



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José do Rio Preto

Kevin Felipe Ramos

**ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE
CHUMBO TOTAL NOS ANÉIS CONCÊNTRICOS DE ÁRVORES
SOBRE ÁREAS DE FALHA GEOLÓGICA**

São José do Rio Preto – SP
2023

Kevin Felipe Ramos

**ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE CHUMBO
TOTAL DE ANÉIS CONCÊNTRICOS DE ÁRVORES SOBRE
ÁREAS DE FALHA GEOLÓGICA**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Química, junto ao Programa de Pós-Graduação em Química, Área de Concentração – Química, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Orientador: Prof. Dr. Marcos Fernando de Souza
Teixeira

São José do Rio Preto – SP
2023

R175e

Ramos, Kevin Felipe

Estudo da distribuição espaço-temporal de chumbo total nos anéis concêntricos de árvores sobre áreas de falha geológica / Kevin Felipe Ramos. -- São José do Rio Preto, 2023

77 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientador: Marcos Fernando de Souza Teixeira

1. Biomonitoramento. 2. Anéis de crescimento arbóreos. 3. Chumbo. 4. Falha geológica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Kevin Felipe Ramos

**ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE CHUMBO
TOTAL NOS ANÉIS CONCÊNTRICOS DE ÁRVORES SOBRE
ÁREAS DE FALHA GEOLÓGICA**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Química, junto ao Programa de Pós-Graduação em Química, Linha de pesquisa – Energia & Sustentabilidade, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Marcos Fernando de Souza Teixeira
FCT/UNESP – Presidente Prudente – SP
Orientador

Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes
FCT/UNESP – Presidente Prudente – SP

Profa. Dra. Ivana Cesarino Leão
FCA/UNESP – Botucatu – SP

São José do Rio Preto – SP
24 de Janeiro de 2023

*Dedico essa pesquisa aos estudantes de pós-graduação
que se dedicam intensamente para o desenvolvimento e
progresso da ciência, a fim de proporcionar
o avanço sócio-político ambiental.*

AGRADECIMENTOS

A **Deus** pelo dom da vida, pela saúde física e emocional, pela vida dos meus familiares que me proporcionaram a oportunidade de estudo que me levaram chegar até aqui. Agradeço também à Ele, pela sabedoria, discernimento, força, ânimo, determinação e capacidade de praticar a resiliência nos momentos de adversidades. A todos meus familiares, em especial aos meus pais **Antônio (Toninho)** e **Fátima**, por me incentivarem em todos momentos de fraqueza e dúvida, me motivando a persistir nos meus sonhos, apoiando sempre com muito carinho, amor, fé e paciência em todas as fases da minha vida.

Aos avós **Amaro** e **Margarida** que sempre me apoiaram a prosseguir e nunca desistir em lutar por meus objetivos, e pelas orações interrompidas.

Aos tios e tias **Ana**, **Sônia**, **Nice**, **Doca**, **Dirce**, **Natália**, **Giovanni**, por todo carinho, incentivo e torcida.

Aos primos **Júnior**, **Douglas**, **Doni**, **Anderson**, **Tiago**, pelo incentivo em todos os momentos, mesmo estando distantes geograficamente.

Ao professor orientador, Prof. Dr. **Marcos F. S. Teixeira**, pelo fascínio à ciência, que o tornou assíduo, crítico e construtivo agregando à sua excelente formação profissional que inspira e encoraja a mim, e demais alunos nesta área acadêmica.

Ao Prof. Dr. José Tadeu Tommaselli responsável pela Estação Meteorológica da FCT UNESP, pela prontidão em ajudar-me com os dados climatológicos.

Aos professores que compõem a comissão examinadora de dissertação, pelo aceite e contribuição para o desenvolvimento do presente trabalho.

A estes professores, toda minha **gratidão**, respeito e admiração pela competência na área da pesquisa, como professores acadêmicos e humildade como seres humanos.

Aos meus colegas que são ou foram do Grupo de Pesquisa em Eletroanalítica e Sensores (GPES): **André Olean**, **Heitor Furlan**, **Natália Marçal**, **Jaqueline Dias**, **Tainá**, **Gabriel Zaia**, **Gabriel Masiero**, **Gabriel Felonta**, **Vinícius Vessane**, pelas agradáveis companhias, pelas trocas de conhecimentos científicos e vivenciais, pelas viagens memoráveis e pelos momentos engraçados e de descontração.

De modo especial, à **Marianna Cancian**, pelos muitos ensinamentos, paciência, companheirismo, colaboração, desde o princípio desse trabalho. A você, o meu sincero agradecimento. À **Nayara Alves** pelo apoio e auxílios prestados. Ao **Miquéias Portugal** pelas discussões científicas, trocas de ideias e apoio, que se tornaram partes fundamentais neste trabalho.

Aos docentes e funcionários do Departamento de Química e Bioquímica da FCT UNESP, pelo carinho e convivência agradável durante todos esses anos.

Aos técnicos da Central de Laboratório da FCT UNESP, **Sidney**, **Gabriel Shinohara** e **Murillo Paiano**, **Marcelo** que sempre estiveram de prontidão para colaborar e prestar auxílio, sempre com boa vontade e bom humor.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (**CAPES**) - Código de Financiamento 001.

Agradeço, por fim, a todos que de alguma forma, me ajudaram de forma direta e indireta. Muito obrigado!

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

Theodore Roosevelt

RESUMO

A aplicação de anéis arbóreos de crescimento como biomonitores da qualidade ambiental, constitui importante ferramenta para identificar e quantificar metais potencialmente tóxicos no ambiente, dado que as variáveis ambientais e o armazenamento dos contaminantes são registrados nos lenhos arbóreos. Os metais tóxicos, especificamente o chumbo, presente na série de decaimento do radônio 222 (Rn- 222), pode ser provindo de fontes antropogênicas e naturais, como as falhas geológicas. Dessa forma, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar a distribuição espaço-temporal de chumbo total (^{210}Pb , ^{214}Pb e ^{206}Pb) em anéis concêntricos arbóreos da Oiti (*Licania tomentosa*) e Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*) sobre áreas de fratura geológica induzida. A área de estudo, delimitada para as coletas das amostras, localizou-se na FCT/UNESP, pois integra-se entre dois lineamentos de fratura geológica induzida. Para este propósito, por meio de uma sonda metálica acoplada em um equipamento motorizado, foram extraídas amostras cilíndricas dos anéis de crescimento das espécies arbóreas Oiti (*Licania tomentosa*) e Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*). O estudo dendrocronológico foi determinado por meio de um microscópio eletrônico, acoplado a uma câmera digital e um software aplicativo. O método de digestão da amostra foi adaptado a partir do método proposto por Ogner (1983). Para a determinação da concentração de chumbo total nas amostras usou a técnica de voltametria de pulso diferencial por redissolução anódica (DPASV), usando uma célula eletroquímica contendo três eletrodos: eletrodo de mercúrio (*Hanging Mercury Dropping Electrode* - HMDE), como eletrodo de trabalho, eletrodo de Ag/AgCl (3M KCl) como referência e eletrodo auxiliar de Pt. Por meio das análises estatísticas, a Análise de Componentes Principais (PCA) foi obtida pelos valores de concentração de chumbo em cada amostra e dos dados de variações ambientais anuais. A partir dos resultados das análises estatísticas, verificou que as variações anuais das concentrações de chumbo total nas espécies arbóreas, correlaciona com as tendências temporais do local de amostragem dessas espécies arbóreas, direção e localização da provável falha geológica na região, de modo a resultar uma emanção do gás radônio efetiva e intensa, coexistindo com uma elevada concentração de chumbo.

Palavras-chave: Biomonitoramento. Anéis de crescimento arbóreos. Chumbo. Falha geológica.

ABSTRACT

The application of tree growth rings as biomonitors of environmental quality is an important tool to identify and quantify potentially toxic metals in environment, given that environmental variables and the storage of contaminants are recorded in tree woods. Toxic metals, specifically lead, present in the radon-222 (Rn-222) decay series, may come from anthropogenic and natural sources, such as geological faults. Thus, the aim of this research was to evaluate the space-time distribution of total lead (^{210}Pb , ^{214}Pb and ^{206}Pb) in tree concentric rings of Oiti (*Licania tomentosa*) and Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*) over areas of induced geological fracture. The study area, delimited for sample collection, was located at FCT/UNESP, as it integrates between two lineaments of induced geological fracture. For this purpose, cylindrical samples were extracted from the growth rings of tree species Oiti (*Licania tomentosa*) and Sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*) using a metallic probe coupled to a motorized equipment. The dendrochronological study was determined using an electron microscope coupled to a digital camera and application software. The sample digestion method was adapted from the method proposed by Ogner (1983). To determine the total lead concentration in the samples, the differential pulse voltammetry technique by anodic stripping (DPASV) was used, using an electrochemical cell containing three electrodes: a mercury electrode (Hanging Mercury Dropping Electrode - HMDE), as a working electrode, Ag/AgCl electrode (3M KCl) as reference and auxiliary Pt electrode. Through statistical analyses, Principal Component Analysis (PCA) was obtained from the values of lead concentration in each sample and data from annual environmental variations. From the results of the statistical analyses, it was verified that the annual variations of the total lead concentrations in the tree species, correlate with the temporal trends of the sampling site of these tree species, direction and location of the probable geological fault in the region, in order to result in a effective and intense emanation of radon gas, coexisting with a high concentration of lead.

Keywords: Biomonitoring. Arboreal growth rings. Lead. Geological fault

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa dos principais falhas geológicas e lineamentos do Brasil.....	30
Figura 2: Elementos estáveis oriundos dos decaimentos radioativos do ^{238}U	31
Figura 3: Localização da área de estudo no município de Presidente Prudente das possíveis falhas geológicas (linha vermelha).	35
Figura 4: Revisão bibliográfica das principais espécies arbóreas aplicadas no monitoramento ambiental	37
Figura 5: Malha para coleta das amostras na delimitação das falhas geológicas	38
Figura 6: Equipamento de coleta.....	40
Figura 7: Coleta das amostras.	40
Figura 8: Amostra seccionada no plano longitudinal.....	42
Figura 9: Fluxograma referente a etapa de pré-tratamento	42
Figura 10: Fluxograma referente à metodologia de análise de chumbo (Pb).....	44
Figura 11: Resolução microscópica das anomalias dos lenhos arbóreos das espécies arbóreas <i>Caesalpinia pluviosa</i> (ampliada 50x).....	46
Figura 12: Resolução microscópica das anomalias dos lenhos arbóreos das espécies arbóreas <i>Licania tomentosa</i> (ampliada 50x)..	47
Figura 13: Demarcação dos anéis arbóreos de crescimento.....	48
Figura 14: Valores de concentração de chumbo ($\mu\text{g.g}^{-1}$) e desvio padrão ($\text{DP}\pm$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea <i>Licania tomentosa</i> . Análise de chumbo efetuada em triplicata ($n=3$). Coleta efetuada em abril de 2020.	50
Figura 15: Valores de concentração de chumbo ($\mu\text{g.g}^{-1}$) e desvio padrão ($\text{DP}\pm$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea <i>Caesalpinia pluviosa</i> . Análise de chumbo efetuada em triplicata ($n=3$). Coleta efetuada em abril de 2020	52
Figura 16: Valores de concentração de chumbo ($\mu\text{g. g}^{-1}$) e desvio padrão ($\text{DP}\pm$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea <i>Licania tomentosa</i> . Análise de chumbo efetuada em triplicata ($n=3$). Coleta efetuada em abril de 2020.	54
Figura 17: Valores de concentração de chumbo ($\mu\text{g. g}^{-1}$) e desvio padrão ($\text{DP}\pm$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea <i>Licania tomentosa</i> . Análise de chumbo efetuada em triplicata ($n=3$). Coleta efetuada em abril de 2020	55
Figura 18: Valores de concentração de chumbo total ($\mu\text{g. g}^{-1}$) e desvio padrão ($\text{DP}\pm$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea <i>Caesalpinia pluviosa</i> . Análise de chumbo efetuada em triplicata ($n=3$). Coleta efetuada em abril de 2020	57
Figura 19: Gráfico de Escore e cargas fatoriais das componentes principais CP1 e CP2, nas variáveis sazonais da espécie arbórea <i>Licania Tomentosa</i>	58
Figura 20: Gráfico de Escore e cargas fatoriais das componentes principais CP1 e CP2, nas variáveis sazonais da espécie arbórea <i>Caesalpinia pluviosa</i>	62
Figura 21: Gráfico de correlação entre a distância da provável Fratura geológica induzida com a concentração média anual de chumbo total nos anéis concêntricos das espécies arbóreas apresentadas na distribuição temporal	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros voltamétricos utilizados na determinação de Pb^{2+} total por voltametria de pulso diferencial com redissolução anódica em amostras de anéis arbóreos de crescimento	43
Tabela 2: Índice cronológico das amostras do lenho das espécies arbóreas analisadas	49
Tabela 3: Factor Loading – Retenção da variabilidade dos dados para os eixos CP1 e CP2 e as relações existentes entre a precipitação, umidade relativa, temperatura e concentrações de Pb da espécie arbórea <i>Licania tomentosa</i>	59
Tabela 4: Factor Loading – Retenção da variabilidade dos dados para os eixos CP1 e CP2 e as relações existentes entre a precipitação, umidade relativa, temperatura e concentrações de Pb da espécie arbórea <i>Caesalpinia pluviosa</i>	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Táxons utilizados no monitoramento da qualidade do ar38

Quadro 2: Identificação das coordenadas geográficas dos locais de coleta na Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT/UNESP), campus Presidente Prudente/SP e táxons39

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A: Principais valores analisados de concentrações de chumbo total dos anéis arbóreos das espécies arbóreas <i>Licania Tomentosa</i> e <i>Caesalpinia Pluviosa</i>	76
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DPASV: *Differential Pulse Anodic Stripping Voltametry*

DP: Desvio padrão

FCT: Faculdade de Ciência e Tecnologia

GPES: Grupo de Pesquisa em Eletroanalítica e Sensores

HMDE: *Hanging Mercury Dropping Electrode*

IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

SP: São Paulo

UNESP: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

UTM: Universal Transversa de Mercator

OMS: Organização Mundial da Saúde

PCA: Principal Component Analysis

PC: Principal Component

LISTA DE SÍMBOLOS

Ag: Prata

AgCl: Cloreto de Prata

Ba: Bário

Ca: Cálcio

Cd: Cádmio

Cu: Cobre

Fe: Ferro

HNO₃: Ácido nítrico

H₂O₂: Peróxido de Hidrogênio

Hg: Mercúrio

K: Potássio

KCl: Cloreto de Potássio

Mn: Manganês

Pb: Chumbo

Sr: Estrôncio

Ti: Titânio

Zn: Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 Indicadores ambientais	21
2.1.1. Anéis de crescimento: definição e aplicação no monitoramento ambiental	22
2.2. Métodos de estudo dos anéis concêntricos arbóreos: dendrologia	23
2.1.1. Dendrocronologia	24
2.1.2. Características atreladas ao estudo da dendroquímica	25
2.2. Técnicas de determinação de elementos potencialmente tóxicos	26
2.3. Espécies arbóreas aplicadas no monitoramento ambiental	27
2.4. Falha geológica	29
2.5. Chumbo: Propriedades gerais e toxicidade	31
3. JUSTIFICATIVA DE ESTUDO	33
4. OBJETIVOS	34
4.1. Objetivo geral	34
4.2. Objetivos específicos	34
5. METODOLOGIA.....	34
5.1. Espécie arbórea de estudo	34
5.2. Local de amostragem.....	36
5.3. Georreferenciamento do local de amostragem	38
5.4. Equipamento de coleta	39
5.5. Método de amostragem	40
5.6. Anatomia dos anéis arbóreos de crescimento	41
5.7. Dendrocronologia dos anéis arbóreos de crescimento	41
5.8. Pré – tratamento das amostras.	43
5.9. Otimização dos parâmetros experimentais.....	43
5.10. Análise voltamétrica: Determinação e quantificação de chumbo total nos anéis arbóreos de crescimento.....	45
5.11. Análises Estatísticas dos Dados: Análise de Componentes Principais (PCA)	46
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
6.1. Caracterização dos anéis de crescimento: anatomia do lenho	46
6.2. Caracterização dos anéis de crescimento: dendrocronologia lenho	47
6.3. Avaliação da concentração de chumbo total nos anéis de crescimento	49
6.4. Análise Estatística	59
6.4.1. Avaliação da distribuição temporal de chumbo total nos anéis arbóreos	59

6.4.2. Avaliação da distribuição espacial de chumbo total nos anéis arbóreos	63
7. ATIVIDADES FUTURAS	65
8. CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS.....	68

1. INTRODUÇÃO

O crescimento irregular da população e do desenvolvimento industrial, resultou na crescente poluição atmosférica, principalmente nos grandes centros urbanos, de modo a ocasionar efeitos prejudiciais nos ecossistemas e na saúde humana. Dessa forma, as principais vias de emissão de poluentes são as indústrias, como fontes estacionárias, e os automóveis, como fonte móvel (TORRES, 2020).

Desde a última década, estudos acerca da poluição atmosférica, amplificaram-se em razão dos efeitos prejudiciais na saúde humana, como problemas respiratórios, infecções pulmonares e câncer (NOWAK et al. 2014). Entretanto, a avaliação da exposição a determinados poluentes é, atualmente, dificultada pela disponibilidade de dados ambientais passados.

Dessa forma, o método de biomonitoramento tem demonstrado uma alternativa efetiva e viável, para determinar a variabilidade da poluição em extensas áreas geográficas, visto que o método infere acerca da qualidade ambiental, a partir do uso de organismos vivos, que respondem ao estresse ocasionado por meio da poluição, de modo a resultar em alterações nos ciclos vitais ou acumulação de metais potencialmente tóxicos (TURKYILMAZ et al., 2019).

Dentre as vantagens do uso de espécies arbóreas biomonitoras para análise ambiental, encontram-se o baixo custo, na reação das espécies frente à presença de metais potencialmente tóxicos na atmosfera e avaliação cumulativa de eventos ocorridos ao longo do tempo, de modo a identificar o histórico ambiental não passível de detecção.

Além disso, as informações obtidas por meio do monitoramento podem ser empregadas na identificação de metais potencialmente tóxicos de origem local e regional, bem como identificar as variáveis ambientais pelos efeitos provocados (RAI, 2016).

Essas variáveis ambientais são registradas nos anéis de crescimento arbóreos, de forma a expressar os eventos decorridos e atuais, em um intervalo de tempo (GERALDO, 2014). Em suma, anéis de crescimento arbóreos extensos indicam o decréscimo do nível de poluição, enquanto que anéis de crescimento menores ou estreitos apontam o aumento do nível de poluição (TURKYILMAZ et al., 2019).

Neste contexto, estudos relacionados com anéis arbóreos de crescimento de famílias botânicas como *Chrysobalanaceae* e *Fabaceae* têm sido utilizados como biomonitoras em pesquisas de biomonitoramento da qualidade do ar, dado que essas famílias apresentam anéis semi-porosos delimitados pelo parênquima marginal (PADILLA, 2002), o qual permite analisar a ocorrência de fenômenos ecológicos e ambientais (dendroecologia), a distribuição espacial da concentração dos elementos químicos (dendroquímica) e o nível de exposição à poluição ambiental anualmente (dendrocronologia) (MICCO, 2014).

A aplicação dos anéis arbóreos de crescimento como biomonitores em pesquisas de biomonitoramento da qualidade ambiental, em áreas urbanas e florestal, constitui importante ferramenta para inserir técnicas especializadas e modernas de detecção de emissão de metais na atmosfera, de modo a resultar em melhores condições para o estudo de alterações ambientais em longo prazo (MARKERT, 2003).

Os metais potencialmente tóxicos, evidentemente o chumbo (Pb), estão relacionados ao mau funcionamento fotossintético (RASKIN, 1994). Segundo Watt et al. (2007), a principal via de absorção dos elementos químicos pela espécie arbórea ocorre pelo transporte radicular na raiz, via apoplasto por transporte passivo de fluxo de massa dos elementos químicos e difusão simples, dependente do gradiente de concentração na região radicular, e posteriormente, os elementos seguem via xilema, em concentrações menores, até as folhas.

Além disso, a casca da espécie arbórea retém o material particulado atmosférico em suspensão no ar, que se deposita passivamente na parte externa do tronco ao longo dos anos (MOREIRA, 2018).

A absorção dos elementos traços associa-se ao estágio de desenvolvimento da espécie vegetal, condições do solo, pH, condições climáticas, tempo de exposição ao metal, entre outros fatores (SOUZA, 2012).

As plantas podem indicar a presença de algum contaminante atmosférico por meio de algumas observações macroscópicas, como a taxa de crescimento da planta, necrose foliar e clorose e a concentração do poluente na folha, casca e anéis arbóreos (LISI, 2008).

Os metais potencialmente tóxicos presentes nos anéis arbóreos de crescimento podem ser oriundos de processos geoquímicos, como as falhas geológicas que são rupturas das estruturas planares entre blocos de rochas causados por movimentos relativos.

Estudo geológico realizado na cidade de Presidente Prudente, localizada na região oeste do estado de São Paulo, evidencia possíveis fraturas geológicas induzidas, em razão do intenso intemperismo químico e evidências de sismicidade (AMARAL et al., 2012).

Considerando-se a possível existência de fraturas geológicas induzidas na região oeste do Estado de São Paulo, especificamente na cidade de Presidente Prudente, tais zonas são propícias a emissão de gás radônio (^{222}Rn).

O gás radônio é um gás inerte que se difunde a fase fluida que está cingida, como água, solo e ar, podendo escapar do mineral envolto. Integra-se na série natural de decaimento radioativo do urânio- 238 (^{238}U), no qual em determinadas temperaturas e pressões, resulta na formação de subprodutos por emissão de partículas alfa e beta, sendo o chumbo (Pb) o elemento mais estável (LÓPEZ et al., 2016). Dessa forma, pode-se relacionar o estudo das concentrações do chumbo total (^{210}Pb , ^{214}Pb e ^{206}Pb) com a emissão de radônio.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), concentrações relativamente

elevadas desse metal podem provocar riscos à saúde por ser potencialmente tóxico (WHO, 1999), assim torna-se necessário o uso de técnicas rápidas e sensíveis para determinar elementos em baixas concentrações em amostras ambientais, além de estudos de biomonitoramento em específico dessas regiões caracterizadas por falhas geológicas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Indicadores ambientais

De acordo com Braeuning et al. (2016) indicadores ambientais podem ser definidos como um parâmetro quantitativo ou qualitativo, de forma simples e rapidamente compreensível, capaz de evidenciar modificações no meio. Sevik et al. (2020) complementa que os indicadores ambientais não são apenas uma amostra de informação qualitativa e quantitativa, mas contribuem no planejamento e gestão, de modo a auxiliar a definir a natureza e o tamanho do problema ambiental.

Dentre essa vertente, origina-se o método de biomonitoramento definido como um método experimental indireto o qual verifica a existência de poluentes de uma determinada área, usando organismos monitores (biomonitores), que respondem a ação submetida aos mesmos, de modo a resultar em modificações nos ciclos vitais ou acumulação de poluentes (NAKAZATO, 2004).

Os biomonitores são organismos, cuja distribuição e população são estudadas durante um espaço de tempo, e comparados a um modelo, na qual os desvios do esperado são avaliados (TURKYILMAZ et al., 2019). Os autores complementam que esses organismos estabelecem relações ecofisiológicas com o ecossistema, de modo a resultar no monitoramento ambiental.

Segundo Asif et al. (2018) as principais características dos biomonitores são:

- (i) retenção de elementos químicos potencialmente tóxicos, sendo ausentes de degradação em contato com o contaminante;
- (ii) apresentar larga distribuição geográfica;
- (iii) apresentar fácil coleta e resistente a condições de laboratório;
- (iv) apresentar fator de concentração do contaminante em estudo;
- (v) apresentar uma correlação entre a quantidade de contaminante contido no organismo e a concentração média no ambiente ao redor.

Atualmente, estudos acerca do uso do método de monitoramento ambiental, com o uso de biomonitores amplificaram-se, em destaque, a aplicação do uso de anéis arbóreos de crescimento, visto que as variáveis ambientais são registradas nos anéis de crescimento, os quais expressam os eventos ocorridos no passado e no ano corrente (TURKYILMAZ et al., 2019). Dessa forma, o uso desse biomonitor torna-se objeto de estudo para a avaliação da distribuição espaço-temporal do metal potencialmente tóxico (Pb) na presente pesquisa.

2.1.1. Anéis de crescimento: definição e aplicação no monitoramento ambiental

Anéis de crescimento são estruturas anatômicas do xilema secundário que, observadas em corte transversal, configuram círculos mais ou menos concêntricos e contínuos, ao redor da medula no lenho do tronco das árvores (WANG, 2020).

A formação dos anéis de crescimento anuais no lenho das árvores depende da dormência e da ativação do câmbio em resposta às variações das estações de crescimento (HEINRICH; BANKS, 2006). Os anéis de crescimento são identificados no lenho das árvores pela sua estrutura anatômica. Estudos demonstram que as plantas de clima tropical e subtropical podem desenvolver anéis de crescimento anuais, resultado de um ritmo de crescimento intermitente de tais espécies (BOTOSSO; MATTOS, 2002; TOMAZELLO FILHO et al., 2001).

Em regiões de clima temperado, com estações do ano bem definidas, as árvores são induzidas a produzir, a cada ano, uma nova camada de incremento de tecidos em seu lenho. Anualmente, é acrescido um novo anel de crescimento ao tronco e, por isso, são chamados *anéis anuais de crescimento*.

Forma-se, assim, o lenho inicial ou primaveril e o lenho tardio, outonal ou estival. No início do período vegetativo, o lenho inicial é formado, na medida em que as plantas reassumem suas atividades fisiológicas, após o período de dormência.

Com a proximidade do período outonal, fim do período vegetativo, as células diminuem a atividade fisiológica e suas paredes celulares se tornam mais espessas e seus lumens menores, deixando o lenho tardio com uma tonalidade mais escura permitindo, desse modo, a distinção do lenho tardio e do inicial, pela alternância de cores (BOTOSSO; MATTOS, 2002). Por meio dessa variação de cores que evidencia os anéis de crescimento de muitas espécies, em especial das gimnospermas-coníferas (DE GODOY-VEIGA, M; TEIXEIRA-COSTA, L., 2018).

Estudos recentes têm demonstrado que as árvores tropicais exibem um crescimento não contínuo e que, devido a esse ritmo de crescimento específico, mostram, sob a forma de anéis de crescimento definidos, uma periodicidade estrutural cíclica regular ou irregular. Essa periodicidade pode ser decorrente de mudanças na temperatura, umidade relativa e precipitação pluviométrica, entre outros (KARMAKAR; DEB; PADHY, 2021)

No lenho das árvores de angiospermas dicotiledôneas, ou folhosas, os anéis de crescimento podem se destacar por determinadas características anatômicas, tais como: faixa de células parenquimáticas (parênquima marginal), alargamento dos raios nos limites dos anéis, concentração ou maior dimensão dos poros no início do período vegetativo, espessamento diferencial das paredes das fibras, alteração do espaçamento das faixas tangenciais de um parênquima axial, entre outros (DE GODOY-VEIGA, M; TEIXEIRA-COSTA, L., 2018).

Devido essas características, estudos recentes acerca da aplicação de anéis de crescimento arbóreos no processo de biomonitoramento ambiental têm se amplificado, a fim de analisar as variáveis ambientais ocorridas no passado e no ano corrente, registradas nos anéis de crescimento, de forma a propor ferramentas para o monitoramento de elementos potencialmente tóxicos, presentes no ambiente.

2.2 Métodos de estudo dos anéis concêntricos arbóreos: dendrologia

De acordo com Tomazello Filho et al. (2001) as árvores mostram uma reação às variáveis ambientais que afetam seus inúmeros processos fisiológicos de modo a refletir na atividade cambial e, conseqüentemente, na anatomia do lenho.

Dessa forma, as variáveis ambientais são registradas nos anéis de crescimento, os quais expressam os eventos ocorridos no passado e no ano corrente. Dentre essas variáveis ambientais, citam-se a luz, temperatura, características físicas e químicas do solo que afetam a atividade cambial (YIHAN et al., 2021). A alteração das variáveis ambientais reflete no crescimento das árvores e na largura dos anéis de crescimento, que podem ser mais largos ou estreitos.

No estudo de Rao e Rajput (1999) relacionaram a atividade cambial das espécies arbóreas da *Tectona grandis* com os fatores climáticos (temperatura do ar e a precipitação). Os resultados mostraram que câmbio apresentou maior taxa de divisão celular em elevados níveis de precipitação e temperatura (35 °C), com dormência na estação seca.

Similarmente, na pesquisa de Moreno-Fernandez et al. (2021), o estudo da relação da variação dos fatores climáticos e as alterações induzidas na estrutura anatômica do lenho foram verificadas, bem como a formação dos anéis de crescimento. Verificou-se que as variáveis ambientais podem refletir no crescimento das árvores e na largura dos anéis de crescimento.

Para a interpretação das constantes alterações do lenho e da largura e estrutura dos anéis de crescimento anuais das árvores são aplicados alguns métodos como:

Mensuração da largura dos anéis arbóreos (dendrocronologia): pela mensuração da largura dos anéis de crescimento obtém-se a série cronológica das amostras do lenho das árvores e, posteriormente, a sua sincronização (PILCHER, 1999).

Em seguida, pautado no conceito do modelo agregado linear procede-se a padronização das séries, de modo a direcionar o estudo segundo a meta proposta.

Densitometria de raios X: método desenvolvido por Gonçalves et al. (2018) e que consiste na radiografia das amostras do lenho em equipamento de raios X e leitura dos filmes radiográficos em microdensitômetro, com os valores de densidade ótica transformados em densidade aparente.

Análise da concentração dos elementos químicos (dendroquímica): método de

determinação dos elementos traço nos anéis de crescimento, de modo a fornecer informações sobre as variações ambientais ocorridas e interpretação dos resultados das análises ambientais (dendroecologia) (BINDA; DI IORIO; MONTICELLI, 2021).

2.2.1. Dendrocronologia

A dendrocronologia (do grego: dendro = árvores, chronos = tempo e logus = estudo) é a ciência que estuda os anéis de crescimento arbóreos, a fim de determinar o índice cronológico das espécies arbóreas.

Essa ciência pauta-se no princípio, do qual as espécies arbóreas que se desenvolvem em condições ecológicas similares apresentam sincronismo na largura dos anéis de crescimento formados no seu tronco, de modo a possibilitar a determinação do índice dendrocronológico e a sincronização dos anos de formação de cada anel de crescimento (BROWN, 2003).

Além disso, possibilita a determinação da taxa de crescimento das árvores, e efeito das variações ecológicas, naturais ou antropogênicas, de modo a constituir uma ferramenta excepcional a ser aplicada no monitoramento ambiental em ecossistemas florestais subtropicais e tropicais (TOMAZELLO FILHO et al., 2001), sendo o único método de investigação paleoclimática capaz de decodificar esses registros biológicos em escala de resolução anual (ROIG, 2012).

Vale ressaltar que, essa ciência complementa-se com outras metodologias (ex. sedimentos de lagos, amostras do gelo, etc) para estudos de reconstruções climáticas, por exemplo, com objetivo de verificar o efeito das mudanças climáticas (NEUKOM et al., 2011).

No início do século XX, a dendrocronologia se consolidou como ciência, principalmente, por meio dos estudos realizados por Andrew E. Douglass, pioneiro no desenvolvimento de metodologias para a análise da relação das séries temporais dos anéis de crescimento e as variáveis do clima (SCHWINGRUBER 1988, 1996).

Dessa forma, pode-se considerar a dendrocronologia como uma ciência pluridisciplinar, o qual direciona as pesquisas para diversificados objetivos e aplicações, como a dendroclimatologia, dendroecologia, dendroquímica (TOMAZELLO FILHO et al., 2001).

A dendroclimatologia visa a reconstrução do clima em determinada região por meio da cronologia da largura dos anéis de crescimento, sendo a densitometria de raios X o melhor método para a reconstrução do clima (SCHWEINGRUBER et al., 1996). A dendroecologia tem como objetivo determinar a relação que ocorre, ano após ano, entre o clima, as condições do sítio e o crescimento das árvores para avaliar os fatores exógenos e endógenos que influenciam o desenvolvimento da comunidade vegetal

(SCHWEINGRUBER, 1996).

Lewis (2005) define a dendroquímica como a determinação quanti e qualitativa dos elementos traços nos anéis de crescimento arbóreos, de modo a indicar mudanças retrospectivas na absorção e translocação dos elementos químicos nas espécies arbóreas. Os resultados e aplicações das pesquisas em dendrocronologia resultaram em uma ferramenta valiosa no estudo das alterações ambientais de longo prazo, de modo a proporcionar melhor compreensão das mudanças climáticas globais atuais (WILMKING et al., 2020).

Dentro dessa vertente da dendrocronologia, a metodologia de extração das amostras do lenho do tronco das árvores, para posterior estudo dos anéis de crescimento arbóreos, pode ser dividida em método destrutivo e não destrutivo.

O método não destrutivo consiste extração de amostras do lenho do tronco das árvores usando sondas metálicas manuais ou acopladas a equipamentos motorizados, de modo a permitir a análise das propriedades e características do lenho. Esse método apresenta como vantagem a manutenção da integridade da árvore em seu ecossistema natural ou plantio. Entretanto, o método destrutivo compreende a aplicação de métodos convencionais para a extração das amostras do lenho, considerando o corte das árvores (SCHIMLECK, 2019).

2.2.2. Características atreladas no estudo da dendroquímica

O estudo da dendroquímica direcionado ao monitoramento ambiental deve atender a alguns princípios conforme a literatura (SCHWEINGRUBER, 1996; HAGEMEYER, 2000) sendo que:

- (i) os elementos químicos encontrados nos anéis arbóreos devem ser diretamente proporcionais em quantidade às encontradas no ambiente;
- (ii) a distribuição radial dos elementos químicos nos anéis de crescimento deve ser estável ao longo dos anos;
- (iii) o lenho das árvores deve ser procedente de locais de amostragem com comprovante histórico de poluição para a comprovação teórica da pesquisa.

Para o atendimento destas premissas e o entendimento do potencial das árvores no monitoramento ambiental, Semeraro et al. (2020) afirmaram da necessidade de explorar os mecanismos fisiológicos envolvidos com a:

- (i) interação química e a mobilização dos elementos no ambiente;
- (ii) absorção dos metais;
- (iii) diferentes aspectos que controlam a disponibilidade e a mobilidade de

cada elemento químico no tecido vegetal.

A escolha da espécie arbórea constitui-se em um dos principais aspectos da dendroquímica, visto que as espécies arbóreas possuem diversos mecanismos genéticos responsáveis pela translocação e absorção dos metais potencialmente tóxicos (EDUSEI et al., 2021).

Os princípios relacionados a seleção das espécies para os estudos da dendroquímica são fundamentados no:

- (i) habitat no que tange a amplitude ecológica, formação e datação dos anéis de crescimento, folhagem;
- (ii) xilema (mudanças químicas, alterações anatômicas e físicas);
- (iii) elemento químico de interesse (absorção, mobilidade e método de análise) (TURKYILMAZ et al., 2019).

2.3. Técnicas de determinação de elementos potencialmente tóxicos nos anéis arbóreos

De acordo com Suvarapu e Baek (2017) as principais técnicas relatadas na literatura, para nas análises dos elementos químicos nos anéis arbóreos de crescimento destacam a (i) espectrometria de absorção atômica (AAS), (ii) análise por ativação de neutrônica instrumental (INAA), (iii) os métodos de voltagem, (iv) a emissão de raios X induzida por partículas (PIXE), (v) a emissão de raios gama induzida por partículas (PIGE), (vi) a espectrometria de plasma (ICP) e (vii) a fluorescência de raios X (XRF), (viii) a espectrometria de massas com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) e (ix) a voltametria de redissolução anódica (ASV).

O uso de técnicas mais sofisticadas na análise de elementos traço nos anéis de crescimento, tem demonstrado que os limites de detecção estão em constante queda e a interpretação dos resultados mais precisa (AUSTRUY et al., 2019).Dentre esas técnicas evidencia-se a técnica de voltametria de redissolução anódica, que propicia uma metodologia com alta sensibilidade na determinação multielementar no lenho das árvores (QUEIROLO et al., 1991).

Queirolo et al (1991) determinaram a distribuição radial dos metais potencialmente tóxicos Cd, Pb, Cu e Zn em anéis arbóreos de crescimento por voltametria de redissolução anódica de pulso diferencial. Por meio do uso da técnica, os pesquisadores averiguaram que os metais potencialmente tóxicos cádmio e chumbo estavam preferencialmente atrelados às partes inferiores axial da árvore. Dessa forma, os resultados apontaram para diferentes graus de mobilidade de complexos de metais pesados no lenho arbóreo.

Aoki et al. (1998) determinaram a concentração de Mn, Zn, Ca e Pb nos lenhos arbóreos por meio da técnica de emissão de raios X induzida por partículas e a ativação de neutrônica instrumental. Os teores de Mn, Zn e Ca no lenho das árvores foram praticamente

os mesmos nos dois métodos de análise, com pequena diferença para o Pb.

Martin et al. (2001) aplicaram a técnica de microfluorescência de raios X (μ -XRF) na análise do teor de íons nos anéis de crescimento do lenho das árvores de *Pinus resinosa* em regiões afetadas pela poluição atmosférica.

A metodologia de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF) e por reflexão total (TXRF) foi utilizada por Simabuco (2012) para quantificar o nível de poluição do ar pela análise dos tecidos vegetais distribuídos em áreas de grande concentração de indústrias e de intenso tráfego de veículos; os métodos de análise têm a vantagem de preservarem amostras, permitindo a realização de análises de comprovação.

Vives et al. (2006) determinaram as concentrações de P, K, Ca, Ti, Fe, Sr, Ba e Pb nos anéis arbóreos de crescimento de árvores urbanas de *Caesalpinia peltophoroides*, de modo a estabelecer uma cronologia da poluição ambiental, por meio da técnica de fluorescência de raios X por reflexão total com radiação síncrotron (SR-TXRF).

Esta mesma técnica foi aplicada por Moreira et al. (2007), para determinar contaminantes em uma sequência de anéis arbóreos datados do lenho de árvores de *Copaífera langsdorfii*, na região centro-oeste do Estado de São Paulo.

O avanço nos estudos de dendroquímica, com o uso de novas técnicas de determinação elementar, permite uma análise mais precisa dos resultados, com a redução dos níveis de detecção, o aumento do espectro de elementos analisados e redução do risco de contaminação das amostras (BALLIKAYA; MARSHALL; CHERUBINI, 2022). Além disso, Phipps; Yanosky; Allen (2020) complementa que a escolha da técnica analítica a ser utilizada depende muitas vezes do seu custo, disponibilidade de equipamentos caros, e do propósito do estudo.

2.4. Espécies arbóreas aplicadas no monitoramento ambiental

Tendo em vista, que a dendroquímica apresenta como vantagem a facilidade da coleta de amostras do lenho das árvores e a execução de análises químicas com métodos laboratoriais comuns, diversos trabalhos, contribuíram para o entendimento da detecção de elementos químicos nos anéis de crescimento do lenho das árvores e sua relação com a qualidade ambiental do passado (HAGEMEYER, 2000).

Em estudos preliminares, Schnitzer (2010) analisou espécies da família botânica *Chrysobalanaceae* com o intuito de avaliar a aplicação das espécies em estudos de biomonitoramento ambiental.

Os pesquisadores verificaram que ambas espécies acumularam teores significativos de metais pesados, bem como alterações morfológicas, dessa forma os autores concluíram que tais espécies demonstram viabilidade na aplicação como biomonitores ambientais.

Recentemente, Prost et al. (2018), Turkyilmaz, et al. (2019) e Rodriguez, et al. (2020), estudaram acerca da correlação entre as variações de densidade da madeira e a distribuição espaço-temporal dos elementos traços nos anéis arbóreos.

Os autores verificaram que as concentrações dos elementos traços presentes nos anéis arbóreos, pode ser influenciada pelos impactos de origem sazonal, como baixas temperaturas, seca e inundações condizem a inatividade fisiológica da árvore atribuída à dormência cambial resultando na formação de zonas de crescimento morfológica e quimicamente diferenciadas.

Desse modo, os pesquisadores concluíram a efetividade da aplicação dos anéis arbóreos no biomonitoramento ambiental, por proporcionar o conhecimento de uma medida da exposição integrada ao longo de certo período.

Além disso, Badamasi (2017) e El-Khatib, et al. (2020) descreveram que os métodos de biomonitoramento por anéis arbóreos auxilia na identificação e avaliação da distribuição espaço-temporal dos efeitos dos poluentes em relação à origem local e regional.

De acordo com Watmough (2002) a aplicação dos anéis arbóreos de crescimento no monitoramento ambiental envolve fatores relacionados ao

- (i) absorção do elemento químico e sua deposição no lenho;
- (ii) correlação entre os níveis do íon na atmosfera e no lenho das árvores;
- (iii) comportamento do elemento químico no lenho;
- (iv) detecção dos elementos químicos.

A utilização de vegetais superiores, no biomonitoramento de Pb e outros elementos contaminantes atmosféricos foram realizados por Al Shyeb et al. (2006) em que intenso tráfego de veículos e o uso de fluidos a base de Pb largamente adicionados aos combustíveis na cidade de Riyadh (Arábia Saudita), promovem a alta contaminação atmosférica na região. Os autores observaram que a espécie *Chrysobalanaceae* acumulou teores significativos de metal, de modo a demonstrar a viabilidade de sua utilização como biomonitor ambiental.

No estudo de Moreira et al. (2005), a espécie *Caesalpinia* da família botânica *Fabaceae* foi empregada para monitorar a poluição por elementos traço na cidade de Piracicaba-SP. A partir dos resultados obtidos, os pesquisadores determinaram os elementos químicos essenciais e os elementos potencialmente tóxicos, como o chumbo, de forma a evidenciar a aplicação da espécie no método de monitoramento ambiental.

2.5. Falha geológica

As ocorrências geológicas, podem ser caracterizadas a partir de processos de vulcanismo, hidrotermais, registros paleossísmicos e parâmetros fluviomorfométricos, originários das deformações anisotrópicas geradas pela movimentação das placas litosféricas, de modo a resultar nas principais estruturas geológicas (ZERFASS, 2011). Essas deformações crustais têm sido objeto de estudo no campo das geociência (GUEDES et al., 2006).

Em síntese, falhas geológicas são rupturas das estruturas planares entre blocos de rocha, os quais mostram movimentos relativos entre si (RAMSAY, 2007).

Regiões nas quais há planos de falhamentos paralelos ou entrelaçados, no entanto, não há deformações recentes, de modo a resultar no amplo estudo de evidências de eventuais deformações, são denominadas zona de falha (DAVIS, 2006).

De acordo com a análise da dinâmica do processo de formação dessas estruturas pode classificá-las em três regimes diferentes: falha normal, falha reversa e falha transcorrente.

As falhas normais, também chamadas de falhas diretas, ocorrem em ambientes extensionais, sendo as estruturas predominantes na formação dos limites de placas divergentes.

Entretanto, no plano da falha reversa, as rochas são fortemente deformadas fazendo com que haja formação de "rochas de falha". Podem ocorrer em qualquer ambiente compressivo ou convergente com rochas de comportamento frágil (JACKSON; PRIESTLEY; ALLEN; BERBERIAN, 2002).

As falhas transcorrentes, geralmente são verticais e acomodam cisalhamento horizontal paralela a direção do plano de falha. Seus deslocamentos são definidos em movimentos destrais (lateral para direita) e sinistrais (lateral para esquerda).

No Brasil, um estudo executado por Saadi, culminou com o desenvolvimento do primeiro mapa geológico brasileiro (**Figura 1**). Dessa forma, foi necessário um extenso levantamento de mapas topográficos e geológicos das macro e micro regiões, bem como imagens de satélite e radares (SAADI, 1999).

Como resultado dessa pesquisa, concluiu-se que o maior número de fraturas geológicas induzidas se concentrava nas regiões sudeste e nordeste, seguidas pelas regiões norte e centro-oeste. Porém, a região sul do país apresentou o menor número de falhas geológicas conforme observa-se na **Figura 1**, em que destacou-se o Estado de São Paulo.

Figura 1- Mapa dos principais fraturas geológicas e lineamentos do Brasil.



Fonte: Editado de Saadi (1999); Moreira-Silva (2017).

No presente estudo, o local situado no município de Presidente Prudente/SP, apresenta-se com anomalias geológicas, em virtude do intenso intemperismo químico e evidências de sismicidade (GODOY, 2006).

O modelo aceito em relação aos movimentos dos blocos litosféricos, associa-se à convecção de calor, produzida desde da origem da Terra, iniciada pela força nuclear (ZERFASS, 2011). O deslocamento ocasional dos blocos litosféricos resulta numa força de resistência, designada força de fricção, atrelada ao conjunto de forças eletromagnéticas, de modo a agir quando existem movimentos ocasionais entre blocos litosféricos internos às placas, sendo essa responsável pela geração de estruturas geológicas (BRACEWELL, 1991).

Logo que, os blocos litosféricos são subjugados a esse tipo força magnética, suas partículas sofrem deslocamento. Tal deslocamento divide-se em classes, de modo a diferenciar em rotação de corpo rígido, translação de corpo rígido, mudança de volume e distorção (MOORE; KARIG, 1996).

De acordo com Mansfield e Cartwright (2001), as fraturas geológicas podem ser

Dessa forma, os isótopos provenientes da série de decaimento desses elementos e o isótopo de referência (^{204}Pb), podem ser usados como informações para a avaliação da variabilidade isotópica nos minerais.

Destaca-se que a composição isotópica de chumbo nos variáveis blocos litosféricos e solos é um registro ambiental, o qual por meio de evidência da origem são aplicados em estudo cronológico de rochas e processos geológicos, análise da evolução geológica de terrenos, toxicidade e geotecnologia (KOMARE; ETTLER; CHASTNY; MIHALJEVIC, 2008).

O chumbo está presente nas indústrias petrolíferas, de tintas e corantes, de cerâmica. Devido a variabilidade na aplicação industrial, é considerado como contaminante ambiental (GIMBERT, 2008).

Os compostos constituintes de chumbo são lipossolúveis, e sua contaminação ocorre pelas vias aéreas e digestivas. Podem ser acumulados em tecidos moles, posteriormente nos ossos, interfere no funcionamento das membranas celulares e enzimas, de modo a resultar em danos no sistema nervoso central e redução de elementos essenciais ao organismo (MOREIRA; MOREIRA, 2004)

3. JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

Atualmente, estudos relacionados a investigação da qualidade ambiental pela comunidade científica, amplificaram-se em virtude da interdisciplinaridade em diversas áreas da Ciência. Nesse contexto, o Grupo de Pesquisa em Eletroanalítica e Sensores (GPES) da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP constitui uma linha de pesquisa na área de Química Analítica Ambiental.

Esta linha de pesquisa tem como principal objetivo o estudo e avaliação de biomarcadores para determinação de poluentes presentes no ambiente. O estudo com biomarcador deve-se a sua susceptibilidade e sensibilidade a diferentes poluentes ambientais.

Nessa categoria, o estudo e avaliação de biomarcadores para determinação de poluentes presentes no ambiente, fundamentou-se a partir do estudo de Proença et al. (2017) acerca da identificação e quantificação de metais tóxicos em material particulado atmosférico em diversas regiões do município de Presidente Prudente. A partir de estudos sistemáticos e o uso de detectores de radônio (^{222}Rn) nessa região, concluiu-se que a variabilidade elevada da concentração de chumbo e a emissão de radônio (^{222}Rn) nessa região estavam correlacionados com a presença de fraturas geológicas induzidas na região.

Em estudos posteriores, Moreira-Silva et al. (2017) analisaram amostras de solos em áreas de fraturas geológicas induzidas e em áreas ausentes dessa característica, a fim de relacionar as concentrações de chumbo e a exalação de gás radônio (^{222}Rn). Os resultados indicaram que em regiões caracterizadas por falhas geológicas apresentam, consideravelmente, valores elevados de concentração de chumbo (Pb) e exalação de radônio (Rn).

O gás radônio (^{222}Rn), é um gás inerte que se difunde a fase fluida que está cingida, como água, solo e ar, podendo escapar do mineral envolto. Integra-se na série natural de decaimento radioativo do urânio 238 (U-238), no qual em determinadas temperaturas e pressões, resulta na formação de subprodutos por emissão de partículas alfa e beta, sendo o chumbo (Pb) o elemento mais estável. Dessa forma pode-se relacionar o estudo das concentrações do chumbo total (^{210}Pb , ^{214}Pb e ^{206}Pb) com a emissão de radônio (LÓPEZ et al., 2016).

Desse modo, a gênese da ideia desta pesquisa tem como intuito identificar e quantificar o chumbo total nos anéis arbóreos de espécies arbóreas aplicadas no monitoramento ambiental presentes em áreas diagnosticadas há emissão de radônio, com o intuito de evidenciar a suposta hipótese de fraturas geológicas induzidas. Bem como, estabelecer uma relação direta da absorção do elemento químico nos anéis arbóreos de espécies arbóreas específicas nas áreas de estudo, sendo um fator de referência para qualquer região do mundo que se ajuste às mesmas condições geológicas, a fim de inferir acerca da qualidade ambiental.

Além disso, destaca-se a matriz ambiental selecionada para o desenvolvimento da

presente pesquisa, o qual diferentemente de estudos ambientais executados com matrizes como água, solo e material particulado atmosférico, para a identificação e quantificação de metais potencialmente tóxicos, apresenta-se vantagens no que tange ao extenso período de avaliação da variabilidade da distribuição espaço-temporal de metais potencialmente tóxicos, por meio da aplicação dos anéis arbóreos de crescimento, de modo a possibilitar um estudo intrínseco acerca da qualidade ambiental num amplo espectro anual, visto que segundo Frediére (2005), o lenho arbóreo anual principia-se pela demarcação dos estriamentos duplos no alburno das espécies vegetais.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo geral

A presente pesquisa tem como principal objetivo estudar a distribuição espaço-temporal da concentração de chumbo total (^{210}Pb , ^{214}Pb e ^{206}Pb) nos anéis concêntricos de árvores sobre áreas com falhas geológicas induzidas, e seu efeito nos anéis arbóreos anualmente.

4.2. Objetivos específicos

- Identificação das árvores biomonitoras na área de estudo;
- Coleta das amostras de anéis arbóreos;
- Determinação da concentração de chumbo total nos anéis arbóreos por meio da aplicação da técnica de voltametria de pulso diferencial por redissolução anódica;
- Identificar características sazonais e variações espaciais de contaminação em falhas geológicas induzidas.

5. METODOLOGIA

5.1. Local de amostragem

A área de amostragem da presente pesquisa ocorre no município de Presidente Prudente, situado no extremo oeste de São Paulo (latitude $22^{\circ}07'32''$ sul e a uma longitude $51^{\circ}23'20''$ oeste) a 558 quilômetros da capital, ocupando uma área total de 562 km^2 , sendo 35 km^2 de cobertura vegetal correspondente a 6,3% do total, com uma população de aproximadamente 226.692 habitantes (IBGE, 2022).

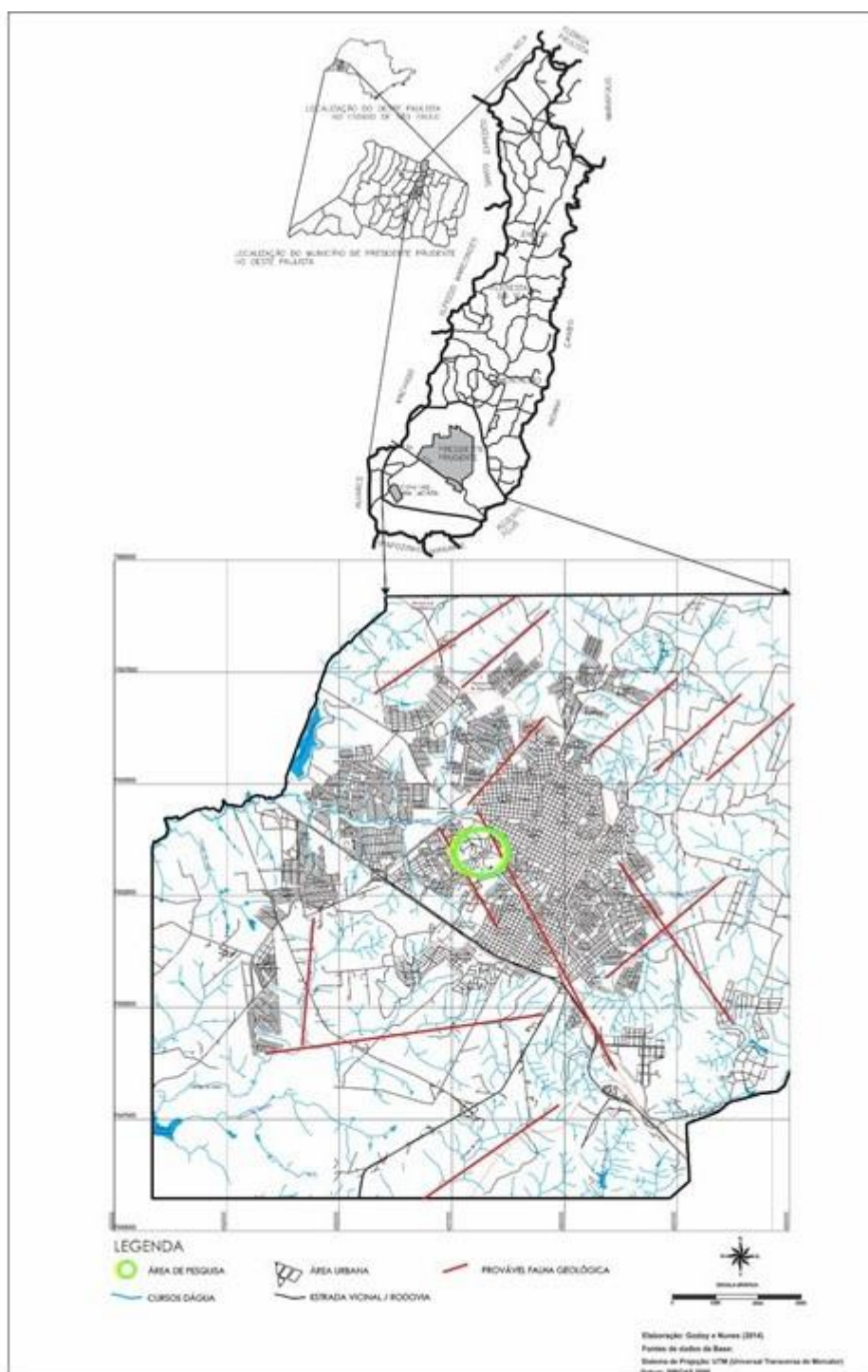
Com clima tropical e temperatura média anual de $22,7^{\circ}\text{C}$, Presidente Prudente apresenta invernos secos e frios, verões chuvosos e quentes, causados pela circulação do ar atmosférico nesta região (SANT'ANNA NETO; BARRIOS, 1992). A vegetação predominante no município é a formação arbórea esparsa (GOMES et al., 2003).

De acordo com o estudo realizado por Moreira-Silva et al. (2017) a região situada no

município de Presidente Prudente/SP na localização da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT/UNESP) apresenta-se com anomalias geológicas.

A **Figura 3** apresenta as direções das possíveis fraturas geológicas induzidas, representadas em linhas vermelhas.

Figura 3 - Localização da área de estudo no município de Presidente Prudente das possíveis fraturas geológicas (linha vermelha).



Fonte: Editado de MOREIRA-SILVA et.al. (2017)

A área delimitada para as coletas das amostras integra-se entre dois lineamentos de falha geológica, representada pelo círculo amarelo. Nesta área, há indícios da localização e

direção de falhas geológicas soterradas a aproximadamente 200 metros de profundidade, sendo uma característica marcante de regiões de fontes geotérmicas.

Dessa forma, presumivelmente, essas falhas se relacionam com outras, que se apresentam na superfície por meio dos córregos, existentes no município em destaque e relacionarem com falhas que permeiam todo o estado de São Paulo (RESENDE R. S. et al., 2012).

Por meio dos estudos prévios, realizados pelo grupo de pesquisa DETRANES da FCT/UNESP, a demarcação do local de pesquisa foi definida conforme a análise das medidas de emissão de Radônio, a partir da exposição de detectores de traços nucleares de estado sólido. Os dados obtidos mostraram que, a atividade de Radônio é relativamente alta, na área de suposta existência de uma falha geológica. Desse modo, as coletas das amostras realizaram-se no Campus FCT-UNESP.

Estudos realizados por Moreira-Silva et al. (2017), nessa área de estudo, verificaram a relação direta entre a concentração de chumbo e a atividade de Rn, conforme os resultados obtidos os pesquisadores concluíram que pontos próximos a possível fratura geológica induzida, resultaram em valores significativos da concentração de chumbo total, em contrapartida, pontos distantes da possível fratura geológica induzida, ocasionou na redução das concentrações de chumbo total.

5.2. Espécies arbóreas de estudo

Algumas espécies vegetais têm sido utilizadas como biomonitoras em pesquisas de biomonitoramento da qualidade do ar, tais como líquens, fungos, briófitas, gimnospermas e angiospermas (TRIPATHI et al., 2007).

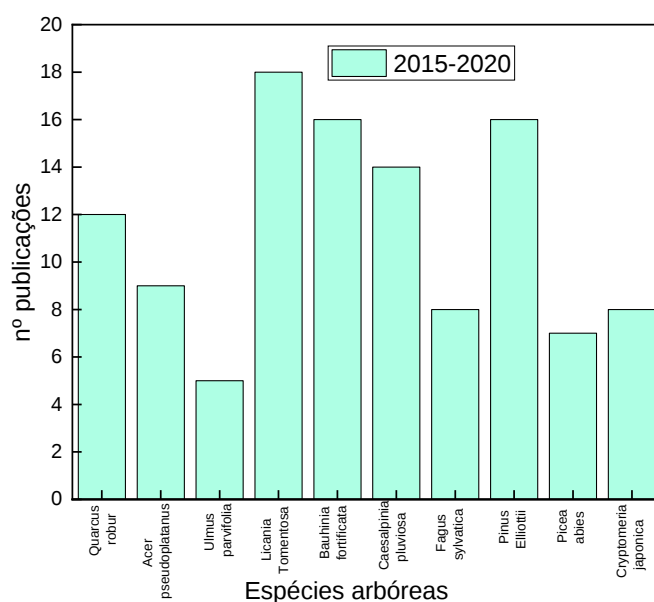
Dessa forma, a partir de uma revisão na literatura, por meio de trabalhos delimitados nessa temática, acerca de espécies arbóreas empregadas no biomonitoramento da avaliação da qualidade ambiental do solo e da atmosfera nos períodos de 2015 a 2020, bem como o georreferenciamento das espécies arbóreas, presentes na área delimitada, entre dois lineamentos de falha geológica, demonstrada pelo círculo amarelo (**Figura 1**), selecionaram-se as espécies a serem estudadas na presente pesquisa, a fim de avaliar a dinâmica da poluição ambiental e seu efeito nos anéis arbóreos de crescimento.

Ressalta-se que, o período selecionado para a revisão bibliográfica, contempla os últimos cinco anos, a partir do desenvolvimento da presente pesquisa. Além disso, a fim de delimitar as pesquisas desenvolvidas acerca de espécies arbóreas aplicadas no monitoramento ambiental para verificação da qualidade ambiental, selecionaram-se apenas seis periódicos com qualificação qualis CAPES A2, visto que esses, majoritariamente abordavam acerca da temática em relação aos outros periódicos. As palavras-chaves pesquisadas foram: “*Biomonitoring*”, “*tree rings*”, “*dendrocronology*”, “*dendrochemistry*”.

Os periódicos selecionados foram: *Journal of Environmental Quality*; *Journal of Environmental Sciences*; *Environmental Science and Pollution Research*; *Environmental Monitoring and Assessment*; *Environmental Chemistry Letters*; *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*.

A **Figura 4** apresenta o gráfico do número de publicações das principais espécies arbóreas aplicadas no monitoramento ambiental, em periódicos relacionadas a temática.

Figura 4 – Revisão bibliográfica das principais espécies arbóreas aplicadas no monitoramento ambiental



Fonte: Elaborado pelo autor conforme a revisão da literatura

Para seleção das espécies arbóreas amostradas consideraram-se os seguintes critérios:

- (i) Potencial das espécies para realizar estudos dendrocronológicos no biomonitoramento da qualidade do ar;
- (ii) espécies comuns no local de estudo;
- (iii) existência de número mínimo de exemplares para a amostragem estatística confiável;
- (iv) árvores isentas de danos mecânicos e da presença de agentes xilófagos deterioradores;
- (v) parâmetros de altura e diâmetro arbóreos (DAP), sendo a altura máxima da primeira ramificação até 3 metros e mínima de 1,5 metros evitando o efeito de ressuspensão e diâmetro arbóreo até 30 centímetros.

O **Quadro 1** apresenta as espécies arbóreas biomonitoras selecionadas para o desenvolvimento da pesquisa.

Quadro 2 - Identificação das coordenadas geográficas dos locais de coleta na Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT/UNESP), campus Presidente Prudente/SP e táxons.

PONTOS	COORDENADAS	TÁXONS
P1	22° 07' 24. 00'' S 51° 24' 35. 57'' W	<i>Licania tomentosa</i> (Oiti)
P2	22° 07' 20. 15'' S 51° 24' 33. 54'' W	<i>Licania tomentosa</i> (Oiti)
P3	22° 07' 21. 36'' S 51° 24' 33. 64'' W	<i>Caesalpinia pluviosa</i> (Sibipiruna)
P4	22° 07' 21. 13'' S 51° 24' 33. 50'' W	<i>Licania tomentosa</i> (Oiti)
P5	22° 07' 22. 77'' S 51° 24' 26. 99'' W	<i>Caesalpinia pluviosa</i> (Sibipiruna)
P6	22° 07' 20. 15'' S 51° 24' 33. 54'' W	<i>Licania tomentosa</i> (Oiti)
P7	22° 07' 23. 31'' S 51° 24' 33. 45'' W	<i>Caesalpinia pluviosa</i> (Sibipiruna)
P8	22° 07' 20. 99'' S 51° 24' 32.13'' W	<i>Caesalpinia pluviosa</i> (Sibipiruna)
P9	22° 07' 17. 32'' S 51° 24' 25.22 '' W	<i>Caesalpinia pluviosa</i> (Sibipiruna)
P10	22° 07' 23. 56'' S 51° 24' 35. 44'' W	<i>Licania tomentosa</i> (Oiti)
P11	22° 07' 17. 26'' S 51° 24' 24.27 '' W	<i>Licania tomentosa</i> (Oiti)
P12	22° 07' 18. 33'' S 51° 24' 27. 24'' W	<i>Caesalpinia pluviosa</i> (Sibipiruna)
P13	22° 07' 20. 99'' S 51° 24' 32.13'' W	<i>Licania tomentosa</i> (Oiti)
P14	22° 07' 20. 12'' S 51° 24' 32. 43'' W	<i>Caesalpinia pluviosa</i> (Sibipiruna)
P15	22° 07' 25. 55'' S 51° 24' 36. 46'' W	<i>Licania tomentosa</i> (Oiti)
P16	22° 07' 20. 11'' S 51° 24' 32. 38'' W	<i>Licania tomentosa</i> (Oiti)

Fonte: Elaborado pelo autor conforme o georreferenciamento das espécies arbóreas.

Em cada ponto descrito no **Quadro 2** coletou-se anéis arbóreos de crescimento para a determinação do teor de chumbo total e aferir os níveis de exposição à poluição ambiental, conforme explanação nos próximos itens.

5.4. Método de amostragem

Mediante ao georreferenciamento das espécies arbóreas, as amostras do lenho foram coletadas segundo o método não destrutivo, que “consiste no corte de seções transversais finos das cascas e dos anéis de crescimento – círculos concêntricos na parte interna do tronco – na altura do peito das plantas (DAP) a 1,3 metros do solo” (SCHWEINGRUBER, 2012, p.

218), por meio da inserção de uma sonda metálica adaptada com 10 cm de comprimento e 5 mm de diâmetro, com prolongamento metálico inferior (**Figura 6**), acoplada em um equipamento motorizado no tronco das árvores (**Figura 7**).

Figura 6 - Equipamento de coleta



Fonte: o autor

Figura 7 - Coleta das amostras.



Fonte: o autor

Para evitar fungos nas lesões causadas na coleta das amostras, utilizou-se uma solução saturada de sulfato de cobre e óxido de cálcio. Para fechar o orifício, inseriu-se uma rolha atrás do câmbio do xilema para permitir a formação de calo (MOREIRA, 2018).

Para evitar contaminação por resíduos de metais do instrumento, o equipamento de coleta das amostras foi lavado em *extran* neutro e água deionizada a cada inserção da sonda (adaptado WATMOUGH et al., 2002).

Posteriormente, as amostras foram identificadas e armazenadas em sacos plásticos hermeticamente fechados e esterilizados, para posteriores análises no Laboratório de Instrumentação e Análises, do departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT/UNESP) do município de Presidente Prudente- SP.

5.5. Anatomia dos anéis de crescimento do lenho das árvores.

Para a obtenção de imagens das amostras do lenho arbóreo, fixaram-se as amostras em seções transversais para examiná-las em microscópio eletrônico, acoplado a uma câmera

digital para descrição anatômica macroscópica e microscópica do lenho arbóreo (50x, barra 1mm).

A estrutura anatômica dos anéis de crescimento dos lenhos arbóreos foi descrita conforme as normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA). A lista de características macroscópicas para identificação de madeiras da associação internacional de anatomistas da madeira (IAWA COMMITTEE, 2004), bem como os fundamentos de identificação das características dos anéis arbóreos das espécies vegetais aplicadas no monitoramento ambiental descritas por Speer (2010).

Evidencia-se que o principal intuito dessa descrição foi a caracterização dos anéis arbóreos, por meio da especificação de padrões de células constituintes do lenho inicial e tardio para determinação da formação dos anéis de crescimento e anualidade.

5.6. Dendrocronologia dos anéis arbóreos de crescimento

Para análise dos anéis de crescimento do lenho das árvores das espécies arbóreas, as amostras do lenho foram polidas em seção transversal com uma lixa abrasiva, de modo a destacar os limites dos anéis arbóreos de crescimento.

Os anéis arbóreos das amostras do lenho foram identificados e marcados sob um microscópio eletrônico acoplado a uma câmera digital. Posteriormente, as amostras do lenho foram digitalizadas com resolução 1200 dpi.

A construção das séries cronológicas dos anéis de crescimento para cada amostra do lenho foi determinada pelo software *Image Pro-Plus*, acoplado ao programa estatístico COFECHA e ARSTAN. Os anéis de crescimento foram demarcados anualmente (BOVI et al., 2018).

A padronização da demarcação dos anéis de crescimento de cada espécie foi proposta por FREDIÉRE (2005). De acordo com FREDIÉRE (2005), a padronização corrige a heterogeneidade da variância de largura do anel de crescimento, de modo a considerar que o lenho arbóreo anual principia-se pela demarcação dos estriamentos duplos no alburno das espécies vegetais. Dessa forma, o autor correlaciona esse parâmetro com a taxa anual de crescimento de cada espécie arbórea.

5.7. Pré – tratamento das amostras

As amostras foram polidas com óxido de alumínio para evitar contaminação e limpas com ar pressurizado (LOCOSSELLI et al., 2019).

Posteriormente, as amostras do lenho arbóreo foram seccionadas no plano longitudinal, com lâmina de metal previamente limpa, a aproximadamente 80% do seu raio, desconsiderando

o segmento de 20% da amostra próximo da casca (COOK et al., 2013), conforme apresentada na **Figura 8**.

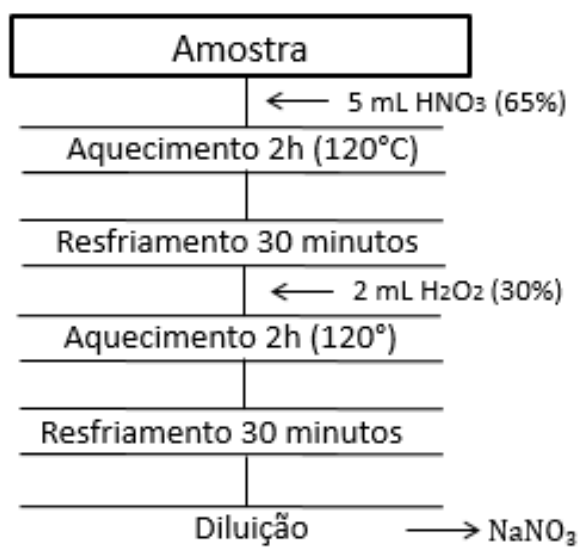
Figura 8 - Amostra seccionada no plano longitudinal.



Fonte: o autor

Em seguida, as amostras foram submetidas a um procedimento de extração em meio ácido, Trata-se de um processo simples e rápido, de destruição da matéria orgânica, sem volatilização dos contaminantes, baseado no método proposto por Ogner (1983), com algumas reestruturações, conforme apresentado na **Figura 9**.

Figura 9 - Fluxograma referente a etapa de pré-tratamento



Fonte: Adaptado do método proposto por Ogner (1983)

Inicialmente, tomaram-se as massas de cada amostra, com o intuito de determinar os níveis de exposição à poluição ambiental.

Posteriormente, colocou-se a massa dos anéis arbóreos de cada amostra em um tubo de ensaio de 100 mL ao qual foram adicionados 5 mL de ácido nítrico concentrado 65% (HNO_3) (v/v) e em seguida levado ao bloco digestor permanecendo por 120 minutos a uma temperatura de 120 °C. Após este período, adicionou-se 2 mL de peróxido de hidrogênio 30% (H_2O_2) (v/v).

Subsequentemente, os tubos foram resfriados à temperatura ambiente. Após esse intervalo, o material resultante foi diluído em nitrato de sódio concentrado. As amostras foram armazenadas em recipiente plástico previamente esterilizado (adaptado MOREIRA et al., 2005).

5.8. Otimização dos parâmetros experimentais

Estudos foram realizados para se obter melhores condições para a análise de chumbo total nos anéis arbóreos de crescimento via técnica eletroquímica.

Os parâmetros experimentais otimizados foram: tempo de pré-concentração, volume da amostra e intervalo de varredura de potencial para identificação do metal. Dessa forma, um parâmetro experimental foi alterado, enquanto os demais foram fixados.

Os parâmetros experimentais otimizados para as análises estão listados na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Parâmetros voltamétricos utilizados na determinação de Pb^{2+} total por voltametria de pulso diferencial com redissolução anódica em amostras de anéis arbóreos de crescimento

PARÂMETROS EXPERIMENTAIS	VALORES
Tempo de purga com N_2	30 s
Amplitude de pulso	50 mV
Velocidade de varredura	5 mV s ⁻¹
Potencial de deposição	-1,2V
Intervalo de potencial de varredura para Pb^{2+}	-0,6 V à -0,2 V vs. Ag/AgCl (KCl 3M)
Volume da amostra	5,0 mL
Tempo de deposição	180 s

5.9 Análise voltamétrica: Determinação e quantificação de chumbo total nos anéis arbóreos de crescimento.

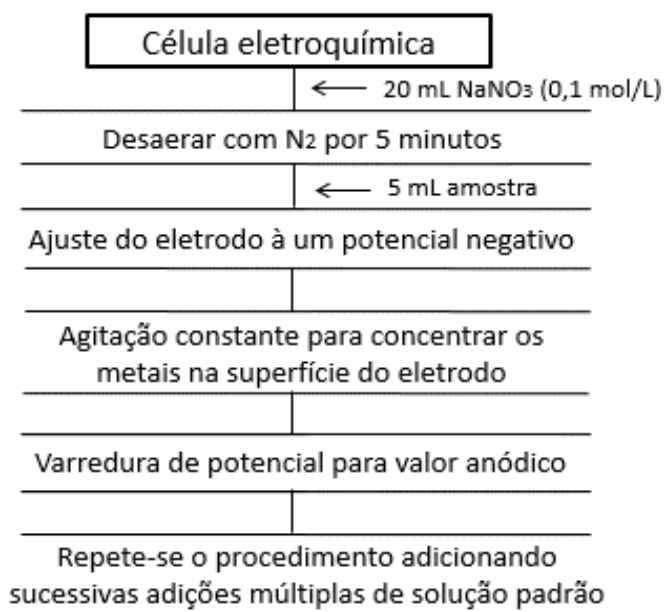
Técnicas voltamétricas que utilizam o eletrodo de mercúrio como eletrodo de trabalho proporcionam meios para que as análises efetuadas sejam rápidas, fácil execução, simultâneas, precisas e de baixo custo.

A técnica voltamétrica permite detecção de elementos com concentrações inferiores a 10^{-8} mol L⁻¹, em virtude da interação dos íons metálicos com a superfície do eletrodo, atingindo o interior da gota de mercúrio, de modo a resultar numa amálgama, o que caracteriza a sensibilidade da presente técnica para estudos de espécies que são encontradas em baixas concentrações no ambiente (MENDOZA et al., 2015; SCHOLZ, 2015).

Vale ressaltar que, a presente técnica foi aplicada em outros estudos como, na determinação de chumbo em materiais particulados, água e solo (MOREIRA-SILVA, et al., 2017; MAROUBO, et al., 2021)

As concentrações de chumbo total nos anéis arbóreos das amostras foram analisadas e quantificadas pela técnica de voltametria de pulso diferencial por redissolução anódica por meio de um polarógrafo processador 797 VA (Metrohm).

A célula eletroquímica para as medidas polarográficas foi constituída por um eletrodo de mercúrio no modo gota pendente (HMDE - *Hanging Mercury Drop Electrode*) como eletrodo de trabalho, de acordo com o procedimento da Metrohm descrito em VA Application Note nº V-173, com adaptações, conforme apresentado na **Figura 10**.

Figura 10 - Fluxograma referente à metodologia de análise de chumbo (Pb).

As análises de chumbo total foram executadas em triplicatas em um processador voltamétrico modelo 797 VA Computrace (Metrohm). A cela eletroquímica convencional foi constituída por três eletrodos, sendo o eletrodo de mercúrio no modo gota pendente (HMDE - *Hanging Mercury Drop Electrode*) como trabalho, um eletrodo auxiliar com um fio de platina, um eletrodo de referência o eletrodo de Ag/AgCl em KCl 3 mol L⁻¹.

A fim de obter os voltamogramas, a partir dos estudos realizados acerca dos requisitos operacionais por meio da voltametria de pulso diferencial por redissolução anódica, inicialmente, adicionou-se à célula eletroquímica 20 mL de nitrato de sódio (0,1 mol/L), sendo esse o eletrólito suporte (branco) utilizado para as determinações de chumbo (Pb).

Em seguida, borbulhou-se com gás nitrogênio, por um período de 5 minutos, para garantir a ausência de oxigênio na solução. Visto que, o metal potencialmente tóxico é depositado no eletrodo de mercúrio por meio da eletrólise dos íons, adicionou-se 5 mL da amostra de pH ácido e posteriormente ajustou o potencial do eletrodo para um valor suficientemente negativo (potencial catódico) de forma que ocorresse a redução dos íons à sua forma metálica, os quais são eletrodepositados sobre a gota pendente de mercúrio, no eletrodo.

Posteriormente, realizou-se a etapa de pré-concentração sob agitação constante em -1,2 V (vs. Ag/AgCl) para concentrar o metal na superfície do eletrodo a partir de um volume total de 25 mL por 180 segundos e em seguida deixou-se a solução em repouso por alguns segundos para o sistema entrar em equilíbrio.

Após esta etapa, realizou-se uma varredura de potencial no sentido anódico, em um intervalo de -0,6 a -0,2 V, e velocidade de varredura de 5 mV s⁻¹ no qual o analito (Pb) foi redissolvido para a solução, devido à sua reoxidação.

A obtenção do valor da corrente de pico correspondente ao chumbo foi realizada a partir da análise por adição múltipla de padrão, onde se efetuou sucessivas adições de 5 µL de solução padrão de Pb (II) $1,00 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$.

As análises das amostras foram realizadas individualmente e em triplicata. O reagente usado foi de grau ultra puro $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (Sigma-Aldrich).

5.10 Análises estatísticas dos dados: Análise de Componentes Principais (PCA)

A análise de componentes principais (*Principal Component Analysis* – PCA) é uma análise da estatística multivariada fundamentada em modificar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais (*Principal component* - PC). Os componentes principais apresentam características próprias, sendo independentes entre si, e estimados com o intuito de obter o máximo de informação em relação da variação total integrada nos dados.

Em suma, a análise de componentes principais pauta-se na determinação comportamental de uma variável ou grupos de variáveis em relação às demais. Essa análise agrupa os indivíduos segundo suas variâncias, de acordo com o comportamento do indivíduo dentro da população, representado pela variação do conjunto de características que define o indivíduo (MENDONÇA e SOUZA, 2011).

Métodos de análises multivariados permitem compreender regularidades no comportamento das variáveis e para testar formas diferentes de associação entre elas. Dessa forma, foram realizadas análise descritiva dos resultados, construção de gráficos e tabelas, bem como mapas para verificação dos dados.

Os dados obtidos pela técnica de voltametria foram comparados com o valor de referência estabelecido por Kabata-Pendias e Pendias (2010) e sequentemente submetidos à análise estatística multivariada de Análise de Componentes Principais (PCA). Por meio dos dados obtidos, plotou-se uma planilha de correlação de dados de 206 amostras de anéis arbóreos analisados, até o presente momento, de modo a averiguar a influência da sazonalidade como temperatura, umidade relativa, precipitação, na concentração de chumbo total anualmente.

A planilha foi elaborada no software Statistica 7 para o tratamento logarítmico e estudo exploratório dos resultados. Desse forma, determinaram-se as componentes principais mais significativas, de modo a selecionar as componentes que apresentaram maior percentual, com o intuito de obter o maior percentual na variabilidade dos resultados.

Com o intuito de verificar a distribuição espaço-temporal da concentração de

chumbo total nos anéis concêntricos de árvores, realizou-se uma análise multivariada pelo método de Análise de Componentes Principais (PCA). Nesse método, foram aplicados os dados obtidos nas amostragens de abril/2020 e abril/2022.

O software empregado adota o critério de Kaiser-Guttman, conhecido como *Eigenvalue*, para uma análise mais precisa (PATIL et al., 2008). Este critério propõe uma análise rápida e objetiva do número de fatores a ser retido. Cada fator retido apresenta um *Eigenvalue* que é referido ao total da variabilidade explicada por este fator (SCHMITT, 2011).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Caracterização dos anéis de crescimento de estudo: anatomia do lenho

A partir da obtenção de imagens das estruturas anatômicas dos anéis de crescimento do lenho arbóreo, por meio do microscópio eletrônico acoplado a uma câmera digital, verificou-se que as espécies arbóreas *Caesalpinia pluviosa* da família *Fabaceae* exibiram anéis de crescimento demarcados fracamente pelo estreitamento radial (círculo amarelo) e/ou maior espessura da parede de fibras no lenho tardio (círculo azul), como analisado nos lenhos arbóreos das espécies botânica pertencentes aos pontos P8, especificamente.

A **Figura 11** destaca as anomalias observadas na avaliação dos lenhos vegetais das espécies arbóreas *Caesalpinia pluviosa* da família *Fabaceae*.

Figura 11 - Resolução microscópica das anomalias dos lenhos arbóreos das espécies arbóreas *Caesalpinia pluviosa* (ampliada 50x)



Fonte: Imagem obtida a partir da resolução microscópica da espécie arbórea do ponto P8.

As anomalias observadas nos lenhos arbóreos das espécies arbóreas *Caesalpinia pluviosa* da família *Fabaceae* derivaram da presença de metais fitotóxicos, delimitada nos anéis arbóreos de crescimento, aplicados no método de monitoramento ambiental (CURY; FILHO, 2012).

Conforme a análise dos lenhos das árvores das espécies arbóreas *Licania tomentosa* da família *Chrysobalanaceae*, de modo geral observou-se que as espécies botânicas, apresentaram anéis arbóreos distintos, largos e estreitos, marcados por parênquima marginal e tênue alargamento de raios no limite do anel (círculo verde), como verificado nos lenhos arbóreos das espécies botânicas pertencentes aos pontos P1, especificamente.

A **Figura 12** apresenta as anomalias observadas na avaliação dos lenhos vegetais das

espécies arbóreas *Licania tomentosa* da família *Chrysobalanaceae*.

Figura 12 - Resolução microscópica das anomalias dos lenhos arbóreos das espécies arbóreas *Licania tomentosa* (ampliada 50x).



Fonte: Imagem obtida a partir da resolução microscópica da espécie arbórea do ponto P1.

Em suma, averigou-se que a exposição integral das espécies arbóreas analisadas ocasionou a estrutura fisiológica vegetal dos lenhos arbóreos, de modo a refletir na atividade cambial e nos anéis de crescimento.

Segundo Teixeira et al. (2019) a sazonalidade como a variação de temperatura, pluviosidade

, exposição ao sol, entre outros parâmetros ambientais, resulta na formação de zonas de crescimento morfológica diferenciadas. Turkeyilmaz (2019) complementa que há correlação entre as variáveis ambientais como a precipitação, temperatura, umidade relativa anual com variação da largura dos anéis.

Dessa forma, por meio das análises efetuadas e os estudos relatados na literatura, pode-se verificar que, as variabilidades dos anéis de crescimento das espécies arbóreas *Licania tomentosa* e *Caesalpinia pluviosa*, resultam das sazonalidades ocorridas na área de estudo. Em suma, em ambas as espécies arbóreas observaram-se anéis arbóreos de crescimento largos e estreitos. De acordo com Buntgen et al. (2012), anéis arbóreos largos indicam a ocorrência de chuvas abundantes nos respectivos anos. Entretanto, anéis arbóreos mais estreitos indicam a insuficiência de chuvas anualmente.

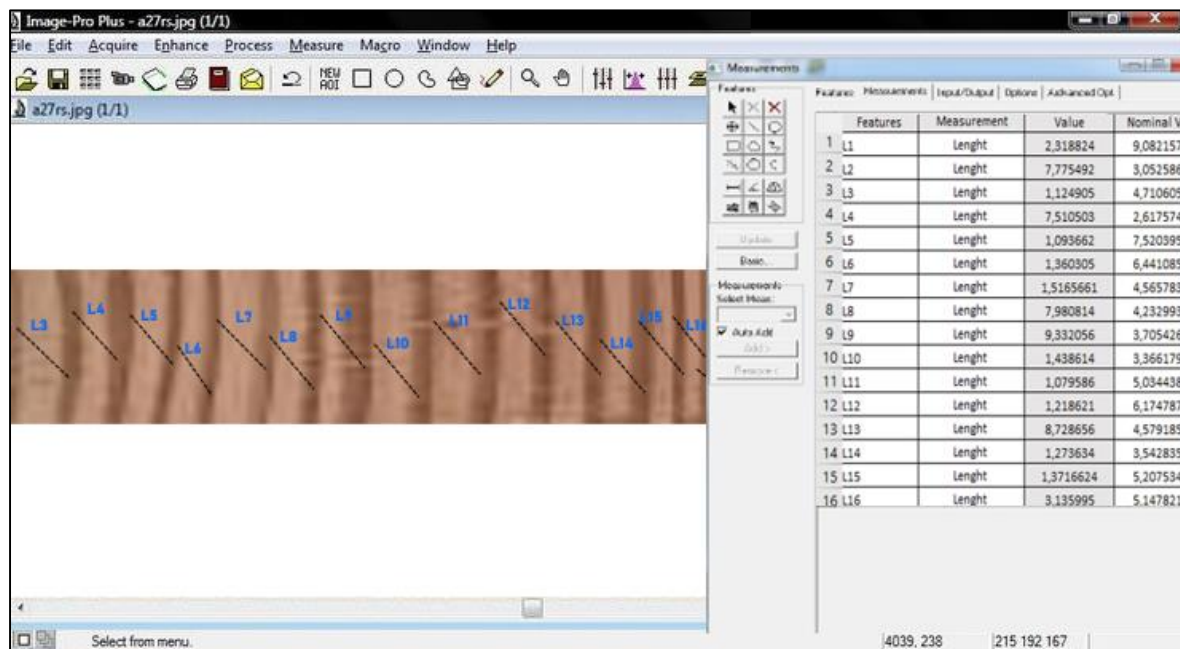
6.2. Caracterização dos anéis de crescimento de estudo: dendrocronologia

Com o intuito de construir os índices cronológicos, para cada uma das espécies arbóreas analisadas, os anéis arbóreos de crescimento das amostras do lenho, foram identificados e marcados sob um microscópio eletrônico acoplado a uma câmera digital e, em seguida, as imagens do lenho foram digitalizadas.

O índice cronológico foi construído por meio das ferramentas contidas no software Image Pro-Plus, acoplado ao programa estatístico COFECHA e ARSTAN (HELAMA et al., 2004).

Destaca-se que, o benefício da digitalização e medição no software Image Pro-Plus, encontra-se na medição de cada anel arbóreo sobre a imagem da amostra, de modo a ocorrer a qualquer instante, numa reinspeção de medição, conforme apresentado na **Figura 13**.

Figura 13 - Demarcação dos anéis arbóreos de crescimento.



Fonte: Imagem obtida pelo autor conforme os dados adquiridos no software.

Todas as amostras foram analisadas similarmente. Para otimizar o método aplicado, os anéis de crescimento foram demarcados anualmente (BOVI et al., 2018), conforme a metodologia proposta por FREDIÉRE (2005).

Em suma, a metodologia baseia-se na correção da heterogeneidade da variância de largura do anel arbóreo a partir da padronização, de modo que a demarcação do lenho arbóreo anual principia-se pelo estriamentos duplos no alburno das espécies vegetais. Ressalta-se que cada anel arbóreo corresponde à quantidade de madeira produzida anualmente (SCHWEINGRUBER, 2012).

Evidencia-se que no presente momento do estudo, foram construídos os índices cronológicos de dezesseis espécies arbóreas, a partir das ferramentas contidas no software Image Pro-Plus, de modo igualitário, por meio da metodologia estabelecida por FREDIÉRE (2005).

Em suma, as amostras do lenho extraída das árvores mostraram variação no número de anéis de crescimento. A **Tabela 2** mostra as espécies arbóreas e suas respectivas idades.

Tabela 2 - Índice cronológico das amostras do lenho das espécies arbóreas analisadas

Família	Espécie	Ponto	Ano (s)
Chrysobalanaceae	<i>Licania tomentosa</i>	P1	16
		P2	16
		P4	13
		P6	15
		P10	15
		P11	22
		P13	15
		P15	13
		P16	18
Fabaceae	<i>Caesalpinia pluviosa</i>	P3	11
		P5	8
		P7	8
		P8	16
		P9	11
		P12	16
		P14	16

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas análises dendrocronológicas das amostras

De acordo com Schweingruber (2012), as espécies arbóreas em condições ecológicas similares no aspecto fisiológico, exibem sincronismo na largura dos anéis de crescimento, e conseqüentemente propicia determinar a cronologia. Desse modo, o pesquisador evidencia a importância dessas correlações para avaliar a influência das condições micro ambientais nas espécies arbóreas do local de amostragem.

6.3. Avaliação da concentração de chumbo total nos anéis de crescimento

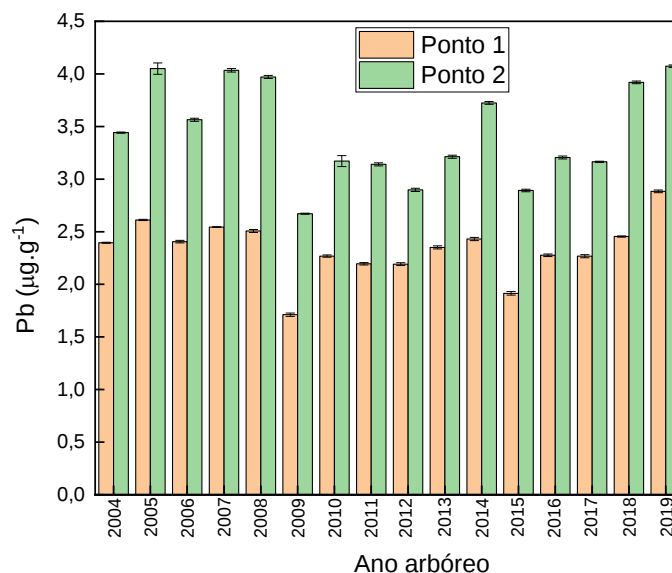
De modo, a considerar que os anéis arbóreos de crescimento das famílias botânicas analisadas, são utilizados como biomonitoras em pesquisas de monitoramento ambiental, em um intervalo de tempo (PADILLA, 2002), por meio da técnica de voltametria de pulso diferencial por redissolução anódica, pode-se determinar a concentração de chumbo total em cada amostra dos anéis de crescimento das espécies arbóreas analisadas.

Ressalta-se que, para fins pedagógicos no presente documento, a fim de avaliar a tendência da variação da concentração de chumbo total nos anéis concêntricos das mesmas espécies, selecionaram pontos específicos, os quais obtiveram variações expressivas na concentração de chumbo total, bem como índices cronológicos semelhantes. Salienta-se que, cada espécie arbórea representa um ponto específico no georreferenciamento.

A **Figura 14** apresenta os valores da concentração de chumbo total em cada amostra dos anéis de crescimento de árvores das espécies arbóreas *Licania tomentosa* representadas pelos

pontos 1 e 2.

Figura 14 – Valores de concentração de chumbo ($\mu\text{g.g}^{-1}$) e desvio padrão ($\text{DP}\pm$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea *Licania tomentosa*. Análise de chumbo efetuada em triplicata ($n=3$). Coleta efetuada em abril de 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor conforme os resultados obtidos nas amostras dos lenhos arbóreos entre abril/2020 a março/2022.

Em suma, mediante aos dados obtidos, pode-se observar que a amostra correlata ao ano de 2019, bem como o ano equivalente de 2007, respectivamente, obtiveram maiores concentrações de chumbo total. No entanto, as amostras correspondentes aos anos de 2015 e 2009, resultaram em menores concentrações de chumbo total.

De acordo com Tomazello Filho et. al. (2001) as variáveis espaço-temporal como precipitação, temperatura e o local de amostragem, são fatores que interferem na atividade cambial e na morfologia dos lenhos arbóreos. Segundo Büntgen et al. (2012) a insuficiência pluviométrica anual intensifica a atividade cambial dos lenhos arbóreos para o suprimento das espécies arbóreas durante esse período, o que resulta em anéis arbóreos estreitos e na formação de zonas de crescimento morfológica e quimicamente diferenciadas.

De acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), dentre os últimos dezesseis anos, os anos de 2019 e 2007 houveram menores períodos chuvosos na cidade de Presidente Prudente, em relação aos anos de 2015 e 2009.

Correlato ao estudo de Rocha et al (2016) que investigaram os lenhos arbóreos das espécies arbóreas *Licania tomentosa* e *Calophyllum brasiliense*, ambas da família Chrysobalanaceae, em relação a atividade cambial nos períodos úmidos e secos. Os pesquisadores verificaram que, em período seco há alta concentração de metais nos lenhos arbóreos, devido a intensificação da atividade cambial. Entretanto, em períodos úmidos há baixa concentração de metais nos anéis arbóreos, visto que há redução dos materiais particulados

atmosféricos e o processo de lixiviação dos metais no solo, de modo a ocasionar o transporte radicular da espécie arbórea.

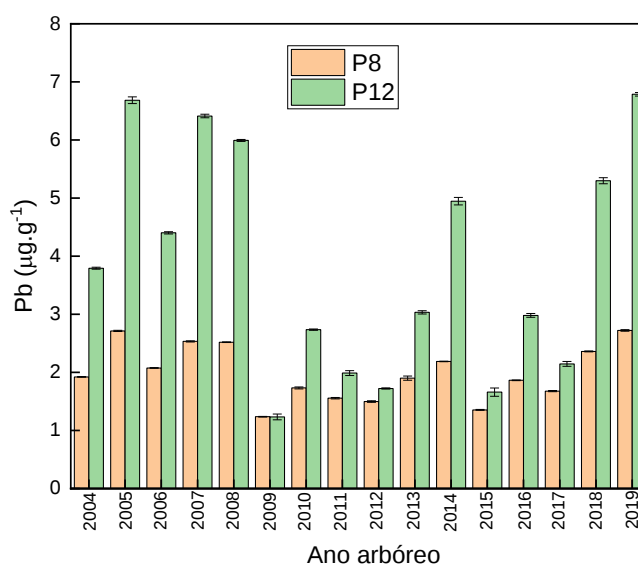
Pode observar a similaridade na variação dos resultados das espécies arbóreas P1 e P2, dado que em períodos secos de insuficiência pluviométrica, há alta concentração de metais nos anéis arbóreos, entretanto, em períodos úmidos de abundância pluviométrica há baixa concentração de metais nos lenhos arbóreos, devido a intensificação da atividade cambial por absorção via transporte radicular em períodos secos, em comparação aos períodos úmidos, como mencionado por Büntgen et al. (2012).

Correlato ao estudo de Lüttge (2017) acerca da dendroclimatologia das espécies *Licania tomentosa* e *Tectona grandis* L., pode-se observar a mesma tendência fisiológica e morfologia dos lenhos arbóreos estudados, o que corrobora com o presente estudo.

No que tange, ao local de amostragem das espécies arbóreas, presupõe-se que a espécie arbórea P1 está localizada distante da provável falha geológica, conforme os valores obtidos. Entretanto, a espécie arbórea P2 está localizada presumivelmente próxima da provável falha geológica, dado que a concentração de chumbo total, corrobora com o valor da concentração de chumbo total de $7,9088 \mu\text{g.g}^{-1}$ obtido no ponto 3, no estudo de Moreira-Silva et al. (2017), ao analisar o solo do presente ponto de amostragem. Ressalta-se que o valor máximo de chumbo no solo segundo a Cetesb é de $2,40 \mu\text{g.g}^{-1}$.

Nessa mesma perspectiva, analisou os dados de concentração de chumbo total nos anéis de crescimento das espécies arbóreas *Caesalpinia pluviosa*, representadas pelos pontos 8 e 12, como apresentado na **Figura 15**.

Figura 15 – Valores de concentração de chumbo ($\mu\text{g.g}^{-1}$) e desvio padrão ($\text{DP}\pm$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea *Caesalpinia pluviosa*. Análise de chumbo efetuada em triplicata ($n=3$). Coleta efetuada em abril de 2020.



Por meio dos valores obtidos, pode-se verificar que as amostras correspondentes aos anos de 2009 e 2015, resultaram em menores concentrações de chumbo total. Entretanto, as amostras equivalentes aos anos de 2019, 2007 e 2005, obtiveram maiores concentrações de chumbo total.

De acordo com o estudo de Turkyilmaz et al. (2019), ao analisar a morfologia dos lenhos arbóreos das espécies arbóreas em detrimento das variáveis ambientais. Os pesquisadores concluíram que o georreferenciamento dos locais de amostragem das espécies analisadas, bem como as variáveis ambientais nos períodos de análise, interferiu na concentração de metais essenciais e não essenciais nos anéis de crescimento arbóreos.

Tendo em vista que, anéis arbóreos estreitos apontaram maiores concentrações de metais, por meio das vias de transporte radicular intensificado em períodos secos, no entanto, anéis de crescimento extensos indicaram decréscimo na concentração dos metais presente no lenho arbóreo, devido ao primacial transporte passivo foliar e córtex, em períodos úmidos.

Dessa forma, pode-se inferir que a insuficiência pluviométrica ocasionou no aumento da concentração de chumbo total nas amostras, em contrapartida a abundância pluviométrica resultou no decréscimo dos valores de concentrações de chumbo total nos anéis de crescimento arbóreos, o que corroboram com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de modo que entre os anos de 2019 e 2007 decorreram menores períodos chuvosos na área de estudo, ao contrário dos anos de 2015 e 2009 em que houveram maiores períodos chuvosos no local de amostragem.

Pode-se observar a similaridade na tendência ambiental climatológica da variação dos resultados das espécies arbóreas, representada pelos pontos 1 e 2. Entretanto, em relação ao georreferenciamento da área do estudo, da espécie arbórea analisada, em comparação com os dados do ponto 12, verificou-se que a espécie vegetal, representada pelo ponto 8, localiza-se presumivelmente distante da provável fratura geológica induzida.

Correlato ao estudo de Moreira-Silva et al. (2017), os valores de concentração de chumbo total obtidos na espécie arbórea, representada pelo ponto P12, pode-se inferir que há alta probabilidade dessa espécie se encontrar próximo as possíveis falhas geológicas. Uma vez que, ao analisarem o solo do presente ponto de amostragem representado pelo ponto P2, os resultados das concentrações de chumbo total foram expressivos, em torno de $8,4330 \text{ ug.g}^{-1}$, o que excede o valor máximo permitido de chumbo no solo segundo a Cetesb é de $2,40 \text{ ug.g}^{-1}$, de modo a constatar a possível proximidade da espécie arbórea da provável fratura geológica induzida.

Além disso, segundo Kabata-Pendias e Pendias (2010) pode haver uma grande variedade na absorção dentro de uma mesma espécie, em detrimento da diferença na capacidade de retenção dos elementos absorvidos nas raízes, ou variação na carga no xilema. Conforme o

estudo de Kabata-Pendias e Pendias (2010), a concentração fitotóxica de chumbo total é a partir de $2,9964 \mu\text{g. g}^{-1}$, dessa forma a espécie vegetal representada pelo ponto 12, conforme o georreferenciamento, apresentaram valores superiores a este limite.

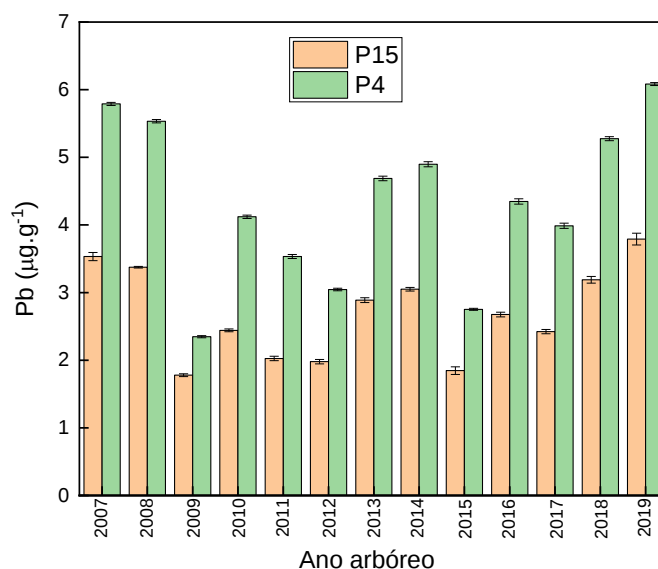
Segundo Sousa Soares et al. (2001), o mecanismo do acúmulo de metais não essenciais em função da disponibilidade no solo, ocorre na endoderme via transporte radial da raiz, fundamentalmente por rota apoplástica, e no estelo os metais seguem via xilema, já a influência do material particulado sedimenta-se via foliar por meio da absorção de materiais particulados atmosféricos.

O câmbio vascular é o meristema responsável pelo crescimento dos anéis de arbóreos, essa atividade de cambio tem influência no fluxo de deposição de material particulado atmosférico nas espécies arbóreas devido as vias de absorção, e é governada por fatores ambientais e climáticos do sítio onde a espécie habita (VENEGAS-GONZÁLEZ et al., 2016).

Desse modo, correlaciona-se a insuficiência pluviométrica dos meses de seca, com a intensificação da atividade cambial das espécies arbóreas, via transporte radicular, em comparação com períodos úmidos, de forma a aumentar a concentração de elementos potencialmente tóxicos, especificamente o chumbo (MARCATI; ANGYALOSSY; EVERT, 2006; WORBES, 1985).

Na mesma vertente, avaliou os valores da concentração de chumbo total dos anéis de crescimento da espécie arbórea *Licania tomentosa*, representadas pelos pontos 15 e 4, no georreferenciamento do local de amostragem. A **Figura 16** apresenta os valores de concentração de chumbo total dos anéis de crescimento da espécie analisada.

Figura 16 - Valores de concentração de chumbo ($\mu\text{g. g}^{-1}$) e desvio padrão ($\text{DP}\pm$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea *Licania tomentosa*. Análise de chumbo efetuada em triplicata ($n=3$). Coleta efetuada em abril de 2020.



março/2022.

Por meio dos dados obtidos foi possível constatar que os anos arbóreos 2019 e 2007 obtiveram maiores valores de concentrações de chumbo total. No entanto, os anos arbóreos 2009 e 2015, resultaram em menores concentrações de chumbo total.

Segundo Alvarado et al. (2010), as variáveis ambientais e o sitio de amostragem são fatores que interferem na atividade cambial e na morfologia dos anéis concêntricos. Como descrito o mecanismo de absorção de elementos traços em Kabata-Pendias e Pendias (2010), o estágio de desenvolvimento da espécie pode contribuir como fator da concentração.

Tendo em vista que, de acordo com Marcati; Angyalossy; Evert (2006); Worbes (1995) a insuficiência pluviométrica anual intensifica a atividade cambial dos anéis concêntricos para o suprimento das espécies vegetais em períodos secos, de modo a resultar no estreitamento dos anéis e o aumento da concentração de metais, conforme os dados do INMET, dentre os últimos 13 anos o ano de 2019 obteve menor índice pluviométrico aproximadamente 967,3 mm/ano, em relação aos períodos entre 2009 e 2015 com aproximadamente 2306,5 mm/ano. Sobre a correlação dendroclimatológica das espécie *Licania tomentosa* analisadas no presente trabalho, pode ser observada a mesma tendência fisiológica e morfológica dos anéis concêntricos estudados (LÜTTGE, 2017).

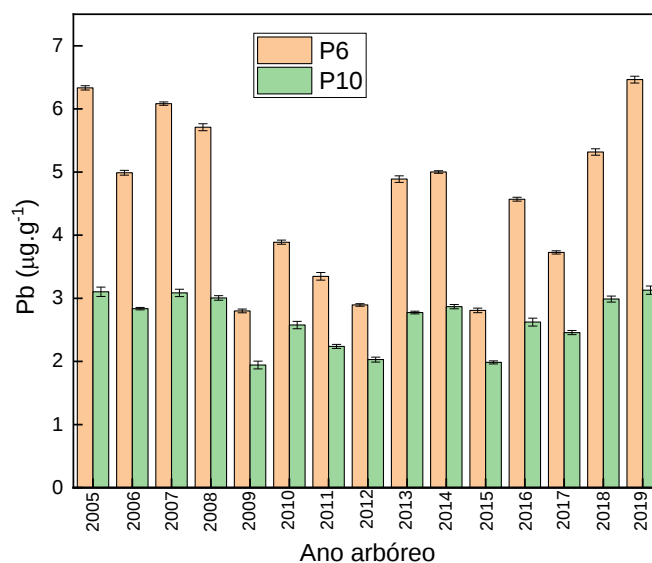
De modo a corroborar com o estudo de Moreira-Silva (2017), o georreferenciamento do local de amostragem da espécie arbórea, representada pelo ponto 4, pode se presumir que a espécie se localiza próximo a provável fratura geológica induzida e a espécie arbórea, representada pelo ponto 15, apresentou uma menor faixa de concentração de chumbo total, dado que o ponto 4 e o ponto 15 corroboram com os resultados do ponto P2 (8,4330 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e ponto P1 (6,8376 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), respectivamente da pesquisa do autor. Ressalta-se que o valor máximo de chumbo no solo segundo a Cetesb é de 2,40 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Em suma, verifica-se que algumas amostras os valores passam a concentração fitotóxica descrita no estudo de Kabata-Pendias e Pendias (2010) de 2,9964 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Além disso, de acordo com o estudo de Kabata-Pendias e Pendias (2010) trabalham o conceito que pode haver uma grande variedade na absorção dentro de uma mesma espécie, devido a diferença de retenção dos elementos absorvidos nas raízes, ou variação na carga do xilema.

Segundo Yang et al. (2019) é estabelecido a dependência da taxa de emissão de radônio com a precipitação, em que temos a relação que a variação sazonal aumenta a exalação do gás em tempos de seca e diminui em altas umidades.

A fim de analisar a concentração de chumbo total dos anéis de crescimento, representada pelos pontos 6 e 10 no georreferenciamento do local de amostragem, avaliou a concentração do metal potencialmente tóxico nos anéis concêntricos arbóreos. A **Figura 17** apresenta os valores da concentração de chumbo total nos anéis de crescimento da espécie arbórea analisada.

Figura 17 - Valores de concentração de chumbo ($\mu\text{g. g}^{-1}$) e desvio padrão ($\text{DP}\pm$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea *Licania tomentosa*. Análise de chumbo efetuada em triplicata ($n=3$). Coleta efetuada em abril de 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor conforme os resultados obtidos nas amostras dos lenhos arbóreos entre abril/2020 a março/2022.

Mediante os dados obtidos foi possível observar que as amostras equivalentes aos períodos arbóreos de 2019 e 2007 obtiveram a maior concentração de chumbo total. No entanto, as amostras correlatas aos anos arbóreos de 2015 e 2009 resultaram em menores concentrações de chumbo total.

Tendo em vista que, a delimitação dos anéis de crescimento, sua largura e diâmetro tem como fator principal a precipitação (PORTAL CAHUANA; LATORRACA, 2020). Outros fatores, além da precipitação, têm influência na morfologia dos lenhos arbóreos, como temperatura e o georreferenciamento (ALVARADO et al., 2010).

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no espaço temporal da espécie vegetal analisada, os períodos de 2007 e 2019 apresentaram menores períodos chuvosos na cidade de Presidente Prudente, nos últimos 15 anos, em relação aos períodos de 2009 e 2015.

O estudo realizado por Rocha et al. (2016), investigou espécies vegetais da família Chrysobalanaceae, dentre elas *Licania tomentosa*, em relação a atividade cambial nos períodos úmidos e secos. Os pesquisadores concluíram que em períodos secos, há alta concentração de metais nos lenhos arbóreos, e em períodos úmidos há baixa concentração deles.

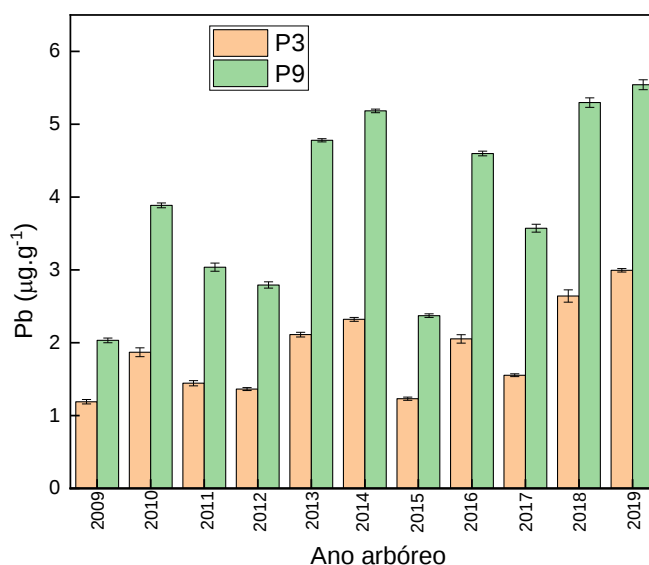
Dado isso apresentado, a causa do fenômeno de baixa pluviosidade aumenta a atividade cambial da espécie, enquanto períodos de inundação a intensidade diminui, como também ocorrem o efeito de lixiviação acarretado pela chuva dos elementos essenciais e deletérios presentes no solo, além da redução dos materiais particulados atmosféricos (FRITTS, 2012).

Dessa forma, conforme os dados apresentados, pode-se concluir que em períodos secos, há alta concentração de metais potencialmente tóxicos, em específico o chumbo, entretanto, há baixa concentração de metais nos anéis concêntricos arbóreos devido a precipitação, e baixa intensidade de cambial da espécie arbórea.

Acerca do georreferenciamento, pode verificar que a espécie arbórea P10 presumivelmente localiza-se distante da provável falha geológica, conforme os valores obtidos. Entretanto, a espécie arbórea P6 está localizada possivelmente próxima da provável falha geológica, dado que a concentração de chumbo total, corrobora com o valor da concentração de chumbo total de $8,4330 \text{ ug.g}^{-1}$ obtido no ponto 2, ao analisar o solo do presente ponto de amostragem, no estudo de Moreira-Silva et al. (2017). Segundo a Cetesb, o valor máximo de chumbo no solo é de $2,40 \text{ ug.g}^{-1}$.

Na mesma faceta, avaliou os dados de concentração de chumbo total na espécie arbórea *Caesalpinia pluviosa*, representadas pelos pontos 3 e 9, conforme o georreferenciamento no local de amostragem. A **Figura 18** apresenta os dados de concentração de chumbo total nos anéis de crescimento da espécie arbórea analisada.

Figura 18 - Valores de concentração de chumbo total ($\mu\text{g.g}^{-1}$) e desvio padrão ($\text{DP}\pm$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea *Caesalpinia pluviosa*. Análise de chumbo efetuada em triplicata ($n=3$). Coleta efetuada em abril de 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor conforme os resultados obtidos nas amostras dos lenhos arbóreos entre abril/2020 a março/2022.

De acordo com Turkyilmaz et al. (2019) a deposição de metais potencialmente tóxicos tem correlação com a morfologia dos lenhos arbóreos, que por mesmo tem variância acarretada pelo ambiente. Os pesquisadores concluíram que variáveis ambientais, posição e

georreferenciamento das amostras interferiu na presença e concentração de metais essenciais e não essenciais nos anéis arbóreos de crescimento.

Como descrito anteriormente, no trabalho de Worbes (1995), as vias de transporte radicular em períodos secos são intensificadas, de modo a resultar em anéis arbóreos estreitos que por sua vez apresentam maior teor de metais, não obstante, baixa intensidade de absorção do transporte radicular, resultam em anéis arbóreos extensos que decrescem a concentração de metais presentes.

Com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) observamos que o ano de 2019 apresentou maior valor de concentração de chumbo total nos lenhos arbóreos da espécie analisada, atrelado entre os menores índice pluviométrico anual desde 2000 e contêm 5 meses de 12 meses no total, de seca em que teve intensa atividade de cambio e absorção do transporte radicular. Em contrapartida o ano de 2009, representado pela amostra 1, apresenta 2 meses com índice pluviométrico abaixo de 60mm e com a taxa anual 2,4 vezes maior que 2019.

De acordo com Kabata-Pendias e Pendias (2011), a concentração fitotóxica de chumbo é acima de $2,9964 \mu\text{g. g}^{-1}$, desse modo a espécie arbórea, representada pelo ponto P9, exibiu valores superiores a este limite. Dessa forma, em relação ao georreferenciamento das espécies arbóreas analisadas representadas pelos pontos P9 e P3, verificou-se que a espécie vegetal denotada P9, presumivelmente localiza-se próximo a provável falha geológica, e a espécie arbórea representada pelo ponto P3, apresenta uma menor faixa de concentração de chumbo total, visto que os valores de concentração de chumbo total obtidos na espécie arbórea excedem o valor estabelecido por Kabata-Pendias e Pendias (2010).

Conforme a pesquisa de Moreira-Silva et al. (2017), os valores de concentração de chumbo total obtidos na espécie arbórea, representada pelo ponto P9, pode-se verificar há alta probabilidade dessa espécie, se encontrar próximo a provável fratura geológica induzida. Visto que, mediante a análise o solo do presente ponto de amostragem, representado pelo ponto P3, pelos pesquisados, os resultados da concentração de chumbo total foram significativos, em torno de $7,9088 \mu\text{g.g}^{-1}$, o que excede o valor máximo permitido, de modo a resultar na possível proximidade da espécie arbórea da provável falha geológica. Destaca-se que, o valor máximo de chumbo no solo segundo a Cetesb é de $2,40 \mu\text{g.g}^{-1}$.

Em suma, as espécies arbóreas *Licania tomentosa* e *Caesalpinia pluviosa*, representadas pelos pontos 6 e 9 respectivamente, obtiveram maiores valores de concentrações de chumbo total nas amostras, em comparação as demais espécies vegetais, dado que mediante ao georreferenciamento das mesmas, localizam-se próxima a provável falha geológica.

Yang et al. (2019) estabelece a dependência da taxa de exalação de radônio e a precipitação, de modo a considerar que o solo seco, promove a exalação do gás radônio, este tende a aumentar junto com a saturação da água retida nas fraturas condutoras de gás. Após o

ponto de saturação, a taxa de exalação diminui, visto que, o gás Rn-222 fica retido, de modo a reduzir as propriedades de transporte do gás.

6.4. Análise Estatística

6.4.1. Avaliação da distribuição temporal de chumbo total nos anéis arbóreos

A distribuição temporal da absorção de chumbo total nos anéis concêntricos arbóreos no período de estudo, foi avaliado estatisticamente a partir da aplicação da Análise de Componente Principal (PCA) de acordo com três parâmetros meteorológicos individuais, sendo a umidade relativa, temperatura e precipitação acumulada.

As análises estáticas que aplicam a Análise de Componente Principal (PCA) são empregadas para avaliar semelhanças e tendência entre as amostras, de acordo com um determinado conjunto de dados (DA SILVA, et al., 2021).

Após a construção da matriz de correlação entre os dados das 206 medidas realizadas até o presente momento, nas amostras dos anéis concêntricos arbóreos, no período de estudo e os parâmetros meteorológicos, a fim de se obter uma normatização dos dados, aplicou-se a PCA para investigar a relação existente entre os dados.

A **Tabela 3** apresenta duas componentes principais (PC), da espécie arbórea *Licania Tomentosa*, correspondente do ponto P6 do georreferenciamento, que obteve o maior percentual da variabilidade explicada por cada uma delas e os valores dos vetores por parâmetro.

Deste modo, os resultados iniciais de PCA apresentam que os dois primeiros componentes principais correspondem a 98,78% da variabilidade total dos dados, de forma a apresentar informações sobre as amostras.

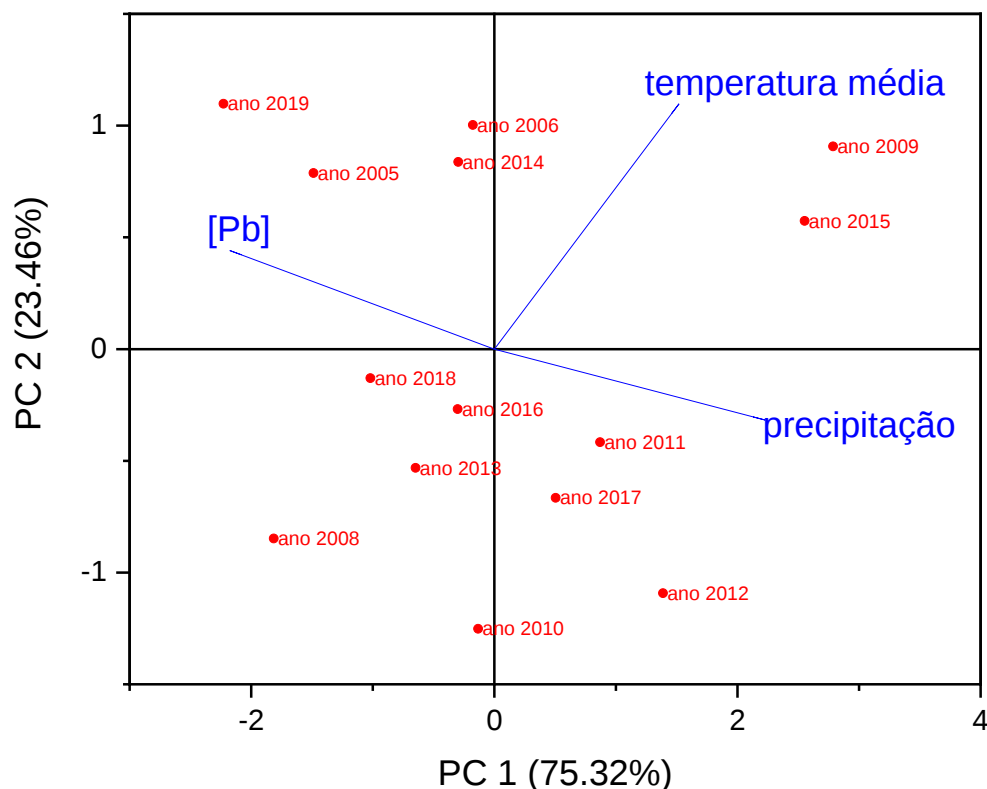
Tabela 3 - Factor Loading – Retenção da variabilidade dos dados para os eixos CP1 e CP2 e as relações existentes entre precipitação, umidade relativa, temperatura e concentrações de Pb da espécie arbórea *Licania tomentosa*.

VARIÁVEIS	Eigenvalue: 98,78%	
	CP1 (X) (75,32%)	CP2 (Y) (23,46%)
Concentração	-0,62804	0,36026
Temperatura	0,43859	0,89606
Precipitação	0,64281	-0,2594

Conforme observado na **Tabela 3**, o CP1 acumulou 75,32% da variância total dos dados, no qual apresentou associação significativa com a pluviosidade e concentração, entretanto o CP2 correspondeu a 23,46% da variância apresentou associação significativa e positiva com a temperatura.

A **Figura 19** apresenta o gráfico de escores e de cargas fatoriais, no qual correspondem aos pesos das variáveis originais na combinação linear que define o componente principal.

Figura 19 - Gráfico de Escore e cargas fatoriais das componentes principais CP1 e CP2, nas variáveis sazonais da espécie arbórea *Licania tomentosa*.



Fonte: Elaborado pelo autor conforme os resultados obtidos nas amostras dos lenhos arbóreos entre abril/2020 a março/2022.

Deste modo, pode-se observar no gráfico a relação entre as variáveis. Nota-se que a precipitação correlacionou inversamente com a concentração de chumbo total, bem como a umidade relativa, visto que, com a diminuição da pluviosidade a concentração de chumbo total aumentou.

A análise corrobora com os resultados do estudo de Büntgen et al. (2012), em que ao analisar espécies arbóreas *Chrysobalanceae*, os pesquisadores averiguaram que a insuficiência pluviométrica anual intensificou a atividade cambial dos lenhos arbóreos para o suprimento das espécies arbóreas durante esse período, o que resultou em anéis arbóreos estreitos e na formação de zonas de crescimento morfológica e quimicamente diferenciadas.

Além disso, verificou-se a correlação da temperatura com a concentração de chumbo total, visto que houve formação de ângulos agudo entre as variáveis, ao analisar a variável da concentração de chumbo com a temperatura.

Tendo em vista, que a região analisada possui características de falhamento geológico, com o aumento da temperatura a exalação de Rn-222 torna-se mais efetiva e

intensa, de modo a acarretar uma maior disponibilidade do chumbo na atmosfera.

Deste modo, a correlação dos resultados apresentados ocorre devido a proximidade desses pontos com a falha geológica, de modo a proporcionar uma maior concentração de chumbo total quando comparados com pontos mais distantes.

A dinâmica sazonal do radônio é influenciada pelo gradiente de concentração, através do coeficiente de difusão efetivo do solo, deste modo por meio da presença da água no solo, que se infiltra rapidamente e ultrapassa o nível de saturação das rachaduras e fraturas condutoras de gás, de modo a resultar na redução das propriedades de transporte do radônio no solo fraturado (BAEZA, A. et al., 2020).

Esses resultados, foram observados por outros pesquisadores, no qual observaram alta influência do efeito da precipitação nas variações do radônio do solo (MORENO et al., 2016; MORENO et al., 2018; INAN et al., 2012).

De acordo com os resultados dos estudos de Kamra et al. (2019) e Doering et al. (2020), a dependência da taxa de exalação de radônio com a precipitação podem ser divididas em duas etapas, inicialmente quando o solo está relativamente seco, após um período seco, a exalação do gás radônio tende a aumentar junto com a saturação da água nas fraturas condutoras de gás, dessa forma a água atua promovendo a exalação do radônio até uma determinada concentração de água, posteriormente após o ponto de saturação a taxa de exalação diminui, pois o gás Rn-222 fica retido.

Da mesma forma, a **Tabela 4** mostra duas componentes principais (PC), da espécie arbórea *Caesalpinia pluviosa*, correlato ao ponto P9 do georreferenciamento, que obteve maior porcentual da variabilidade explicada por cada uma delas e os valores dos vetores por parâmetro.

Assim, os dados iniciais de PCA apresentam que os dois primeiros componentes principais correspondem a 97,96% da variabilidade total dos dados, de modo a apresentar informações sobre as amostras.

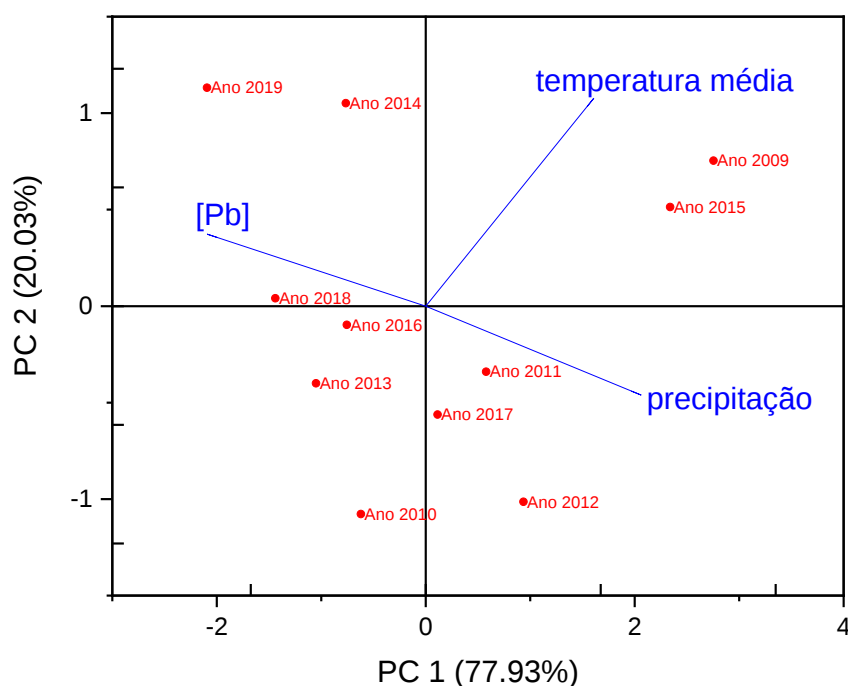
Tabela 4 - Factor Loading – Retenção da variabilidade dos dados para os eixos CP1 e CP2 e as relações existentes entre a precipitação, umidade relativa, temperatura e concentrações de Pb da espécie arbórea *Caesalpinia pluviosa*.

VARIÁVEIS	Eigenvalue: 97,96%	
	CP1 (X) (77,93%)	CP2 (Y) (20,03%)
Concentração	-0,62492	0,30346
Temperatura	0,48004	0,87596
Precipitação	0,61565	-0,37498

Como mostra a **Tabela 4**, o CP1 acumulou 77,93% da variância total dos dados, no qual mostrou associação significativa com a pluviosidade e concentração, porém o CP2 correspondeu a 20,03% da variância apresentou associação significativa e positiva com a temperatura.

O gráfico de escores e de cargas fatoriais, no qual correspondem aos pesos das variáveis originais na combinação linear que define o componente principal é evidenciado na **Figura 20**.

Figura 20 - Gráfico de Escore e cargas fatoriais das componentes principais CP1 e CP2, nas variáveis sazonais da espécie arbórea *Caesalpinia pluviosa*.



Fonte: Elaborado pelo autor conforme os resultados obtidos nas amostras dos lenhos arbóreos entre abril/2020 a março/2022.

Em suma, verifica-se a mesma tendência sazonal da espécie arbórea *Licania Tomentosa* analisada anteriormente. Visto que, a precipitação e a umidade relativa correlacionaram inversamente com a concentração de chumbo total nos anéis concêntricos arbóreos, uma vez que com a redução da pluviosidade a concentração de chumbo total ampliou.

Segundo Marcati; Angyalossy; Evert (2006), a insuficiência pluviométrica em períodos secos, resulta na intensificação da atividade cambial das espécies arbóreas, via transporte radicular, em comparação com períodos úmidos, de forma a aumentar a concentração de elementos presentes na matriz. No caso, metais potencialmente tóxicos, especificamente o chumbo.

Ademais, verificou-se a correlação da temperatura com a concentração de chumbo total, dado que ao analisar a variável da concentração de chumbo com a temperatura, houve formação de ângulos agudo entre as variáveis sazonais.

De modo a considerar que o local de amostragem possui aspectos de falhamento geológico, a exalação de Rn-222 torna-se mais efetiva e intensa, com o aumento da

temperatura, de modo a ocasionar numa disponibilidade expressiva de chumbo na atmosfera.

Baeza et al. (2020) complementa que durante o período de chuva, essa contribui para um alto teor de umidade do solo e acarreta na diminuição da exalação de Rn-222 e após esse período o solo seco naturalmente e a exalação de Rn-222 vai aumentando gradualmente.

Deste modo, a correlação dos resultados apresentados ocorre devido a proximidade desses pontos com a falha geológica, de modo a proporcionar uma maior concentração de chumbo total quando comparados com pontos mais distantes.

6.4.2. Avaliação da distribuição espacial de chumbo total nos anéis arbóreos.

A fim de verificar a correlação da possível distância da provável falha geológica e a localização da espécie arbórea no georreferenciamento na concentração de chumbo total nos anéis concêntricos das espécies arbóreas analisadas e exposta no presente, presentes no sítio de amostragem, a partir do uso da ferramenta de medição presente no software GoogleEarth Pro acoplada ao programa SURFER, plotou-se o gráfico de correlação entre a concentração de chumbo total nos anéis arbóreos de cada espécie vegetal analisada e a possível distância da provável fratura geológica induzida.

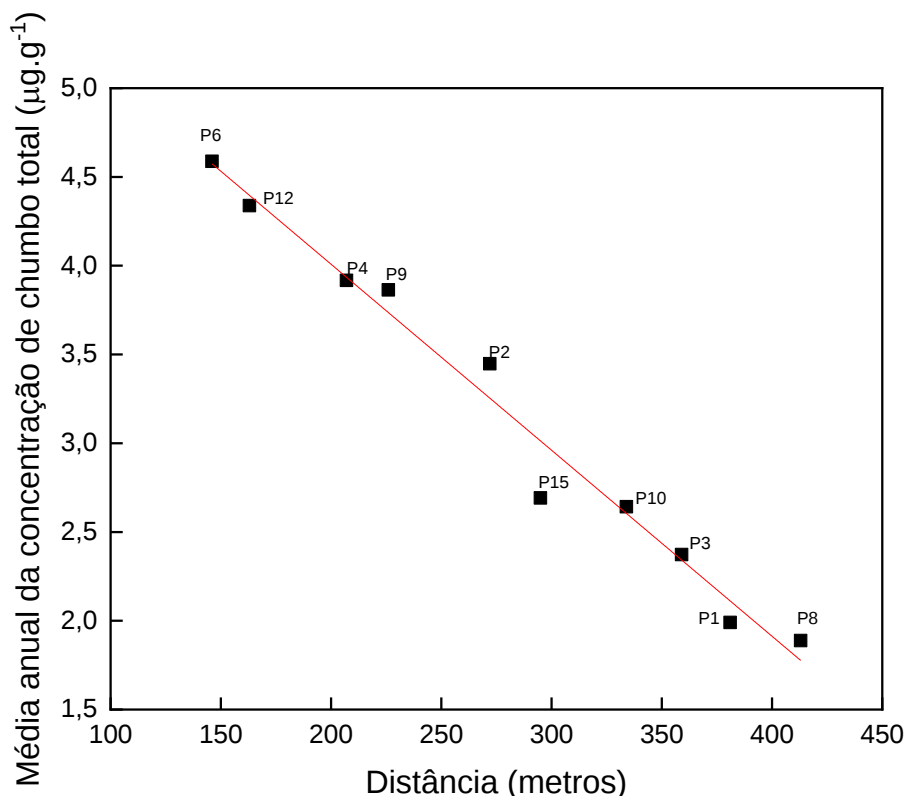
Para a obtenção dos valores relativos da provável distância da possível falha geológica e a espécie arbórea analisada, considerou-se o lineamento esquerdo da possível fratura geológica induzida da área delimitada para a coleta das amostras, apresentado na Figura 3.

Visto que, trabalhos anteriores realizados próximos ao presente lineamento apresentaram concentrações significativas na concentração de metais potencialmente tóxicos como chumbo (Pb) e Bismuto (Bi) em solo e água (MOREIRA-SILVA, M. R. et al., 2017; MAROUBO, L. A. et al. 2021)

Evidencia-se que, segundo o georreferenciamento estabelecido, cada espécie arbórea corresponde a um ponto específico no local de amostragem, desse modo, realizou-se a média das concentrações anuais de chumbo total nos anéis concêntricos arbóreos de cada ponto.

A **Figura 21** apresenta a correlação entre a possível distância da provável falha geológica e a média das concentrações de chumbo total nos anéis de crescimento das espécies arbóreas apresentadas no tópico anterior.

Figura 21 - Gráfico de correlação entre a distância da provável fratura geológica induzida com a concentração média anual de chumbo total nos anéis concêntricos das espécies arbóreas apresentadas na distribuição temporal.



Fonte: Elaborado pelo autor conforme os resultados obtidos nas amostras dos lenhos arbóreos entre abril/2020 a março/2022.

A partir dos dados obtidos, verifica-se a correlação proporcional entre a possível distância da provável falha geológica nos locais de amostragem das espécies arbóreas, e o valor da concentração de chumbo total nos anéis de crescimento dos pontos de amostragem.

Uma vez que, a concentração média anual de chumbo total nos anéis concêntricos arbóreos intensificou conforme a aproximação da provável falha geológica, isto é, quanto menor a distância, maior o valor de concentração média anual de chumbo total nos anéis de crescimento das espécies arbóreas analisadas.

Destaca-se as espécies arbóreas *Licania tomentosa* e *Caesalpinia pluviosa*, representadas pelos pontos 6 e 12 respectivamente, obtiveram maiores valores de concentração de chumbo total nas amostras, dado que mediante ao georreferenciamento das mesmas, localizam-se próxima a provável falha geológica.

Visto que, conforme o estudo de Moreira-Silva et al. (2017), ao analisarem o solo do presentes pontos de amostragem obtiveram valores expressivos na concentração de chumbo total, cerca de 843,30 a 790,88 mg.g^{-1} , respectivamente, de modo a evidenciar há alta probabilidade dessas espécies se localizarem próximas as prováveis possíveis falhas

geológicas. Vale ressaltar, que segundo a Cetesb o valor máximo de chumbo total no solo é 240 mg. g⁻¹.

Em contrapartida das espécies vegetais *Caesalpinia pluviosa* e *Licania tomentosa*, representadas pelos pontos 8 e 1 respectivamente, obtiveram menor concentração de chumbo total nas amostras, uma vez que de acordo com o georreferenciamento das mesmas, localizam-se distantes da provável falha geológica. Dessa forma, pode-se inferir que a presença da provável falha geológica interviu nas concentrações de chumbo total presente nos anéis de crescimento arbóreo presentes no local de amostragem.

Tendo em vista que, os pontos mais próximos da fratura geológica induzida possuem uma concentração maior quando comparados com os pontos mais distantes, sendo possível analisar também que as concentrações de chumbo total presente nos anéis concêntricos arbóreos seguem uma tendência, deste modo esses resultados podem estar relacionados ao fator da região possuir características de falhamento geológico, de modo a proporcionar uma exalação de gás radônio (Rn-222) mais efetiva e intensa.

De modo a corroborar com o estudo de Maroubi et al. (2021) em que os pesquisadores evidenciaram que o local de estudo da região de Presidente Prudente apresenta indícios de intemperismo, o que resulta em atividades relacionada a fratura geológica induzida.

Em suma, na presente pesquisa, pode-se verificar que as variáveis sazonais como precipitação, umidade relativa e temperatura, bem como o georreferenciamento das espécies arbóreas analisadas, atuam na variação dos valores de concentração de chumbo total nos anéis concêntricos das espécies analisadas.

Dessa forma, destaca-se em estudos posteriores da presente pesquisa, a avaliação da principal variável espaço-temporal que atua majoritariamente nos valores de concentração de chumbo total das espécies arbóreas.

7. ATIVIDADES FUTURAS

Como recomendações de atividades futuras, conforme a metodologia aplicada e os resultados obtidos na presente pesquisa, são direcionadas a ampliação dos estudos de monitoramento ambiental e de saúde pública nos ambientes urbanos e rurais próximos e longínquos das prováveis falhas geológicas, a fim de comparar a distribuição espaço-temporal das regiões.

Em relação ao estudo dendroquímico, recomenda-se a ampliação do estudo de outras espécies biomonitoras situadas nessas regiões, com o intuito de identificar os possíveis efeitos dos metais potencialmente tóxicos presentes na estrutura dos lenhos das árvores.

Além disso, a análise multielementar de metais potencialmente tóxicos como cádmio

(Cd), arsênio (As), bismuto (Bi), presentes em baixos teores nos anéis de crescimento dos lenhos arbóreos.

8. CONCLUSÃO

Em síntese, foi possível estudar a distribuição espaço-temporal da concentração de chumbo total nos anéis concêntricos de árvores sobre áreas com falhas geológicas, e seu efeito nos anéis arbóreos anualmente.

Por meio da revisão bibliográfica, acerca das espécies arbóreas aplicadas no monitoramento ambiental, e do esboço realizado por Godoy e colaboradores, com as delimitações das falhas geológicas na região de estudo, foi possível localizar as espécies vegetais e assim, demarcar os pontos para posteriores coletas das amostras dos anéis concêntricos das espécies vegetais analisadas, com o auxílio dos softwares GPS e GoogleEarth Pro.

Para a realização de um diagnóstico ambiental do elemento determinado, de modo geral, alguns pontos mostraram-se excedentes em determinados períodos de tempo, ao valor referente estabelecido por Kabata-Pendias (2010).

A partir das informações fornecidas pelo IAWA e SPEER (2010), foram possíveis identificar e descrever as anomalias presentes nos anéis de crescimento arbóreos das espécies vegetais analisadas.

O método de análise pela voltametria de redissolução anódica com mercúrio como eletrodo de trabalho (HMDE) mostrou-se eficiente para analisar chumbo total em amostras de anéis de crescimento das espécies arbóreas *Caesalpinia pluviosa* e *Licania tomentosa*, na detecção dos elementos traços. O método de identificação e determinação do metal analisado mostrou-se satisfatório. Em suma, as espécies arbóreas mostraram-se eficientes no estudo de biomonitoramento da qualidade ambiental, de modo a corroborar com a literatura.

As espécies arbóreas *Licania tomentosa* e *Caesalpinia pluviosa*, representadas pelos pontos 6 e 12 respectivamente, obtiveram maior concentração de chumbo total nas amostras, em comparação as demais espécies vegetais, dado que mediante ao georreferenciamento das mesmas, localizam-se próxima a provável falha geológica.

A fim de verificar a correlação das variáveis ambientais com a concentração de chumbo total nos anéis concêntricos arbóreos, foi realizado uma análise estatística por meio da análise de principais componentes (PCA), a partir dos resultados obtidos constatou-se que as variáveis sazonais como a temperatura e pluviosidade apresentaram uma correlação com a concentração de chumbo total nos anéis de crescimento das espécies vegetais analisadas.

Além disso, verificou-se a correlação positiva entre a concentração de chumbo total nos anéis de crescimento e a presumivelmente distância da provável falha geológica, dado que

pontos mais próximos a falha geológica, apresentaram essa proporcionalidade. Dessa forma, os resultados obtidos na presente pesquisa, corroboram com os estudos apresentados na literatura.

Ressalta-se que uma dificuldade limitadora do presente estudo, foi a ausência de legislação que limite valores toxicológicos precisos em anéis de crescimento arbóreos, desse modo, estabeleceu-se parâmetros baseados na literatura.

Diante do exposto, evidencia-se a elaboração de uma normativa acerca dos valores toxicológicos dos elementos potencialmente tóxicos nos anéis concêntricos de espécies arbóreos aplicadas no monitoramento ambiental.

REFERÊNCIAS

- ALVARADO, J. R. et al. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 86, p. 171–179, 2010.
- AL SHYEB, S. M. et al. The date palm (*Phoenix dactylifera* L.) as a biomonitor of lead and other elements in arid environments. **Science of the Total Environment**, v. 168, n.1, p. 1-10, 2006.
- AMARAL, P. G. Q. et al. Uranium distribution and radon exhalation from Brazilian dimension stones. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 70, n. 4, p. 808-817, 2012.
- AOKI, T. et al. Measurement of trace elements in tree rings using the PIXE method. **Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B**, Amsterdam, v. 136-138, p. 919-922, 1998.
- ASIF, N.; MALIK, M.; CHAUDHRY, F. N. A review of on environmental pollution bioindicators. *Pollution*, v. 4, n. 1, p. 111-118, 2018. ZHANG, Zhihua. Tree-rings, a key ecological indicator of environment and climate change. **Ecological indicators**, v. 51, p. 107-116, 2015.
- AUSTRUY, A. et al. Evaluation of historical atmospheric pollution in an industrial area by dendrochemical approaches. **Chemosphere**, v. 220, p. 116-126, 2019.
- BADAMASI, H. Biomonitoring of air pollution using plants. **MAYFEB Journal of Environmental Science**, v. 2, p. 27-39, 2017.
- BAEZA, A. et al. Response of an automatic air monitoring gamma-spectrometry station based on sample retention to rainfall-caused dosimetric alterations and to environments with a wide range of radon levels. **Radiation Measurements**, v. 134, p. 106324, 2020.
- BALLIKAYA, P.; MARSHALL, J.; CHERUBINI, P. Can tree-ring chemistry be used to monitor atmospheric nanoparticle contamination over time?. **Atmospheric Environment**, v. 268, p. 118781, 2022.
- BARRELLA, W. Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. São Paulo: EDUC, COMPED, INEP, 2001. p. 117-143.
- BINDA, G; DI IORIO, A; MONTICELLI, D. The what, how, why, and when of dendrochemistry:(paleo) environmental information from the chemical analysis of tree rings. **Science of the Total Environment**, v. 758, p. 143672, 2021.
- BOTOSSO, P.C.; MATTOS, P.P. Conhecer a idade das arvores: importância e aplicação. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2002. 25 p.
- BOVI, R. C. et al. Application of growth rings and scars in exposed roots of *Schizolobium parahyba* as a tool for dating geomorphic processes in the State of São Paulo, Brazil. **Dendrochronologia**, v. 50, p. 1-9, 2018.
- BRACEWELL, R. N. The Forces of Nature - Davies, Pcw. **Queens Quarterly**, v. 88, n. 2, p. 336-340, 1991.
- BRAEUNING, A et al. Tree-ring features: indicators of extreme event impacts. **Iawa Journal**, v. 37, n. 2, p. 206-231, 2016.
- BROWN, P.M. Introduction to dendrochronology lecture 1: basic terminology and concepts. Tucson: Rocky Mountain **Tree-ring Research**, 2003. 21 p.
- BÜNTGEN, U. et al. Effects of sample size in dendroclimatology. **Climate Research**, v. 53, n. 3, p. 263-269, 2012.
- COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. (Ed.). Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. **Springer Science & Business Media**, 2013. 394 p.

CURY, G.; FILHO, M. T. Anatomia do lenho de espécies pioneiras do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 491-498, 2012.

DA SILVA, D. O. et al. Principal Components Analysis: An Alternative Way for Removing Natural Growth Trends. **Pure and Applied Geophysics**, v. 178, n. 8, p. 3131-3149, 2021.

DAVIS, G. H. A. R., S., ed. Structural Geology of Rocks and Regions. ed. **WILEY**. 2006).

DE GODOY-VEIGA, M; TEIXEIRA-COSTA, L. Bases de anatomia para compreensão de aspectos funcionais da madeira. **Aspectos gerais da anatomia da madeira**, p. 168. 2018.

DEMOGRÁFICO, IBGE Censo. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2010. v. 9, p. 2013, 2010. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 22/04/2022.

DOERING, C. et al. Radon-222 diffusion length and exhalation characteristics of uraniferous waste rock and application to mine site remediation in the Australian wet-dry tropics, **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 216, 2020.

DOUCET, A et al. Combining tree-ring metal concentrations and lead, carbon and oxygen isotopes to reconstruct peri-urban atmospheric pollution. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, v. 64, n. 1, p. 19005, 2012.

EDUSEI, G. et al. Chronological study of metallic pollution using tree rings at tema industrial area. **Pollution**, v. 7, n. 1, p. 197-204, 2021.

EL-KHATIB, A. A, et al. Bioaccumulation of heavy metals air pollutants by urban trees. **International journal of phytoremediation**, v. 22, n. 2, p. 210-222, 2020.

FERDIÉRE, A. et al. **La datation em laboratoire**. Paris: Errance. 2005. 198 p.

FISCHER, M. P.; ENGELDER, T. Heterogeneous Hydrofracture Development and Accretionary Fault Dynamics - Comment. **Geology**, v. 22, n. 11, p. 1052-1053, 1994.

FORGET, E.; ZAYED, J. Tree-ring analysis for monitoring pollution by metals. In: LEWIS, T. **Tree rings as indicators of ecosystem health**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 157–176.

FRITTS, H. Tree rings and climate. **Elsevier**, 2012.

GERALDO, S. M.; CANTERAS, F. B.; MOREIRA, S. Biomonitoring of environmental pollution using growth tree rings of Tipuana tipu: Quantification by synchrotron radiation total reflection X-ray fluorescence. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 95, p. 346-348, 2014.

GIMBERT, F., et al. How subcellular partitioning can help to understand heavy metal accumulation and elimination kinetics in snails. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 27, n. 6, p. 1284-1292, 2008.

GODOY, M. C. T. F., Fratura ao norte de PP deve ter causado tremor: Geólogo atribuiu abalo que atingiu 4 cidades na região ao alinhamento Guaipiara, in **Jornal Oeste Notícias**. 2006.

GOMES, M. A. S; SOARES, B. R. A vegetação nos centros urbanos: considerações sobre os espaços verdes em cidades médias brasileiras. Estudos Geográficos: **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 1, n. 1, p. 19-29, 2003.

GONÇALVES, F. G et al. Densitometria de raios x na avaliação da densidade em painéis de partículas. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1151-1162, 2018.

GUEDES, I. C. S., et al. Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do rio Santo Anástácio (SP) para detecção de possíveis deformações neotectônicas. **Revista UnG Geociências**, v. 5, n. 1, p. 75- 102, 2006.

HAGEMEYER, J. Trace metals in tree rings: what do they tell us? In: B. MARKERT AND K. FRIESE, (Ed.). Trace Metals in the Environment, Local: **Elsevier**, 2000. v. 4.

HEINRICH, I.; BANKS, J.C.G. Variatin in phenology, growth, and wood anatomy of toona

sinensis and toona ciliate in relation to different environmental conditions. **International⁷¹ Journal of Plant Sciences**, Chicago, v. 167, n. 4, p. 831-841, 2006.

HELAMA, Samuli et al. Detection of climate signal in dendrochronological data analysis: a comparison of tree-ring standardization methods. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 79, p. 239-254, 2004.

INAN, S.; KOP, A.; CETIN, H. et al. Seasonal variations in soil radon emanation: long-term continuous monitoring in light of seismicity. **Nat Hazards**, p. 575-591, 2012.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS COMMITTEE et al. IAWA list of microscopic features for softwood identification. **IAWA journal**, v. 25, n. 1, p. 1-70, 2004.

ISINKARALAR, K. Atmospheric deposition of Pb and Cd in the Cedrus atlantica for environmental biomonitoring. **Landscape and Ecological Engineering**, p. 1-10, 2022.

JACKSON, J., PRIESTLEY, K., ALLEN, M. AND BERBERIAN, M. Active Tectonics of the South Caspian Basin. **Geophysical Journal International**, v. n. 148, p. 214-245, 2002.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 4 ed. Boca Raton: CRC Press, 403p. 2010.

KAMRA, A. K. et al. Diurnal and seasonal variations of radon (²²²Rn) and their dependence on soil moisture and vertical stability of the lower atmosphere at Pune, India, **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 195, 2019.

KARMAKAR, D; DEB, K; PADHY, P. K. Respostas ecofisiológicas de espécies arbóreas à poluição do ar para biomonitoramento da saúde ambiental em área urbana. **Clima Urbano** , v. 35, p. 100741, 2021.

KETTERER, M. E., LANE, D.A., JORDAN, J.A. Unusually Radiogenic Lead (Pb) in Ashtabula River Sediments: An Isotopic Tracing Case Study Using Quadrupole ICP-MS. **Open Chem. Biom.Meth.** J, v. 2, n. p. 2010.

KOMARE, M., ETTLER, V., CHASTNY, V., MIHALJEVIC, M. Lead isotopes in environmental sciences: A review. **Environ. Intern.**, v. 34, n. p. 562-577, 2008.

LEWIS, T. **Tree rings as indicators of ecosystem health**. Boca Raton: CRC Press, 2005. 210 p.

LISI, C. S. et al. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. **IAWA Journal**, v. 29, n. 2, p. 189-207, 2008.

LOCOSSELLI, G. M. et al. Tree rings reveal the reduction of Cd, Cu, Ni and Pb pollution in the central region of São Paulo, Brazil. **Environmental pollution**, v. 242, p. 320-328, 2018.

LOCOSSELLI, G. M. et al. The role of air pollution and climate on the growth of urban trees. **Science of the Total Environment**, v. 666, p. 652-661, 2019.

LOCOSSELLI, G. M. et al. Spatial-temporal variability of metal pollution across an industrial district, evidencing the environmental inequality in São Paulo. **Environmental Pollution**, v. 263, p. 114583, 2020.

LÓPEZ, J. A. et al. **Correlation between underground radon gas and dormant geological faults**. v. 4, n. 1, p. 265- 275. 2016.

LÜTTGE, U. From dendrochronology and dendroclimatology to dendrochemistry. **Trees**, v. 31, n. 6, p. 1743-1744, 2017.

MAIOLI, O. L. G. et al. Parâmetros bioquímicos foliares das espécies Licania tomentosa (Benth.) e Bauhinia forficata (Link.) para avaliação da qualidade do ar. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 1925-1932, 2008.

MANSFIELD, C. and CARTWRIGHT, J. Fault growth by linkage: observations and implications

from analogue models. **Journal of Structural Geology**, v. 23, n. 5, p. 745-763, 2001. 72

MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY, V.; EVERT, R. F. Seasonal variation in wood formation of *Cedrela fissilis* (Meliaceae). **IAWA Journal**, v. 27, n. 2, p. 199–211, 2006.

MARTIN, R.R. et al. Synchrotron X-ray fluorescence and secondary ion mass spectrometry in tree rings microanalysis: applications to dendroanalysis. *X-Ray Spectrometry*, **Nova York**, v. 30, p. 338-341, 2001.

MARKERT, B. A; BREURE, A. M.; ZECHMEISTER, H. G. Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment. In: Trace Metals and other Contaminants in the Environment. **Elsevier**, p. 3-39, 2003.

MAROUBO, L. A. et al. Influence of Rainfall Seasonality in Groundwater Chemistry at Western Region of São Paulo State—Brazil. **Water**, v. 13, n. 11, p. 1450, 2021.

MARTEL, S. J. Formation of Compound Strike-Slip-Fault Zones, Mount Abbot Quadrangle, California. **Journal of Structural Geology**, v. 12, n. 7, p. 869, 2003.

METROHM. Lead in zinc and copper in drinking water. VA Application Note v. 173.

MENDONÇA, E. C. C. N.; SOUZA, P. S. Aplicação da técnica de análise de componentes principais para caracterização de águas de poços artesianos de áreas urbanas de Goiânia e Aparecida de Goiânia-GO. **Revista Pluralis**, v. 1, n. 1, p. 19-36. Disponível em: <<http://www.prp.ueg.br/revista/index.php/revistapluralisvirtual/article/view/237>>. Acessado em: 15/04/2022, 2011.

MENDOZA, Sandra et al. Voltammetric techniques. **Agricultural and Food Electroanalysis**, p. 23-48, 2015.

MICCO, V. et al. Comparing methods to analyse anatomical features of tree rings with and without intra-annual density fluctuations (IADFs). **Dendrochronologia**, v. 32, n. 1, p. 1-6, 2014.

Moreno V., J. Bach, Ll. Font, C. Baixeras, M. Zarroca, R. Linares, C. Roqué, Soil radon dynamics in the Amer fault zone: An example of very high seasonal variations, **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 151, 2016.

Moreno V., J. Bach, M. Zarroca, Ll. Font, C. Roqué, R. Linares, Characterization of radon levels in soil and groundwater in the North Maladeta Fault area (Central Pyrenees) and their effects on indoor radon concentration in a thermal spa, **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 189, 2018.

MORENO-FERNÁNDEZ, D. et al. Influence of climate and thinning on *Quercus pyrenaica* Willd. coppices growth dynamics. **European Journal of Forest Research**, v. 140, n. 1, p. 187-197, 2021.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. Effects of lead exposure on the human body and health implications. **Revista Panamericana De Salud Publica-Pan American Journal of Public Health**, v. 15, n. 2, p. 119-129, 2004.

MOREIRA-SILVA, M. R. et al. Evidence for a correlation between total lead concentrations in soils and the presence of geological faults. **Environmental chemistry letters**, v. 15, n. 3, p. 481-488, 2017.

MOREIRA, S. et al. Study of the metals absorption in culture corn irrigated with domestic sewage by SR-TXRF. **Instrumentation science & technology**, v. 33, n. 1, p. 73-85, 2005.

MOREIRA, S. et al. Monitoring environmental pollution of trace elements in tree-rings by synchrotron radiation total reflection x-ray fluorescence analysis (SR-TXRF). In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE. 2007.

MOREIRA, T. C. L. et al. The use of tree barks to monitor traffic related air pollution: a case study in São Paulo—Brazil. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, p. 1-12, 2018.

- MOORE, J. C.; KARIG, D. E. Sedimentology, Structural Geology, and Tectonics of Shikoku Subduction Zone, Southwestern Japan. **Geological Society of America Bulletin**, v. 87, n. 9, p.1259-1268, 1996.
- NAKAZATO, R. K. et al. Efficiency of biomonitoring methods applying tropical bioindicator plants for assessing the phytotoxicity of the air pollutants in SE, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 20, p. 19323-19337, 2018.
- NEUKOM, R. et al. Multiproxy summer and winter surface air temperature field reconstructions for southern South America covering the past centuries. **Climate Dynamics, Heidelberg**, v. 37, n. 1/3, p. 35-51, 2011.
- NOWAK, D. J. et al. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. **Environmental pollution**, v. 193, p. 119-129, 2014.
- OGNER, G. Digestion of plants and organic soils using nitric acid, hydrogen peroxide and UV irradiation. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 14, n. 10, p. 937-943, 1983.
- PADILLA, K. L.; ANDERSON, K. A. Trace element concentration in tree-rings biomonitoring centuries of environmental change. **Chemosphere**, v. 49, n. 6, p. 575-585, 2002.
- PATIL, V. H., et al. Efficient theory development and factor retention criteria: Abandon the 'eigenvalue greater than one' criterion. **Journal of Business Research**, v. 61(2), p. 162-170, 2008.
- PHIPPS, R.; YANOSKY, T.; ALLEN, K. Dendroecology: principles and practice. **Australian Forestry**, v. 83, n. 2, p. 99-100, 2020.
- PILCHER, J.R. Sample preparation, cross-dating, and measurement. In: COOK, E.; KAIRIUKSTIS, L. Methods of Dendrochronology: applications in the environmental sciences. Dordrecht: **Kluwer Academic**, 1999, p 40-51.
- PORTAL CAHUANA, L. A.; LATORRACA, J. V. DE F. ANÁLISE DE POTENCIAL DENDROCRONOLÓGICO EM ÁRVORES DE JATOBÁ (*HYMENAEA OBLONGIFOLIA* HUBER) DA AMAZÔNIA PERUANA. In: Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade. [s.l.] **Editora Científica Digital**, 2020. p. 110–120.
- PROENÇA, C. A. Determinação de Cd, Pb e Cu em particulados atmosféricos da região de Presidente Prudente por análise voltamétrica utilizando eletrodo de mercúrio. 2014.
- PROST, J. et al. Evaluation of a sample preparation procedure for total reflection X-ray fluorescence analysis of directly collected airborne particulate matter samples. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, v. 147, p. 13-20, 2018.
- QUEIROLO, F. et al. Study of the radial and axial distribution of heavy metals in oak growth rings by stripping voltammetry. **Electroanalysis**, v. 3, n. 4-5, p. 325-329, 1991.
- RAI, P. K. Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 129, p. 120-136, 2016.
- RAMSAY J.G., H. M. I., ed. The techniques of modern structural geology. 1 ed, Academic Press: **London**: 2007.
- RAO, K.S.; RAJPUT, K.S. Seasonal behavior of vascular cambium in teak (*Tectona grandis*) growing in moist deciduous and dry deciduous forests. **IAWA Journal**, Leiden, v. 20, n. 1, p. 85–93, 1999.
- RASKIN, I. et al. Bioconcentration of heavy metals by plants. **Current Opinion in biotechnology**, v. 5, n. 3, p. 285-290, 1994.
- RESENDE R. S. et al. ESTUDO DA EMANAÇÃO DE RADÔNIO EM SOLOS: LOCALIZAÇÃO DE FALHAS GEOLÓGICAS EM PRESIDENTE PRUDENTE, SÃO PAULO, BRASIL, in *Seminário Sobre o radônio no Brasil: Normatização e a Importância para a Saúde Pública*.

RICHER-LAFLÈCHE, M. et al. Spatiotemporal reconstruction of lead contamination using tree rings and organic soil layers. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 1, p. 233-241, 2008.

ROCHA, M. A. M et al. Respostas fisiológicas de mudas de espécies lenhosas sob estresse hídrico, em solo com e sem matéria orgânica. **Revista Árvore**, v. 40, n. 3, p. 455-464, 2016.

RODRIGUEZ, D.R.O., et al. Space-resolved determination of the mineral nutrient content in tree-rings by X-ray fluorescence. **Science of The Total Environment**, v. 708, p. 134537, 2020.

SAADI, A. M., M. N., ed. Map and Database of Quaternary Faults and Lineaments in Brazil., ed. U. S. G. **SURVEY**. Vol. 1. 1999: Denver/Colorado.

SANT'ANNA NETO, J. L. and BARRIOS, N. A. Z. Variabilidade e tendência das chuvas na região de Presidente Prudente-SP. **Revista de Geografia da UNESP**, v. 11, p. 63-76. Presidente Prudente-SP, 1992.

SCHIMLECK, L. et al. Non-destructive evaluation techniques and what they tell us about wood property variation. **Forests**, v. 10, n. 9, p. 728, 2019.

SCHMITT, T. A. Current methodological considerations in exploratory and confirmatory factor analysis. **Journal of Psychoeducational assessment**, v. 29, n. 4, p. 304-321, 2011.

SCHNITZER, S.A.; CARSON, W. Lianas suppress tree regeneration and diversity in treefall gaps. **Ecology Letters**, Malden, v. 13, p. 849-857, 2010.

SCHOLZ, F. Voltammetric techniques of analysis: the essentials. **ChemTexts**, v. 1, n. 4, p. 1-24, 2015.

SCHWEINGRUBER, F.H. Tree rings: basics and applications of dendrochronology. Dordrecht: **Reidel**, 1988, 276 p.

SCHWEINGRUBER, F.H.; KAIRIUKSTIS, L.; SHIYATOV, S. Sample Selection. In: COOK, E.; KAIRIUKSTIS, L. Methods of Dendrochronology: applications in the environmental sciences. Dordrecht: **Kluwer Academic**, 1989, p 23-34.

SCHWEINGRUBER, F.H. Radiodensitometry. In: COOK, E.; KAIRIUKSTIS, L. Methods of Dendrochronology: applications in the environmental sciences. Dordrecht: **Kluwer Academic**, 1989, p 55-63.

SCHWEINGRUBER, F.H. Tree rings and environment: Dendroecology. Berna: **Paul Haupt Publishers**, 1996, 609 p.

SCHWEINGRUBER, F. H. Tree rings: basics and applications of dendrochronology. **Springer Science & Business Media**, 2012. p. 276.

SEMERARO, T. et al. Dendrochemistry: Ecosystem services perspectives for urban biomonitoring. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, p. 558893, 2020.

SEVIK, H. et al. Determination of Pb and Mg accumulation in some of the landscape plants in shrub forms. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 2, p. 2423-2431, 2020.

SEVIK, H. et al. Analyzing of usability of tree-rings as biomonitors for monitoring heavy metal accumulation in the atmosphere in urban area: a case study of cedar tree (*Cedrus* sp.). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 1, p. 1-11, 2020.

SIMABUCO, S.M. Radiografia da poluição de Campinas. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo. Disponível em:

http://revistapesqui.../print.php?lang=pt&id=revista1.fapesp1..20120710.20010362..SEC7_1. Acesso em: 23/06/2022.

- SOUZA SOARES, C. R. F. et al. Content and distribution of heavy metals in roots, stems⁷⁵ and leaves of tree seedlings in soil contaminated by zinc industry wastes. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 3, p. 302–315, 2001.
- SOUZA, S. C. R. et al. Lead tolerance and phytoremediation potential of Brazilian leguminous tree species at the seedling stage. **Journal of Environmental Management**, v. 110, p. 299-307, 2012.
- SPEER, J. H. Fundamentals of tree-ring research. **University of Arizona Press**, 2010.
- SUVARAPU, L. N. ; BAEK, S.O. Determination of heavy metals in the ambient atmosphere: A review. **Toxicology and industrial health**, v. 33, n. 1, p. 79-96, 2017.
- TEIXEIRA, L. L. et al. Physicochemical Characterization and Phenolic Profile of Oiti Fruits (Licania tomentosa Benth Frisch). **Journal of Nutrition, Food Research and Technology**, v. 2, n. 1, p. 7-12, 2019.
- TOMAZELLO FILHO, M. et al. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELLA, W. Indicadores Ambientais: conceitos e aplicações. **EDUC/COMPED/INEP**, São Paulo - SP, p. 117- 134, 2001.
- TORRES, L. M. et al. Poluição atmosférica em cidades brasileiras: uma breve revisão dos impactos na saúde pública e meio ambiente. **Naturae**, v. 2, n. 1, p. 23-33, 2020.
- TRIPATHI, A. K.; GAUTAM, M. Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. **Journal of Environmental Biology**, v. 28, n. 1, p. 127, 2007.
- TURKYILMAZ, A. et al. Use of tree rings as a bioindicator to observe atmospheric heavy metal deposition. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 5, p. 5122-5130, 2019.
- VENEGAS-GONZÁLEZ, A. et al. Sensitivity of tree ring growth to local and large-scale climate variability in a region of Southeastern Brazil. **Theoretical and applied climatology**, v. 123, n. 1-2, p. 233-245, 2016.
- VIVES, A.E.S. et al. Species arboreal as a bioindicator of the environmental pollution. **Nuclear Instruments and Methods in Physics**, Amsterdam, v.579, p.494–498, 2006.
- VIVES, A. E. et al. Species arboreal as a bioindicator of the environmental pollution: Analysis by SR-TXRF. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, **Detectors and Associated Equipment**, v. 579, n. 1, p. 494-498, 2007.
- WANG, H. Regulation of vascular cambium activity. **Plant Science**, v. 291, p. 110322, 2020.
- WATMOUGH, S.A.; HUTCHINSON, T.C. Historical changes in lead concentrations in tree-rings of sycamore, oak and scots pine in north-west England. **Science of the total Environment**, Oxford, v.293, p. 85-96, 2002.

WATT, S. F. L. et al. The use of tree-rings and foliage as an archive of volcanogenic cation deposition. **Environmental Pollution**, v. 148, n. 1, p. 48-61, 2007.

WILMKING, M. et al. Global assessment of relationships between climate and tree growth. **Global Change Biology**, v. 26, n. 6, p. 3212-3220, 2020.

World Health Organization; **Guidelines for Air Quality**, WHO: Geneva, 1999.

WORBES, M. Structural and other adaptations to long-term flooding by trees in Central Amazonia. **AMAZONIANA**, v. 9, n. 3, p. 459–484, 1995.

YANG, J. et al. Modeling of radon exhalation from soil influenced by environmental parameters. **Science of the Total Environment**, v. 656, p. 1304-1311, 2019.

YIHAN, S. U. et al. Effects of Nitrogen Forms on the Growth and Development of Trees. **Asian Agricultural Research**, v. 13, n. 1812-2022-226, p. 71-75, 2021.

ZERFASS, H. C. J. F. Geologia estrutural em ambiente rúptil: fundamentos físicos, mecânica de fraturas e sistemas de falhas naturais. **Terra e Didática**, v. 7, n. p. 75, 2011.

APÊNDICE A - Principais valores analisados de concentrações de chumbo total ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dos anéis arbóreos das espécies arbóreas *Licania Tomentosa* e *Caesalpinia Pluviosa*

Tabela 1 – Valores de concentração de chumbo total ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea *Licania tomentosa* dos pontos 1 e 2.

ANÉIS ARBÓREOS	CONCENTRAÇÕES ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	
	PONTO 1	PONTO 2
A1	2,3951	3,4422
A2	2,6117	4,0506
A3	2,4057	3,5642
A4	2,5443	4,0342
A5	2,5071	3,9708
A6	1,7114	2,6713
A7	2,268	3,1713
A8	2,1952	3,1405
A9	2,1917	2,8976
A10	2,3508	3,213
A11	2,4311	3,7241
A12	1,9145	2,8922
A13	2,2762	3,206
A14	2,2674	3,1644
A15	2,4544	3,9193
A16	2,884	4,0738

Tabela 2 – Valores de concentração de chumbo total ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea *Caesalpinia Pluviosa* dos pontos 8 e 12.

ANÉIS ARBÓREOS	CONCENTRAÇÕES ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	
	PONTO 8	PONTO 12
A1	1,9213	3,79246
A2	2,7132	6,68371
A3	2,0756	4,40206
A4	2,5333	6,41268
A5	2,5184	5,99277
A6	1,2368	1,23294
A7	1,7325	2,73478
A8	1,5562	1,98824
A9	1,4981	1,72264
A10	1,9006	3,03319
A11	2,1878	4,94604
A12	1,3540	1,65974
A13	1,8634	2,98035
A14	1,6775	2,14563
A15	2,3608	5,29853
A16	2,7218	6,78698

Tabela 3 – Valores de concentração de chumbo total ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea *Licania tomentosa* dos pontos 4 e 15.

ANÉIS ARBÓREOS	CONCENTRAÇÕES ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	
	PONTO 4	PONTO 15
A1	3,53274	5,78975
A2	3,37573	5,53343
A3	1,77912	2,34779
A4	2,44123	4,12136
A5	2,02584	3,53349
A6	1,9787	3,04567
A7	2,88858	4,68774
A8	3,04997	4,89765
A9	1,84631	2,75243
A10	2,67624	4,34689
A11	2,42329	3,98753
A12	3,18905	5,27495
A13	3,79067	6,08413

Tabela 4 – Valores de concentração de chumbo total ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea *Licania tomentosa* dos pontos 6 e 10.

ANÉIS ARBÓREOS	CONCENTRAÇÕES ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	
	PONTO 6	PONTO 10
A1	6,33359	3,10313
A2	4,98785	2,83541
A3	6,08416	3,08567
A4	5,71042	3,00469
A5	2,79948	1,94292
A6	3,88853	2,57632
A7	3,34779	2,23763
A8	2,89449	2,02935
A9	4,88860	2,77492
A10	5,00037	2,86793
A11	2,80758	1,98456
A12	4,56935	2,62345
A13	3,72634	2,45687
A14	5,31784	2,98765
A15	6,46485	3,12843

Tabela 5 – Valores de concentração de chumbo total ($\mu\text{g.g}^{-1}$) dos anéis de crescimento da espécie arbórea *Caesalpinia pluviosa* dos pontos 3 e 9.

ANÉIS ARBÓREOS	CONCENTRAÇÕES ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	
	PONTO 3	PONTO 9
A1	1,1902	2,03243
A2	1,86961	3,88654
A3	1,44467	3,03761
A4	1,36456	2,79311
A5	2,11122	4,77941
A6	2,3216	5,18344
A7	1,23202	2,37192
A8	2,05242	4,59765
A9	1,55374	3,57254
A10	2,64171	5,29761
A11	2,99376	5,54234