, e após 24h e 7 dias da administração via oral, a distinção entre grupo controle e de tratamento com sílica era ligeiramente superior. Isso implica que os produtos de degradação da sílica no organismo podem ser absorvidos pela mucosa intestinal, circulação sistêmica e, finalmente, atingir a excreção via renal. Entretanto, no presente estudo não houve diferença significativa entre os “valores de sílica/ creatina urinária” e “local de residência”.

King e Dolan (1934) apresentaram que a sílica é um constituinte do organismo, tendo como porta de entrada a via do aparelho digestivo e pulmonar, cuja grande parte absorvida pelo trato gastrointestinal é eliminada nas fezes e outra parte é de excreção renal na urina. Esses pesquisadores, selecionaram quatro coelhos que ingeriam cenoura e aveia e observaram que excretam mais sílica na urina que os demais coelhos, desta forma, suspenderam tal dieta e substituíram por pão branco e suco de tomate durante quatro semanas, o que resultou em declínio gradual dos níveis séricos de sílica urinária, após 12h da exposição à poeira da sílica ou ingestão de sílica, os níveis séricos urinários de sílica reduziram-se a um quarto do início

administrado. Tal estudo, demonstrou que existe relação de tempo de exposição à poeira da sílica diretamente proporcional aos valores presentes na urina. Além disso, foi possível concluir que existe um forte fator da dieta consumida no dia anterior (por exemplo os vegetais e verduras), o que interfere na excreção renal da sílica.

No presente estudo não foi possível verificar uma maior excreção urinária de sílica em conformidade com as alterações folheares identificadas. Ao contrário da situação vegetal, as pessoas da amostra estudada podem ter transitado dias antes na zona considerada poluída o que poderia ter implicado em contaminação amostral e impacto na dosagem de sílica verificada. Além disso, não se pode afastar que a exposição alimentar prévia com alimentos em que potencialmente sílica pode ser encontrado possa ter contribuído para valores similares de sílica na urina. Ou seja, a dosagem de sílica urinária em amostra única e sem tais controles (dieta e transitar em área poluída), deve ser considerado na avaliação urinária de sílica na urina como marcador de contaminação ambiental

King e Dolan (1934) também analisaram por meio de estudo calorimétrico o teor de sílica na urina de trabalhadores de minas expostos a grande quantidade de poeira de sílica quartzosa, percebeu-se que a faixa de normalidade de sílica urinária é de 10 a 15 mg/ cm³ aumentando em quase 50 mg /cm³ de urina em trabalhadores de áreas poluídas com sílica. Bloomfield, Sayers e Goldman (1935) expuseram os mesmos resultados, determinando as concentrações de sílica na urina de 20 trabalhadores de minas expostos a poeira de sílica, pelo mesmo método de King, o que concluiu que os trabalhadores excretavam 2,6 mg de sílica / cm³ de urina, considerado faixa anormal de excreção renal. Também salientaram que a gravidade clínica dos participantes da pesquisa não estava relacionada com níveis de sílica na urina. Nesse sentido, os dados encontrados no presente estudo, distanciam-se dos resultados apresentados por King e Bloomfield, visto não ter diferenciado participantes expostos à poeira de sílica e não expostos.

Bercowy *et al* (1994), também apresentaram os níveis da concentração de silício na urina por meio de ICP-OES em humanos, considerando a faixa de normalidade entre 0,3 a 32 µg/ml de silício na urina, o que permite a associação com insuficiência renal crônica, glomerulonefrites, o que leva a necessidade de hemodiálise após longos períodos de exposição. Os mecanismos da doença renal

associada a poeira da sílica ainda são incertos e há carência de estudos na literatura, Stratta *et al.* (2001) afirmam que no contexto de nefropatia, a sílica pode ser nociva por efeitos tóxicos autoimunes.

Além da possível contaminação amostral dos pacientes entre as áreas de exposição estudada, a amostra de conveniência definida no estudo pode não ter sido suficiente para se obter força estatística em relação a análise humana. Apesar destas limitações, o presente trabalho interrelaciona saúde vegetal com saúde humana, sendo necessário que haja maiores estudos e investigações acerca do tema. Além disso, ainda que não tenha sido possível avaliar outros marcadores renais como a taxa de filtração glomerular, proteinúria urinária ou amostra histológica renal, este estudo desenvolveu uma ampla pesquisa multidisciplinar, abrindo portas para aprofundamento de pesquisas tendo como protagonista a exposição a sílica como potencial agente causador de nefropatia associada a poeira da sílica entre outras patologias.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a presença de injúrias foliares provocadas por sílica em espécimes de *Piper gaudichaudianum* entre zona poluída e zona controle em Joinville reforça o impacto ambiental da poluição atmosférica por atividade mineradora em nossa cidade. No entanto, tais achados não foram associados a uma maior presença de sílica urinária de residentes na zona poluída. A deposição de MP na superfície foliar da espécie *Piper gaudichaudianum* na área poluída, implica em alterações importantes, como: características morfológicas (área foliar, espessura, massa fresca e massa seca) e fisiológicas (teores de clorofila). Em contrapartida, as plantas na área controle apresentam suas características morfológicas e fisiológicas íntegra de agressões externas, e serviram como um parâmetro da qualidade ambiental na área em que residem as pessoas. Embora a urina como marcador da presença humana de exposição a sílica possa ser um método de fácil acesso, pode sofrer interferências pela dieta e rápida exposição á áreas contaminadas. Como não se trata de um marcador tecidual, tais elevações da excreção urinaria de sílica na urina após exposição em área contaminada podem não refletir danos estruturais celulares e teciduais de pessoas que permanentemente vivem em áreas expostas e que não foi avaliado neste estudo. Novos estudos com tamanho amostral maior e com melhor controle de exposição da amostra, tanto dietético quanto contato transitório com áreas poluídas, são necessários para melhor avaliar a urina como marcador de exposição ambiental a sílica.

Assim, os resultados desse estudo inédito, **relacionando plantas com material biológico humano**, têm relevância tanto na conscientização ambiental como em questões de saúde pública, com potencial implementação de políticas públicas para prevenir doenças em seres vivos relacionadas à exposição excessiva e intensa do material particulado da sílica.

REFERÊNCIAS

ABENSUR, H. **E-book: Biomarcadores na Nefrologia**. Sociedade Brasileira de Nefrologia. Roche. 2011.

ÁLVAREZ, R. F.; GONZÁLEZ, C. M.; MARTÍNEZ, A. Q. *et al.* **Normativa para el diagnóstico y seguimiento de la silicosis**. Archivos de Bronconeumología, v. 51, n. 2, p. 86–93, 2015.

ALVES, E. S.; GIUSTI, P. M.; DOMINGOS, M. *et al.* **Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de Tradescantia: alterações decorrentes da poluição aérea urbana**. Rev. Bras. Bot., São Paulo, v. 24, n. 4, p. 567-576, 2001.

ARRIVABENE, H. P.; SOUZA, I. C.; CÓ, W. L. O. *et al.* **Effect of pollution by particulate iron on the morphoanatomy, histochemistry, and bioaccumulation of three mangrove plant species in Brazil**. Chemosphere, Oxford, v. 127, p. 27-34, 2015.

BACK, V.; CARELLI, M.N.; AREAS, P.O. **Patrimônio natural de Joinville: análise das unidades de conservação em face da legislação de regência à temática, sob a perspectiva da efetividade**. R. Opin. Jur., Fortaleza, ano 18, n. 27, p.228-258, jan./abr. 2020.

BOSSON-RIEUTORT, D.; DE GAUDEMARIS, R.; BICOUT, D. J. **The spectrosome of occupational health problems**. PLoS ONE, San Francisco & Cambridge, v. 13, n. 1, 2018.

BERCOWY, G.M.; VO, H.; RIEDERS, F. **Silicon Analysis in Biological Specimens by Direct Current Plasma-Atomic Emission Spectroscopy**. Journal of Analytical Toxicology, Vol. 18, January/February 1994.

BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical ecology with R**. New York: Springer; 2011. 306 p.

BLOOMFIELD, J.J.; SAYERS, R.R.; GOLDMAN, F.H. **The Urinary Excretion of Silica by Persons Exposed to Silica Dust**. Association of Schools of Public Health. Vol. 50, No. 13, pp. 421-424. 1935.

BRAUER, M.; HOEK, G.; VLIET, P. V. *et al.* **Air pollution from traffic and the development of respiratory infections and asthmatic and allergic symptoms in children**. Am. J. Resp. Critical Care Med, New York, v. 166, n. 8, p. 1092-1098, 2002.

BRUNA PESSOA NÓBREGA, B.P.; LIMA, L.J.L.; FONSECA, D.V.; TENÓRIO, A.P.O.; TENÓRIO, P.P.; LOPES, A.R. **The importance of urinary sediment analysis accompanying normal physicochemical test findings.** Rev. Bras. Análises Clínicas. 2019.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Poluição atmosférica na ótica do Sistema Único de Saúde : vigilância em saúde ambiental e qualidade do ar.** Brasília, 2021.

BRASIL, SECRETARIA DE EDUCAÇÃO FUNDAMENTAL. **Parâmetros Curriculares nacionais: Meio ambiente e Saúde - temas transversais.** Brasília: MEC/SEE, 1997.

BRAGA, A. BÖHM, G.M. PEREIRA, L.A.A. SALDIVA, A. **Poluição atmosférica e saúde humana.** Revista USP, São Paulo, n.51, p. 58-71, setembro/novembro 2001.

BRITO, PHF. ARAÚJO, RS. SILVA, SMM. **Composição química do material particulado atmosférico: uma revisão de literatura.** Holos, ano 34. Vol 03. 2018.

BRUNEKREEF, B.; HOLGATE, S. T. **Air pollution and health.** Lancet, London, v. 360, n.9341, p. 1233-1242, 2002.

CALISTRI, P.; IANNETTI, S.; DANZETTA, M. L. *et al.* **The components of 'One World -One Health' approach.** Transboundary and Emerging Diseases, Weinheim, v. 60, Suppl 2, p. 4-13, 2013.

CANTAS, L.; SUER, K. **Review: the important bacterial zoonoses in “One Health” concept.** Front Public Health, v. 2, n. 144, p.1-8, 2014.

CARNEIRO, R. M. A. **Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade.** Monografia. Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2004.

CARNEIRO, L.A.; PETTAN-BREWER, C. **One health: conceito, história e questões relacionadas – revisão e reflexão.** Cap. 13. São Paulo. 2021. 219-40p.

CASSIANO, C. J. M. **Educação ambiental: caminhos, desafios e previsões.** In: **Anais da Conferência Internacional - Saberes para uma Cidadania Planetária.** Fortaleza, 2016.

CAVALLARO, R.; MELO JUNIOR, J. C. F.; CHAVES, M. B. *et al.* **Avaliação do efeito da poluição atmosférica em populações urbanas de *ingá edulis mart.* (fabaceae) por meio do método de biomonitoramento passivo.** Connection Line, Várzea

Grande, n. 20, 2019.

CETESB. Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. **Avaliação dos teores de partículas inaláveis no Município de Panorama**, 2006.

CONSOLINO, A.M.G.A.V. BRIET, M.A.C. LEÃO, M.A.B.G. **Saúde ocupacional e saúde do trabalhador: uma análise da produção científica**. XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. 2011.

CONCEIÇÃO, G. W. N. da .; SILVA , R. A. da .; FRERET , R. do A. C. .; LOBO, A. de J. **Reflexão sobre o conceito “One Health” e compreensão do seu papel perante à saúde preventiva: revisão integrativa**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 12, n. 3, p. e9312340514, 2023.

FIESC. **Superar desafios é a história da indústria** - Imprensa – Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina (FIESC), 2020.

GEDELHA, C.A.G. **Desenvolvimento, complexo industrial da saúde e política industrial**. Rev Saúde Pública;40(N Esp):11-23. 2006.

GHAHRAMANI, N. **Silica nephropathy**. Int J Occup Environ Med, v. 1, p. 108–115, 2010.

GONZAGA, L. M. A. **Sucessão ecológica em ambientes florestais em restauração: estrutura e dinâmica da regeneração natural**. 102 fl. Dissertação. Universidade Federal de Lavras. Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Lavras, 2016.

GUIMARÃES, E.F.; CARVALHO-SILVA, M.; MONTEIRO, D.; MEDEIROS, E.S.; QUEIROZ, G.A. **Piperaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. 2015. Acesso em 11 de março de 2023: <http://floradobrasil2015.jbrj.gov.br/FB12780>.

GHAHRAMANI, N. **Silica Nephropathy**. Review. Vol1 Number 3; Hershey, July, 2010

HENDRY, G.A.F.; PRICE, A.H. **Stress indicators: chlorophylls and carotenoids**. In: Hendry, G.A.F.; Grime, J.P. Methods in comparative plant ecology. London: Chapman & Hall; 1993.148-152p.

HEERDT, S.T. & MELO JR. J.C.F. **Avaliação do efeito da poluição atmosférica em populações urbanas de Handroanthus chrysotrichus (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae) em Joinville, SC**. 2022.

INCA - INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. **Exposição no Trabalho e no Meio Ambiente - Poeiras - Poeiras de Sílica**. Ministério da Saúde, Portal do Governo Brasileiro, 2020.

IPPUJ - INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE. **Joinville: Cidade em dados**. Joinville: Ippuj; 2021. acesso em 25 Fev. 2023. Disponível em: <<http://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2021/12/Joinville-Cidade-em-Dados-2021—Ambiente-Construído.pdf>>.

IPPUJ - INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE. **Joinville cidade em dados**. Acesso em 9 Mar. 2023. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2019/08/Joinville-Cidade-em-Dados-2019-Ambiente-Natural.pdf>.

JAMES, G.; WITTEN, D.; HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R. **An Introduction to Statistical Learning: with Applications in R**. Springer, New York. 2014.

KING, E.J.; DOLAN, M. **Silicosis and the metabolismo of sílica**. The Canaclian Medical Association Journal, Vol. 31, pp. 21-26. 1934.

KLUMPP, A.; HINTEMANN, T.; LIMA, J. S.; KANDELER, E. **Bioindication of air pollution effects near a copper smelter in Brazil using mango trees and soil microbiological properties**. Environmental Pollution 126. p. 313–321, Bahia, 2003.

KLUMPP, A.; ANSEL, W.; KLUMPP, G.; FOMIN, A. **Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede europeia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet)**. Rev. Bras. Bot., n. 4. supl., 511-518, dez. 2001.

LEE, M. H.; LEE, Y. H.; HSU, T. H. *et al.* **Silica stone development due to long time oral trisilicate intake**. Scandinavian Journal of Urology and Nephrology, v. 27, n. 2, p. 267–269, 1993.

LERNER, H.; BERG, C. **The concept of health in One Health and some practical implications for research and education: what is One Health?**. Infection Ecology & Epidemiology, v. 5, n. 1, p. 25300, 2015.

LIMA, W. P. **As florestas e a poluição do ar**. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais. Piracicaba-USP, Piracicaba, v. 1, p. 1-41, 1980.

LI, L; LIU, T; FU, C; TAN, L; MENG, X; LIU, H. **Biodistribution, excretion, axnd toxicity of mesoporous silica nanoparticles after oral administration depend on**

their shape. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine. Vol 11, issue 8, Nov 2015, Pag 1915-1924.

MAGALHÃES, L. E. **A questão ambiental.** São Paulo, Terragraph, p. 345, 1994.

MARTINS, A. R. B. **Caracterização e avaliação de poeiras presentes em canteiros de obras de edificações verticais.** Dissertação. Universidade de Pernambuco. Escola Politécnica de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Dissertação. Recife, 2009.

MASCARENHAS, S.; MUTNURI, S.; GANGULY, A. **Sílica - a trace geogenic element with emerging nephrotoxic potential.** Sci Total Environ, v. 645, p. 297–317, 2018.

MELO JÚNIOR, J.C.F.; RAIMUNDO, C.M.; AMORIM, M.W. **Efeito da poluição atmosférica em folhas de Tibouchinagranulosa (Desr.) Cogn. (Melastomataceae).** Acta Biológica Catarinense. 2014 Jan-Jun;1(1):65-72.

MELO, R.S.S.; ZAGO, M.F.F. **Os sentidos da silicose atribuídos por trabalhadores de pedreiras adoecidos.** Texto Contexto Enferm, Florianópolis, 2012 Out-Dez; 21(4): 845-53.

MELO, A; GUIMARÃES, E.F.; ALVES, M. **Piperaceae do Parque Nacional do Viruá, Caracará, Roraima, Brasil.** Rodriguésia 65(2): 455-470. 2014.

MCCORMIC, Z. D.; KHUDER, S. S.; ARYAL. B. K. *et al.* **Occupational silica exposure as a risk factor for scleroderma: a meta-analysis.** Int Arch Occup Environ Health, v. 83, p.763-769, 2010.

MORAES, L. F. D.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A. **Restauração florestal: do diagnóstico de degradação ao uso de indicadores ecológicos para o monitoramento das ações.** Oecol. Aust, v. 14, n. 2, p. 437–451, 2010.

NANOS, G.D.; ILLIAS, I.F. **Effects of inert dust on olive (Olea europaea L.) leaf physiological parameters.** Environmental Science and Pollution Research, vol. 14, 212-214. 2007.

NUNES, A.; PEDROSO, V. **Poluentes atmosféricos x plantas bioindicadoras.** Instituto de Botânica. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente. Curso de Capacitação de Monitores e Educadores. São Paulo, 2007.

OLIVEIRA, C.M.C.; KUBRUSLY, M.; MOTA, R.S.; SILVA, C.A.B.; OLIVEIRA, V.N. **Desnutrição na insuficiência renal crônica: qual o melhor método diagnóstico na prática clínica?**. Rev Bras Nefrol;32(1):57-70. 2010.

PARKS, C. G.; CONRAD, K.; COOPER, G. S. **Occupational exposure to crystalline silica and autoimmune disease**. Environ Health Perspect, v. 107, p. 793–802, 1999.

PETERS, C. E.; BOGAERT, L.; LATIFOVIC, L. *et al.* **Canadian Cancer Registries Epidemiology Group**. Occup. Environ. Med, v. 76, n. 9, p. 668-671, 2019.

POCHMANN, M. **Brasil sem industrialização: a herança renunciada** [online]. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2016, 187 p. ISBN 978-85-7798-216-5.

RABINOWITZ, P. M.; KOCK, R.; KACHANI, M. *et al.* **Toward Proof of Concept of a One Health Approach to Disease Prediction and Control**. Emerg Infect Dis, v. 19, n. 12, e130265, 2013.

RAPITI, E.; SPERATI, A.; MICELI, M. *et al.* **End stage renal disease among ceramic workers exposed to silica**. Occup Environ Med, v. 56, p. 559–561, 1999.

REES, D.; MURRAY, J. **Silica, silicosis and tuberculosis**. Int J Tuberc Lung Dis, Paris, v. 11, n. 5, 474-84, 2007.

REFLORA. **Plantas do Brasil: Resgate Histórico e Herbário Virtual para o Conhecimento e Conservação da Flora Brasileira**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Acesso em: 11 Mar. 2023. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/PrincipalUC/PrincipalUC/>

RESENTE, L.M.H.; VIANA, L.G.; VIDIGAL, P.G. **Protocolos Clínicos dos Exames Laboratoriais**. Secretaria do Estado de Saúde de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

ROBERTS, N.B.; WILLIAMS, P. **Silicon measurement in serum and urine by direct current plasma emission spectrometry**. Clinical Chemistry, v. 36(8 Pt 1):1460-5, 1990.

ROCHA, I. O. **Industrialização de Joinville (SC): da gênese às exportações**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Humanas, Departamento de Geociências, Coordenadoria de Pós-graduação em Geografia. Dissertação de Mestrado. Florianópolis, 1994.

REIS, A. F. **Análise da dispersão de poluentes de origem veicular na BR-153 e**

sua relação com o uso do solo em área urbana do município de Goiânia. Dissertação. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2014.

RUSSO, P. R. **Poluição atmosférica: Refletindo sobre a qualidade ambiental em áreas urbanas.** Revista Educação Pública. ISSN: 1984-6290. DOI: 10-18264/REP. 2005.

SALDANHA, L. F.; ROSEN, V. J.; GONICK, H. C. **Silicon nephropathy.** Am J Med, Philadelphia, v. 59, p. 95–103, 1975.

SANTOS, G. S.; SANTOS, M.D.; MELO JUNIOR, J. C. F. *et al.* **Avaliação do potencial bioindicador de *Alchornea glandulosa* no monitoramento da poluição atmosférica.** Acta Biológica Catarinense, Joinville, v. 6, n. 1, p. 93, 2019.

SANT'ANNA, A.ALENCAR, A. PINHEIRO, B. ARAÚJO, C. VORMITTAG, E. *et al.* **Estado da qualidade do ar no Brasil.** Wri Brasil, working paper. 2021.

SCHINDLER, B.; HEINZMANN, B.M. **Piper gaudichaudianum Kunth: Seasonal Characterization of the Essential Oil Chemical Composition of Leaves and Reproductive Organs.** Braz. Arch. Biol. Technol. v.60: e17160441Jan/Dec 2017.

SCLIAR, M. **History of the concept of health.** Rev. Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, 17(1):29-41, 2007.

SILVA, L.C.; AZEVEDO, A.A.; SILVA, E.A.M.; OLIVA, M.A. **Flúor em chuva simulada: sintomatologia e efeitos sobre a estrutura foliar e o crescimento de plantas arbóreas.** Rev. Brasil. Bot., São Paulo, v.23, n.4, p. 383-391, 2000.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PATOLOGIA CLÍNICA (SBPC). **Realização de exames em urina.** Manole. Barueri, SP: 2017.

STRATTA, P; CANAVESE, C; MESSUEROTTI, A; FENOGLIO, I; FUBINI, B. **Silica and renal diseases: no longer a problem in the 21st century?.** J Nephrol , Jul-Aug;14(4):228-47. 2001.

STEENLAND, N. K.; THUN, M. J.; FERGUSON, C. W. *et al.* **Occupational and other exposures associated with male end-stage renal disease: a case/control study.** Am J Public Health, v. 80, p. 153-157, 1990.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5. ed. Rio Grande do Sul: Artmed. p.918. 2013.

TEIXEIRA, M. C. V.; BARBÉRIO, A. **Biomonitoramento do ar com *Tradescantia pallida* (Rose) D. R. Hunt var. *purpurea* Boom (Commelinaceae)**. Ambiente e água, v. 7, n. 3, p.279-292, 2012.

TERRA FILHO, M.; SANTOS, U. P. **Silicose**. J. Bras .Pneumol, v.32, n. 1, p. 41-47, 2006.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Health Effects of Exposures to Respirable Crystalline Silica**. Disponível em: <https://www.epa.gov/silica/health-effects-exposures-respirable-crystalline-silica>. Acesso em: 20 fev. 2023.

VORMITTAG, E. M.; CIRQUEIRA, S. S. R.; WICHER, H.N. ; SALDIVA, P.H.N. **Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil**. Estudos avançados, v.35, n.102, p.7-30, São Paulo, 2021.

VIDA BIOTECNOLOGIA. **Dosagem da sílica na água – teste da água – teste diário**. Disponível: https://www.vidabiotecnologia.com.br/novo_site/content/uploads/2015/08/TE-STE-DA-%c3%81GUA-DI%c3%81RIO.pdf.

VUPPUTURI, S.; PARKS, C. G.; NYLANDER-FRENCH, L. A. *et al.* **Occupational silica exposure and chronic kidney disease**. Ren Fail, v. 34, p. 40-46, 2012.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Crystalline silica**. Disponível em: https://www.who.int/ipcs/emergencies/silica_quartz/en/. Acesso em: 20 fev. 2023

WILSON, W. E.,SUH, H. H. **Fine and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies**. JAWMA, v47, p.1238-1249, 1997.

YUNCKER, T.G. **The Piperaceae of Brazil**. Piper, Group I, II, III, IV. Hoehnea 2: 19-366. 1972.

YUNCKER, T.G. **The Piperaceae of Brazil II**. Piper, Group V: Ottonia, Pothomorphe, Sarcorhachis. Hoehnea 3: 29-284. 1973.

YUNCKER, T.G. **The Piperaceae of Brazil III**. Peperomia: Taxa of uncertain status. Hoehnea 4: 71-413. 1974.

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

O senhor(a) _____,
RG _____ Estado da Federação _____

está sendo convidado a participar da pesquisa intitulada "Efeito da poluição atmosférica por atividade mineradora sobre plantas e seres humanos: uma abordagem integrada à luz da saúde única", do Curso de Mestrado em Saúde e Meio Ambiente da Universidade da Região de Joinville, pela mestranda pesquisadora Mariana Simonato Lorenzini, sob orientação do Professor Dr. João Carlos F. Melo Júnior e coorientação do Professor Dr. Helbert do Nascimento Lima.

O objetivo deste estudo é avaliar as injúrias provocadas pela poluição atmosférica por sílica em plantas e seres humanos numa perspectiva integrada de monitoramento da qualidade do ar atmosférico ambiental na cidade de Joinville, Santa Catarina.

Como participante desta pesquisa, senhor (a) deverá responder o questionário fornecido. A sua participação nesta pesquisa acontecerá nos próximos meses.

Com sua participação nesta pesquisa, o senhor (a) estará exposto a baixos riscos, uma vez que será apenas doada uma amostra da primeira urina da manhã, sendo analisada por profissionais habilitados.

Esta pesquisa tem como benefícios a participação voluntária dos indivíduos, colaborando com a investigação científica. A partir da coleta dos dados, será realizada a análise destes e será elaborada uma tabela do resultado da pesquisa.

A sua participação é voluntária e o senhor (a) terá a liberdade de se recusar a responder quaisquer questões que lhe ocasionem constrangimento de alguma natureza. O senhor (a) também poderá desistir da pesquisa a qualquer momento, sem que a recusa ou a desistência lhe acarrete qualquer prejuízo, bem como, terá livre acesso aos resultados do estudo e garantido esclarecimento antes, durante e após a pesquisa. É importante saber que não há despesas pessoais para o senhor (a) em qualquer fase do estudo. Também não há compensação financeira relacionada à sua participação, pois a mesma é voluntária após assinatura. Os pesquisadores garantem indenização por

Rubricar

quaisquer danos causados a você, participante, no decorrer da pesquisa. Guarde este TCLE assinado por, no mínimo, cinco anos.

O senhor (a) terá garantia de acesso aos profissionais responsáveis pela pesquisa para esclarecimento de eventuais dúvidas por meio de telefone e e-mails informados neste documento. O pesquisador responsável por esta investigação é Mariana Simonato Lorenzini, aluna do Mestrado em Saúde e Meio Ambiente da Universidade da Região de Joinville, e-mail lorenzini.mariana@gmail.com. É garantido o sigilo e assegurada a privacidade quanto aos dados confidenciais envolvidos na pesquisa. Os resultados deste estudo poderão ser apresentados por escrito ou oralmente em congressos e revistas científicas, sem que os nomes dos participantes sejam divulgados.

A sua participação em qualquer tipo de pesquisa é voluntária. Se o senhor (a) tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Univille, no endereço Rua Paulo Malschitzki, 10, Bairro Zona Industrial, Campus Universitário, CEP 89.219-710 - Joinville/SC, telefone (47) 3461-9235, em horário comercial, de segunda a sexta, ou pelo e-mail comitetica@univille.br.

Após ser esclarecido sobre as informações da pesquisa, no caso de aceitar fazer parte do estudo, rubricar as duas primeiras folhas e assine na última folha este consentimento de participação, que está impresso em duas vias, sendo que uma via ficará em posse do pesquisador responsável e esta via com você, participante.

Pesquisadores participantes: Mariana Simonato Lorenzini, João Pedro Ribeiro Batista, João Carlos F. Melo Júnior e Helbert do Nascimento Lima.

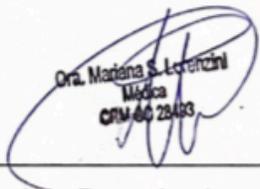
Rubricar

Consentimento de Participação.

Eu, _____
concordo voluntariamente em participar da pesquisa intitulada "Efeito da poluição atmosférica por atividade mineradora sobre plantas e seres humanos: uma abordagem integrada à luz da saúde única", conforme informações contidas neste TCLE.

Joinville, _____ / _____ / 202____.

Assinatura do participante


Dra. Mariana S. Lorenzini
Médica
CRM 66 28483

Mariana Simonato Lorenzini - Pesquisadora Responsável

APÊNDICE B - Questionário e interrogatório sobre doenças e sintomas

Questionário e interrogatório sobre doenças e sintomas

Nome: _____

Data: _____

1. Idade: _____ anos

2. Classificação:
Trabalhador ou morador da região de:
estudo () amortecimento () controle () Há quantos anos? _____

3. Sexo: Masculino () Feminino ()

4. Tabagismo: Não () Sim () _____ maços/ ano

5. Medicamentos de uso contínuo: Não () Sim (): nomes e doses

6. Possui alguma doença renal ou
alteração urinária? Não () Sim
(): qual evolução, tratamentos, etc.

7. Possui alguma doença?
Não () Sim (): qual evolução, tratamentos, etc.

APÊNCIDE C – Orientações de coleta de urina da manhã**ORIENTAÇÕES DE COLETA DE URINA DA MANHÃ**

1. Ao acordar, realizar higiene íntima, da genitália, com água e sabão neutro:
 - * Nas mulheres: lavar e secar sempre de frente para trás.
 - * Nos homens: lavar retraíndo o prepúcio, para uma adequada limpeza do meato uretral.
2. Desprezar o primeiro jato de urina, sem interromper a micção, colher o jato médio diretamente no frasco coletor de 80 ml segurando-o pela parte externa.
3. Manter a amostra de urina em refrigeração de 2 a 8° C (geladeira) até o recolhimento da amostra.

OBRIGADA PELA PARTICIPAÇÃO

Dra Mariana S. Lorenzini
Médica
CRM SC 28.493

ANEXO A – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EFEITO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA POR ATIVIDADE MINERADORA SOBRE PLANTAS E SERES HUMANOS: UMA ABORDAGEM INTEGRADA À LUZ DA SAÚDE ÚNICA

Pesquisador: MARIANA SIMONATO LORENZINI

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 40834320.0.0000.5366

Instituição Proponente: Pós-Graduação da Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.593.757

Apresentação do Projeto:

Conforme exposto no parecer substanciado nº 4.547.511.

Objetivo da Pesquisa:

Conforme exposto no parecer substanciado nº 4.547.511.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Conforme exposto no parecer substanciado nº 4.547.511.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Conforme exposto no parecer substanciado nº 4.547.511.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Conforme exposto no parecer substanciado nº 4.547.511, no entanto, em resposta a pendência a) Esclarecer data de início da abordagem com os participantes no cronograma, uma vez que o cronograma apresenta início em 01/01/2021, o que conflita com o compromisso de aguardar a aprovação antes de iniciar a coleta de dados. Res. CNS 466/12, item XI.2.a: apresentar o protocolo devidamente instruído ao CEP ou à CONEP, aguardando a decisão de aprovação ética, antes de iniciar a pesquisa; Revisar as informações no cronograma do projeto original e também alterar na plataforma brasil e carta de respostas.

A pesquisadora respondeu:

Endereço: Rua Paulo Malschitzki, nº 10. Bloco B, Sala 119. campus Bom Retiro
Bairro: Zona Industrial **CEP:** 89.219-710
UF: SC **Município:** JOINVILLE
Telefone: (47)3461-9235 **E-mail:** comitetica@univille.br

ANEXO A – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (cont.)



Continuação do Parecer: 4.593.757

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1664338.pdf	08/03/2021 22:53:30		Aceito
Solicitação Assinada pelo Pesquisador Responsável	CartaResposta.pdf	08/03/2021 22:47:52	MARIANA SIMONATO LORENZINI	Aceito
Outros	QuestiCom.pdf	08/03/2021 22:45:54	MARIANA SIMONATO LORENZINI	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto.pdf	08/03/2021 22:22:19	MARIANA SIMONATO LORENZINI	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLEComp.pdf	08/03/2021 22:19:57	MARIANA SIMONATO LORENZINI	Aceito
Folha de Rosto	FOLHA.pdf	08/12/2020 19:56:03	MARIANA SIMONATO LORENZINI	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

JOINVILLE, 16 de Março de 2021

Assinado por:
Marcia Luciane Lange Silveira
(Coordenador(a))

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 31/05/2023.

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

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Autor: Mariana Simonato Lorenzini

Orientador: João Carlos de Melo Junior Coorientador: Helbert do Nascimento Lima

Data de Defesa: 27/04/2023

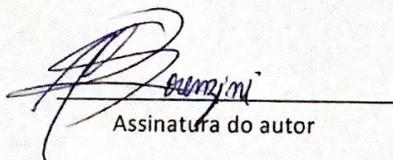
Título: Efeito da sílica atmosférica por atividade mineradora sobre plantas e seres humanos

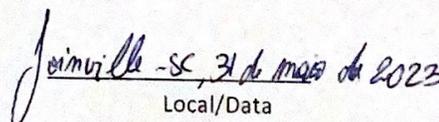
Instituição de Defesa: Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE

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.


Assinatura do autor


Local/Data