



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA**

**AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE
LIQUENS COMO INDICADORES DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO
MUNICÍPIO DE TRÊS RIOS-RJ**

Francismara Mamede Mendes

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Fábio Souto de Almeida
CO-ORIENTADOR: Prof. Dra. Olga Venimar de Oliveira Gomes**

**TRÊS RIOS - RJ
DEZEMBRO – 2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA**

**AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE
LIQUENS COMO INDICADORES DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO
MUNICÍPIO DE TRÊS RIOS-RJ**

Francismara Mamede Mendes

Monografia apresentada ao curso de Gestão Ambiental, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental da UFRRJ, Instituto Três Rios da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**TRÊS RIOS - RJ
DEZEMBRO – 2023**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Biblioteca
Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M538a Mendes, Francismara Mamede , 1998-
Avaliação da aplicabilidade da utilização de líquens
como indicadores da poluição atmosférica no município
de Três Rios-RJ / Francismara Mamede Mendes. - Três
Rios, 2023.
53 f.

Orientador: Fabio Souto de Almeida.
Coorientadora: Olga Venimar de Oliveira Gomes.
Trabalho de conclusão de curso(Graduação). --
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Gestão
Ambiental, 2023.

1. Bioindicador. 2. Impactos Ambientais. 3.
Monitoramento Ambiental. I. Almeida, Fabio Souto de,
1982-, orient. II. Gomes, Olga Venimar de Oliveira,
1977-, coorient. III Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro. Gestão Ambiental. IV. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA

**AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE LIQUENS
COMO INDICADORES DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO MUNICÍPIO DE
TRÊS RIOS-RJ**

Francismara Mamede Mendes

Monografia apresentada ao Curso de Gestão Ambiental como pré-requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Aprovada em 14/12/2023

Banca

Prof. Orientador Dr. Fábio Souto de Almeida

Prof. Co-orientador Dra. Olga Venimar de Oliveira Gomes

Prof. Dr. Alexandre Ferreira Lopes



Documento assinado digitalmente
ALEXANDRE FERREIRA LOPES
Data: 18/12/2023 11:23:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Fábio Cardoso de Freitas



Documento assinado digitalmente
FABIO CARDOSO DE FREITAS
Data: 18/12/2023 14:50:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

TRÊS RIOS - RJ

DEZEMBRO –

2023

“À minha família e amigos, por sua capacidade de acreditar em mim e por serem uma fonte inesgotável de apoio técnico durante todo o processo. Mãe, teu amor e dedicação foram luzes de esperança em momentos difíceis, inspirando-me a seguir em frente. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinha nessa caminhada.”

AGRADECIMENTO

Este percurso acadêmico foi repleto de desafios, aprendizados e conquistas, e não seria possível sem o apoio fundamental de cada um de vocês.

Primeiramente, agradeço a Deus por ser meu guia constante, fornecendo a força e sabedoria que eu tanto precisei durante essa jornada incrível. Sua presença foi como um farol nos momentos mais sombrios.

À minha família, meus pais em especial, foram a rocha sólida que me sustentou e sempre incentivou a seguir em frente. Minha mãe, seu amor e apoio incondicional foram a inspiração constante que me impulsionou a persistir. Meu pai, é difícil expressar em palavras o quanto a sua presença na minha vida significa. Vocês são a base sólida que me sustenta, a fonte de força que me impulsiona a seguir em frente, e a inspiração que me guia em todos os momentos.

A cada um de vocês, meus avós, meus irmãos, meus primos e tios, meu coração transborda de gratidão. Suas palavras de encorajamento, o apoio incondicional e o amor constante são verdadeiros pilares que me sustentam nos momentos bons e ruins. Vocês são a razão pela qual eu me sinto capaz de enfrentar qualquer desafio que a vida coloque no meu caminho. Agradeço do fundo do meu coração por estarem sempre ao meu lado, por serem meu refúgio e por tornarem minha jornada mais significativa e bonita. A cada abraço, sorriso e gesto de carinho, vocês renovam minhas energias e me lembram do poder incrível que temos quando estamos unidos. Sou imensamente grata por cada um de vocês fazer parte da minha vida e por serem a verdadeira essência da minha força e determinação. Vera, obrigado de todo o coração por ter cuidado de mim com tanto carinho. Seu cuidado, suas palavras firmes e os puxões de orelha que me ajudaram a crescer. Você é mais que um exemplo, é um verdadeiro raio de inspiração na minha vida.

Queridos, Pedro, Carol Brum, Carol Borsato e Lailina, não há palavras suficientes para expressar a imensidão da minha gratidão por vocês. Vocês foram mais do que amigos ao longo da minha jornada acadêmica, foram âncoras em meio às tempestades, guias nos momentos mais desafiadores. Vocês não apenas estiveram ao meu lado, mas também me impulsionaram quando pensei em desistir, reacendendo a chama da determinação. Agradeço por terem sido os pilares sólidos que sustentaram meu percurso acadêmico. Suas amizades foram luzes brilhantes nos dias mais sombrios, trazendo sorrisos quando as lágrimas pareciam inevitáveis. E não posso deixar de mencionar o apoio incansável na minha pesquisa. Cada conselho, cada ideia compartilhada contribuiu para o sucesso do meu trabalho. Sem a ajuda e o suporte de vocês, não teria alcançado metade do que conquistei. Vocês não foram apenas amigos, foram parte

fundamental da minha jornada, uma parte da qual jamais poderia abrir mão. Obrigado por tudo, pela amizade, pelo apoio incondicional e por serem verdadeiramente inestimáveis.

Claudia e Camila, quero dedicar estas palavras a vocês como um tributo à luz que trouxeram para minha vida. Em meio aos dias longe dos livros e da pressão acadêmica, a amizade e apoio de vocês foram como um conforto. Cada momento compartilhado foi um raio de sol que iluminou meus dias mais sombrios, mantendo-me equilibrada quando tudo parecia tumultuado. Vocês não apenas estiveram ao meu lado, mas se tornaram a âncora que me segurou em meio às tempestades. Agradeço por cada risada compartilhada, cada conselho valioso e por simplesmente existirem na minha vida. E a você, Milena, seus conselhos foram como pérolas de sabedoria nos momentos mais incertos. Sua presença foi mais do que um apoio; foi um farol firme em meio às incertezas que eu enfrentei. Cada palavra de encorajamento, cada gesto de apoio, significou mais do que posso expressar. Obrigado por serem mais do que amigas, por serem guias e confidentes nos momentos mais desafiadores. A gratidão que sinto por ter vocês em minha vida é profunda e eterna.

Aos amigos incríveis Gabi, João, Ikaro e Kaique, meus agradecimentos especiais por terem contribuído em minha pesquisa e por serem fontes de amizade e inspiração.

Agradeço também ao meu grande amor, Luciana, que esteve ao meu lado em todos os momentos, apoiando-me incondicionalmente em minha jornada acadêmica e jornada de vida, obrigada por todos os conselhos e puxões de orelha e por ser a incentivadora número 1 da minha vida, você foi e é essencial.

Não posso deixar de expressar minha profunda gratidão a Marcielle, por todo o apoio e conselhos valiosos que me foram fornecidos ao longo deste tempo. Sua orientação tem sido fundamental para minha jornada, tanto pessoal quanto acadêmica. Cada palavra sábia e encorajadora que contribuiu comigo ajudou significativamente para o meu crescimento e bem-estar.

Ao Conexões de Saberes (PET), pelo apoio ao longo dos quatro anos de participação no programa e pelo financiamento essencial à minha pesquisa, expresso minha sincera gratidão.

Às tias da limpeza, meu reconhecimento pela dedicação e pelo trabalho incansável, muitas vezes invisível, que mantém nosso ambiente propício ao aprendizado.

À minha tutora e Coorientadora Olga, agradeço por seus ensinamentos valiosos e pelo apoio constante ao longo deste trabalho. Ao meu orientador Fábio, expresso minha gratidão por sua orientação competente e inspirada.

A todos vocês, minha mais profunda gratidão. Este trabalho não é apenas meu, mas nosso.

"O conhecimento é poder. A informação é libertadora. A educação é a premissa do progresso, em toda sociedade, em cada família." — Kofi Annan

RESUMO

A poluição atmosférica é um grave problema, pois provoca inúmeros impactos ambientais, incluindo sérias doenças em seres humanos. Assim, é interessante realizar o monitoramento da qualidade do ar, especialmente em centros urbanos. Para tal, podem ser utilizados indicadores biológicos que forneçam informações de fácil obtenção sobre a qualidade do ar, a baixo custo e sem a necessidade de utilizar equipamentos complexos. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia dos líquens como bioindicadores da poluição do ar no centro urbano do município de Três Rios-RJ. Foram selecionados seis pontos de coleta de dados no centro urbano do município de Três Rios-RJ. Em cada ponto foi obtida a porcentagem média de cobertura do tronco de árvores por líquens, utilizando 40 árvores por ponto, com a exceção de um ponto, onde foram utilizadas 19 árvores. Em cada ponto também foram obtidas as seguintes variáveis ambientais: monóxido de carbono (CO); dióxido de carbono (CO₂); ozônio (O₃), materiais particulados PM_{2,5} e PM₁₀; temperatura do ar; pressão atmosférica e umidade relativa do ar. A porcentagem de cobertura do tronco por líquens foi maior no ponto 05 (PNM Três Rios – 7,65%), seguido do ponto 02 (Praça JK – 5,32%), do ponto 06 (Beira Rio – 3,91%), do ponto 03 (Praça São Sebastião – 3,95%), do ponto 01 (Praça dos Peixinhos – 2,70%) e do ponto 04 (Praça da Autonomia – 1,38%). Todos os pontos de coleta de dados foram enquadrados na Classe I de poluição do ar - grau de poluição muito forte. A exceção foi o ponto 5, que foi alocado na Classe II - grau de poluição alto. Não foi encontrada correlação significativa entre a porcentagem média de cobertura do tronco das árvores por líquens e os fatores estudados (Correlação de Spearman; $p > 0,05$). Todavia, cabe ressaltar a expressiva correlação negativa da porcentagem média de cobertura do tronco das árvores por líquens com a temperatura do ar ($-0,43$; $p = 0,40$) e, principalmente, com a concentração de CO₂ ($-0,60$; $p = 0,21$). A correlação entre a porcentagem de árvores com líquens folhosos e o número de veículos em circulação foi significativa negativa ($r_s = -0,83$; $p = 0,04$). Os resultados apontam para a existência de um cenário preocupante em relação à poluição atmosférica no centro urbano do município de Três Rios. Também apontam para a possibilidade de utilizar os líquens para monitorar a qualidade do ar no município, embora sejam necessários novos estudos para melhor elucidar a efetividade do uso dos líquens com este objetivo.

Palavras-chave: bioindicador, impactos ambientais, monitoramento ambiental.

ABSTRACT

Atmospheric pollution is a serious problem, as it causes numerous environmental impacts, including serious diseases in humans. Therefore, it is interesting to monitor air quality, especially in urban centers. To this end, biological indicators can be used that provide easily obtainable information about air quality, at low cost and without the need to use complex equipment. This study aimed to evaluate the effectiveness of lichens as bioindicators of air pollution in the urban center of the municipality of Três Rios, state of Rio de Janeiro, Brazil. Six data collection points were selected in the urban center of the municipality of Três Rios. At each point, the average percentage of tree trunk coverage by lichens was obtained, using 40 trees per point, with the exception of one point, where 19 trees were used. At each point, the following environmental variables were also obtained: carbon monoxide (CO); carbon dioxide (CO₂); ozone (O₃); particulate materials PM_{2.5} and PM₁₀; air temperature; atmospheric pressure and air humidity. The percentage of trunk coverage by lichens was highest at point 05 (PNM Três Rios – 7.65%), followed by point 02 (Praça JK – 5.32%), point 06 (Beira Rio – 3.91%), from point 03 (Praça São Sebastião – 3.95%), from point 01 (Praça dos Peixinhos – 2.70%), and the point 04 (Praça da Autonomia – 1.38%). All data collection points were classified as Class I air pollution - a very strong degree of pollution. The exception was point 5, which was allocated to Class II - high pollution level. No significant correlation was found between the average percentage of tree trunk coverage by lichens and the factors studied (Spearman Correlation; $p > 0.05$). However, it is worth highlighting the negative correlation between the average percentage of tree trunk coverage by lichens and air temperature (-0.43 ; $p = 0.40$) and, mainly, with CO₂ concentration (-0.60 ; $p = 0.21$). The correlation between the percentage of trees with leafy lichens and the number of vehicles in circulation was significantly negative ($r_s = -0.83$; $p = 0.04$). The results point to the existence of a worrying scenario in relation to air pollution in the urban center of the municipality of Três Rios. They also point to the possibility of using lichens to monitor air quality in the municipality, although new studies are needed to better elucidate the effectiveness of using lichens for this purpose.

Keywords: bioindicator, environmental impacts, environmental monitoring.

LISTA DE ABREVIACOES E SMBOLOS

% - Por cento

> - Maior Que

± - Mais ou Menos

µm - Micrômetro

C/F – Crostosos e Folhosos

cm - Centmetros

CO – Monxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

hab/km² - Habitantes por quilometro quadrado

hPa - Hectopascal

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDHM – ndice de Desenvolvimento Humano Municipal

km² - Quilometro quadrado

LC – Liquens Crostosos

LF – Liquens Folhosos

m/s – Metro por Segundo

m - Metro

mm - Milímetros

MP10 - Material Particulado com menos de 10 micrmetros de diâmetro

MP2,5 - Material Particulado com menos de 2,5 micrmetros de diâmetro

NO₂ – Dióxido de Nitrogênio

NO_x - óxido de Nitrogênio

O₃ - Ozônio

OMS- Organização Mundial de Saúde

PIB – Produto Interno bruto

PC – Porcentagem de Cobertura

PM – Partículas Finas (do inglês Particulate Matter)

PNM- Parque Natural Municipal

RJ – Rio de Janeiro

SO₂ – Dióxido de Enxofre

T - Temperatura

UR – Umidade Relativa

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Simbiose entre fungo e alga. Fonte: Sciencephotolibrary, 2022 <i>apud</i> Romanoski 2022.	18
Figura 2. Mapa de localização do município de Três Rios, Estado do Rio de Janeiro.	21
Figura 3. Mapa de Localização dos seis pontos de coleta no centro urbano do Município de Três Rios-RJ.	23
Figura 4. Mapa de Localização do Ponto 01- Praça dos Peixinhos, Município de Três Rios-RJ.	23
Figura 5. Mapa de Localização do Ponto 02- Praça Juscelino Kubitschek, município de Três Rios-RJ.	24
Figura 6. Mapa de Localização do Ponto 03- Praça São Sebastião, município de Três Rios-RJ.	24
Figura 7. Mapa de Localização do Ponto 04- Praça da Autonomia, município de Três Rios-RJ.	25
Figura 8. Mapa de Localização do Ponto 05- Parque Natural Municipal de Três Rios (PNM Três Rios / Horto), município de Três Rios-RJ.	25
Figura 9. Mapa de Localização do Ponto 06- Avenida Beira Rio, município de Três Rios-RJ.	26
Figura 10. Parcela posicionada de 15 cm x 15 cm, subdivida em 25 quadrados menores.	27
Figura 11. Carbon Monoxide Meter utilizado para medir o monóxido de carbono em Três Rios – RJ.	28

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Classes de poluição em função da cobertura do tronco de árvores por líquens e o grau de poluição do ar. Fonte: Troppmair (1977) e Piqué et al. (2005). 31
- Tabela 2.** Parâmetros obtidos nos pontos de coleta no município de Três Rios, Estado do Rio de Janeiro. Nota: T – temperatura do ar; UR – Umidade relativa do ar; PM_{2,5} – material particulado com menos de 2,5 microns de diâmetro; PM₁₀ – material particulado com menos de 10 microns de diâmetro; CO₂ – Dióxido de Carbono. 33
- Tabela 3.** Porcentagem de cobertura do tronco de árvores por líquens (PC), porcentagem de árvores com líquens crostosos (LC), folhosos (LF) e líquens folhosos e crostoso (C/F) e as classes de poluição em cada ponto de coleta no município de Três Rios, Estado do Rio de Janeiro..... 34
- Tabela 4.** Coeficiente de Correlação de Spearman (rs) indicando a relação entre a porcentagem de cobertura do tronco por líquens e os parâmetros ambientais..... 35

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.1.1 Objetivos Específicos	15
2. REVISÃO TEÓRICA.....	16
2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	16
2.2 LÍQUENS	18
2.3 BIOINDICADORES	19
2.4 LIQUENS COMO BIOINDICADORES	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1. ÁREA DE ESTUDO	21
3.2 COLETA DE DADOS	22
3.2.1 Pontos de monitoramento	22
3.2.2 Análises dos líquens nas árvores	26
3.2.3 Avaliação dos poluentes do ar	27
3.2.4 Avaliação do tráfego de veículos.....	30
3.3 ANÁLISE DE DADOS	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
6. REFERÊNCIAS	38
7. ANEXOS	47

1.INTRODUÇÃO

A rápida urbanização, o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico observados em todo o mundo resultaram no aumento significativo do consumo de energia e na emissão de poluentes por indústrias e veículos, principalmente decorrentes da queima de combustíveis fósseis, o que ocasiona a poluição atmosférica (Almeida *et al.* 2017, Almeida 2020). Estima-se que atualmente 50% da população mundial vive em áreas urbanas, tornando-as suscetíveis a níveis crescentes de poluentes do ar (Torres *et al.* 2020). Além disso, cerca de 99% da população mundial está sujeita a níveis de poluição atmosférica que ultrapassam os limites estabelecidos como seguros pela Organização Mundial da Saúde - OMS (OPAS 2022).

A poluição tem sido uma das maiores preocupações da humanidade no último século, uma vez que além de causar impactos negativos em ecossistemas terrestres e aquáticos, a sociedade e a economia são afetadas de forma adversa (Almeida 2020). Estudos mostram que a degradação da qualidade do ar afeta significativamente a saúde humana, mesmo em concentrações relativamente baixas, muitos poluentes atmosféricos têm potencial para causar danos significativos ao corpo humano (OPAS 2022).

O material particulado, especialmente as partículas finas (PM_{2,5}), adentra os pulmões e penetra na corrente sanguínea, afetando negativamente os sistemas cardiovascular, cerebrovascular e respiratório (Santos *et al.* 2019). Além disso, há crescentes evidências de que o material particulado também afeta outros órgãos e está associado ao desenvolvimento de diversas doenças (Nascimento 2020). Outro poluente que causa danos à saúde é o dióxido de nitrogênio (NO₂), estando relacionado principalmente a doenças respiratórias, especialmente a asma. Sintomas comuns a exposição a esse gás são a tosse, chiado no peito e dificuldade para respirar, muitas vezes resultando em internações hospitalares e busca por serviços de emergência (OPAS 2022).

De acordo com o relatório da OMS, uma em cada nove mortes no mundo foram ocasionadas pela exposição à poluentes no ar em ambiente externo, o que representa 7 milhões de mortes por ano, sendo aproximadamente 4 milhões de mortes atribuídas exclusivamente à poluição do ar ambiente (OPAS 2018). Esse problema está relacionado principalmente a material particulado com menos de 2,5 micrômetros de diâmetro (MP_{2,5}) (OMS 2022). Diante disso, o monitoramento da qualidade do ar tem sido uma temática abordada em todos os países do mundo, para embasar o planejamento de atividades e políticas públicas que visem reduzir a poluição atmosférica (Who 2018, Carneiro *et al.* 2021).

O monitoramento da poluição atmosférica com o auxílio de bioindicadores se tornou uma alternativa amplamente discutida, visto que essa abordagem permite obter resultados em diferentes prazos, sem a necessidade de dispendiosos equipamentos de monitoramento. Entre os diversos bioindicadores que podem ser utilizados, os líquens se destacam pela eficiência na indicação do grau de poluição, na facilidade de obtenção de dados e no baixo custo para a sua utilização como indicador biológico (Vaz 2012). Assim, são amplamente utilizados para o monitoramento da poluição atmosférica (Costa 2023).

O município de Três Rios, estrategicamente posicionado e bem conectado por uma extensa rede de rodovias e ferrovias, apresenta um significativo processo de desenvolvimento socioeconômico. No entanto, esse avanço traz consigo desafios significativos, como o considerável aumento no número de veículos, pois a frota de veículos cresceu 74,3% em uma década. Esse crescimento tem implicações diretas no aumento da poluição do ar na cidade, bem como em gastos na área de saúde pública, relacionados às doenças ocasionadas pela poluição do ar (Entre Rios Jornal 2012 Apud Soares *et al.* 2016, Soares *et al.* 2016).

Diante desse cenário, torna-se crucial a realização de estudos que possam embasar o uso dos líquens como indicadores da qualidade do ar, visando colaborar para a criação de estratégias para minimizar o problema, principalmente nos locais mais afetados pela poluição. Com isso, essa pesquisa colabora com conhecimento sobre a eficiência da utilização dos líquens para medir e monitorar a poluição atmosférica no município de Três Rios, em especial em áreas urbanizadas. Permite ainda uma compreensão mais completa da extensão e da natureza da poluição em Três Rios, indo além do monitoramento tradicional.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficácia dos líquens como bioindicadores da poluição do ar no centro urbano do município de Três Rios-RJ.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Indicar o grau da poluição atmosférica em diferentes pontos do centro urbano do município de Três Rios-RJ.
- Avaliar a relação entre os parâmetros obtidos acerca dos líquens sobre o tronco de árvores urbanas e as variáveis relacionadas à poluição do ar.
- Destacar a contribuição dos líquens como indicadores biológicos essenciais para monitorar a qualidade do ar em Três Rios, evidenciando seu papel crucial como indicador ambiental.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição atmosférica refere-se à presença na atmosfera externa de substâncias poluentes, isoladamente ou em combinação, em quantidades ou duração que possam ser prejudiciais à saúde humana, à flora, à fauna ou ao patrimônio. Os poluentes atmosféricos podem abranger uma variedade de elementos, como partículas de poeira, fumaça, vapores, cinzas de papel, fuligem, gases, névoas, materiais radioativos e produtos químicos tóxicos (Campos 2021).

O crescimento da urbanização em todo o mundo, juntamente com o avanço da tecnologia, o uso de veículos movidos à combustíveis fósseis, as queimadas e o desenvolvimento das atividades industriais, têm contribuído significativamente para a poluição do ar. Essa poluição provém de diversas fontes emissoras, que podem ser classificadas como antrópicas, resultantes das atividades humanas, e naturais, decorrentes de processos naturais. No contexto das fontes antrópicas, elas se dividem em duas: fontes fixas e fontes móveis (Silva 2020, Santos *et al.* 2019).

Um exemplo de fontes fixas são as indústrias, que se destacam como uma das principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos. Além disso, usinas termelétricas, que utilizam carvão, óleo combustível ou gás, e incineradores de resíduos são considerados grandes poluidores. Essas fontes são caracterizadas por suas emissões constantes e têm alto potencial poluidor. As fontes móveis são os meios de transporte, o que inclui veículos automotores, trens, aviões e embarcações marítimas. Nas áreas urbanas, os veículos são uma das principais fontes de poluição atmosférica, devido às suas emissões regulares (Silva 2020, Torres *et al.* 2020).

A emissão de poluentes, em grande parte decorrente da queima de combustíveis fósseis, é a principal causa desse cenário de elevada poluição atmosférica. Alguns dos poluentes atmosféricos mais relevantes incluem o dióxido de enxofre (SO₂), o ozônio (O₃), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NO_x) e as partículas finas em suspensão (PM10). Essa contaminação do ar está associada a uma série de problemas de saúde, com ênfase nos sistemas respiratório e cardiovascular. Doenças como asma e pneumonia são particularmente causadas pela poluição atmosférica, devido à exposição direta das vias respiratórias a esses poluentes (Pereira & Guarieiro 2019, Maciel *et al.* 2019).

No entanto, fontes naturais de poluentes são provenientes de processos naturais, como emissões de compostos orgânicos voláteis pela vegetação, partículas de poeira transportadas por ventos provenientes de desertos, erupções vulcânicas e processos biológicos (Silva 2020).

Há diversos poluentes que podem trazer, além dos danos ambientais e a flora, prejuízos à saúde humana. Dentre os poluentes mais comuns que afetam significativamente a atmosfera, há o CO₂ que é um gás do efeito estufa responsável pela regulação da temperatura da Terra, mantendo o planeta em uma faixa de temperatura adequada para a vida. Entretanto, o aumento significativo das concentrações desse gás devido às atividades humanas, em particular a queima de combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás natural utilizados para a geração de energia, transporte e nas indústrias, pode contribuir para o aquecimento global e as mudanças climáticas (Melo *et al.* 2021).

Outro poluente é o material particulado atmosférico, composto por partículas sólidas ou líquidas suspensas na atmosfera, sendo originário de diversas fontes. Essas fontes podem ser naturais, como a ressuspensão de poeira do solo causada pelo vento ou relacionadas a atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis. As partículas de PM são categorizadas com base em seus tamanhos, como MP₁₀, que inclui partículas com diâmetro inferior a 10 µm, e PM_{2.5}, que abrange partículas com diâmetro menor que 2,5 µm. Quando inaladas, dependendo de seu tamanho, podem atravessar a garganta e o nariz e penetrar profundamente nos pulmões. Isso pode resultar em sérios problemas de saúde, incluindo doenças respiratórias e cardiovasculares. (Santos *et al.* 2019, Martins *et al.* 2021).

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor e inodoro que consiste em uma molécula de carbono ligada a um átomo de oxigênio. Ele é produzido como subproduto da queima incompleta de materiais orgânicos que contenham carbono, como combustíveis fósseis (como carvão, petróleo e gás natural), madeira, plástico e outros materiais orgânicos. De acordo com Paixão *et al.* (2019), as emissões de CO associadas à queima de biomassa na floresta natural da Amazônia são estimadas em aproximadamente 50.3 ± 17.1 gramas de CO por quilograma de biomassa seca queimada.

A inalação de CO pode ser prejudicial à saúde, pois ele se liga à hemoglobina no sangue, reduzindo sua capacidade de transportar oxigênio. Isso pode causar sintomas como tontura, dor de cabeça e, em casos graves, envenenamento por monóxido de carbono (Coutinho *et al.* 2022).

O ozônio (O₃) desempenha um papel de destaque na poluição fotoquímica, mesmo em concentrações que estejam abaixo dos limites estabelecidos pelas agências ambientais. Além disso, existem indícios de que a exposição ao O₃ pode ter efeitos agravados na presença de outros componentes atmosféricos. Na atmosfera, o ozônio é mais abundantemente encontrado

na estratosfera, onde exerce uma função essencial na absorção de grande parte da radiação ultravioleta prejudicial à saúde humana. Essa função é fundamental para proteger a vida animal e vegetal. No entanto, a existência de concentrações elevadas de ozônio na troposfera pode resultar em efeitos prejudiciais para os organismos vivos e causar problemas ambientais (Lima *et al.* 2021).

2.2 LÍQUENS

Os líquens são organismos compostos por uma associação mutualística entre um fungo (micobionte) e uma alga ou cianobactéria (fotobionte) (Figura 1) (Cruvinel 2022). Essa parceria simbiótica permite que o fungo forneça um ambiente protegido e abrigo para o fotobionte, enquanto o fotobionte realiza a fotossíntese, produzindo alimentos que são compartilhados com o fungo (Braz 2020). A simbiose “viver junto” é uma associação estreita e duradoura entre organismos de espécies diferentes (Romanoski 2022).

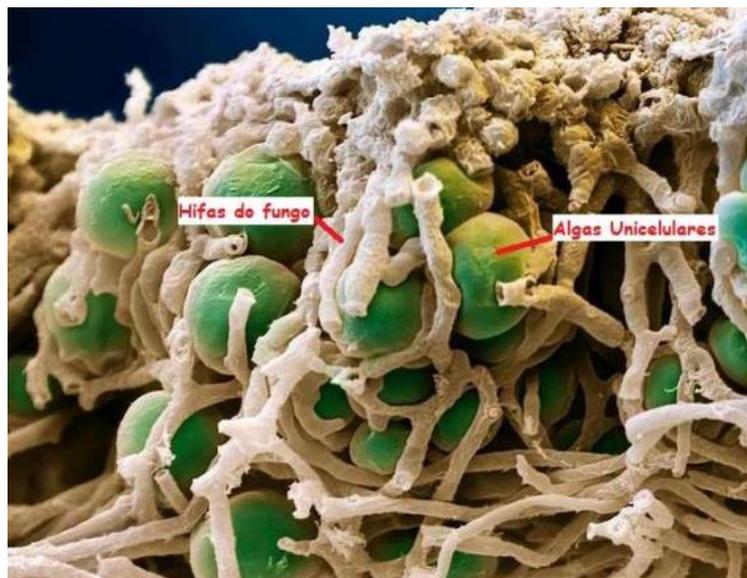


Figura 1. Simbiose entre fungo e alga. Fonte: Sciencephotolibrary, 2022 *apud* Romanoski 2022.

Os líquens são notavelmente diversos e podem ser classificados em cinco grupos principais: folioso, fruticoso, filamentosos, crostoso e dimórfico (Palharini *et al.* 2019). Cada grupo exibe distinções em suas características biológicas e morfologias. A identificação precisa dos tipos de líquens dentro desses grupos frequentemente requer uma análise detalhada de suas características morfológicas e anatômicas, auxiliada por um microscópio. Pode-se utilizar uma chave dicotômica de identificação dos gêneros (Romanoski 2022).

A existência desses organismos é fundamental em muitos ecossistemas, contribuindo para a formação do solo e fixação de nitrogênio. Eles possuem a facilidade de prosperar em locais onde algumas plantas enfrentam desafios para crescer. À medida que os líquens crescem e morrem, eles contribuem para a formação e estabilização do solo. O fungo também auxilia na quebra de rochas e minerais, enquanto a decomposição dos resíduos de líquens enriquece o solo com nutrientes essenciais, como carbono, nitrogênio e minerais, sendo especialmente vital em ambientes áridos e rochosos (Almeida 2022, Santos 2022).

Além disso, muitas espécies de cianobactérias presentes nos líquens são capazes de fixar nitrogênio atmosférico, convertendo-o em uma forma utilizável para outras plantas. O nitrogênio é essencial para o crescimento das plantas, mas nem todas as espécies conseguem absorvê-lo diretamente do ar. Portanto, os líquens também desempenham um papel significativo na ciclagem de nutrientes em ecossistemas, fornecendo nitrogênio para outros organismos. Além de serem sensíveis à poluição atmosférica, o que os torna úteis como bioindicadores da qualidade do ar (Romanoski & Gumboski 2021, Romanoski 2022).

2.3 BIOINDICADORES

A contaminação ambiental decorrente do crescente uso de agrotóxicos, descarte de dejetos sem tratamento e emissões de poluentes de fontes diversas têm suscitado preocupações quanto à disposição inadequada desses compostos no meio ambiente. Essa contaminação pode ser prejudicial aos organismos vivos, incluindo o ser humano, e seus resíduos podem representar um risco para o ecossistema (Prestes & Vincenci 2019).

Os métodos convencionais de avaliação da qualidade do ar em ambientes urbanos são tipicamente sofisticados e acarretam custos elevados. A integração do biomonitoramento pode contribuir para a redução desses custos. O biomonitoramento é realizado através da utilização de bioindicadores, nos quais as condições, a presença ou a abundância de grupos de espécies ou comunidades biológicas são empregadas como indicadores da condição ambiental (Silva & Figueiredo 2023).

Os organismos bioindicadores, mesmo sem perecerem devido às alterações ambientais, reagem a essas mudanças por meio de respostas comportamentais, físicas ou metabólicas mensuráveis, que indicam e refletem as transformações do ambiente onde habitam. Um indicador é uma característica do ambiente que, quando medida, fornece uma avaliação quantitativa do estresse, das características do habitat, do grau de exposição ao agente estressor ou, ainda, do grau de resposta ecológica à exposição (Prestes & Vincenci 2019).

Os métodos de estudo dos efeitos da poluição atmosférica sobre os líquens têm se baseado principalmente em abordagens fitossociológicas e ecofisiológicas, além da análise da presença ou ausência e da densidade de espécies de líquens. Por meio dessas metodologias, é possível estabelecer correlações entre fatores como a presença ou ausência de líquens, sua quantidade, a extensão de cobertura do substrato, bem como os danos observados tanto na parte externa quanto interna dos líquens e o nível de poluição presente na área de estudo (Coloni Junior 2019).

2.4 LIQUENS COMO BIOINDICADORES

Entre os diversos tipos de bioindicadores utilizados em estudos de poluição ambiental, os líquens destacam-se por várias vantagens. Primeiramente, sua ampla distribuição, facilidade de amostragem e habilidade de acumular diversos elementos de interesse ambiental os tornam um recurso valioso. Sua estrutura corporal simples lhes permite uma absorção eficaz de gases e componentes do ar, permitindo que esses elementos alcancem rapidamente suas células. Portanto, os líquens são amplamente utilizados em estudos relacionados à qualidade do ar (Prestes & Vincenci 2019).

Através de seu uso, é possível estabelecer escalas tanto quantitativas quanto qualitativas para avaliar os níveis de contaminação em áreas com uma variedade de características de poluição atmosférica. Além disso, exibem uma afinidade notável com o ambiente onde estão inseridos, o que lhes permite indicar a umidade do ar, acidez do substrato, pH e, o mais importante, sua alta sensibilidade a uma ampla gama de poluentes (Braz 2020).

A natureza dual da associação entre os componentes do líquen e a sensibilidade dos líquens a distúrbios ambientais conferem a eles um grande potencial como bioindicadores. Diversas espécies de líquens demonstram uma notável capacidade de resistência a estresses ambientais e a eficácia na acumulação de poluentes atmosféricos, ao passo que outras são bastante sensíveis a poluentes específicos, causando danos fisiológicos, por vezes irreversíveis, a essas espécies (Braz & Longo 2021).

Essa característica das diferentes espécies de líquens possibilita a utilização de métodos de biomonitoramento que englobam a quantificação das populações líquênicas de variadas espécies, a análise da morfologia do talo e a investigação dos níveis de metais pesados acumulados, bem como a detecção de resíduos de esgoto, como parte das avaliações ambientais (Braz 2020).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O município de Três Rios abrange uma área de 322,843km², situando-se a 275 metros acima do nível do mar. Sua topografia é caracterizada por morros arredondados e apresenta um relevo típico de vales. O município está localizado entre rios, sendo o principal deles o Paraíba do Sul, que atravessa a região de oeste a leste (Figura 2; IBGE 2022). Três Rios têm população de 78.346 habitantes, densidade demográfica de 242,68 hab/km² (IBGE 2022), PIB per capita de R\$ 65.103,57 em 2020 e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,725 em 2010 (IBGE 2023).

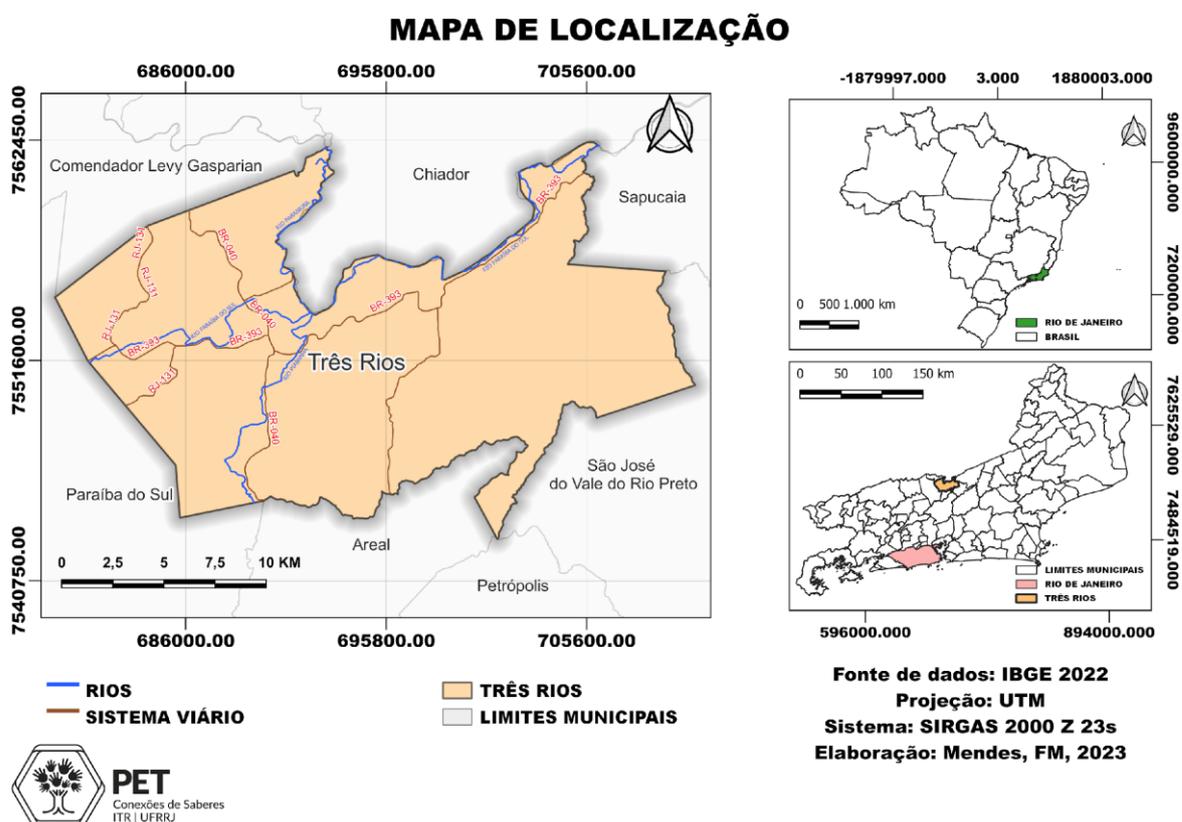


Figura 2. Mapa de localização do município de Três Rios, Estado do Rio de Janeiro.

O município apresentou elevado crescimento industrial e urbano nas últimas décadas, por estar localizado em relevante cruzamento rodoferroviário, o qual permite a ligação com os três maiores centros consumidores do país (São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais), disponibilidade hídrica e por incentivos fiscais (Milward de Azevedo 2012). Duas importantes rodovias federais (BR-040 e BR-393) perpassam o município.

A maior parte da população de Três Rios, cerca de 97%, vive na área urbana da cidade, que cobre aproximadamente 28 km². Dessa área, 88% são densamente urbanizados, com prédios próximos uns dos outros, e 12% são menos densamente urbanizados, com terrenos mais espaçados (IBGE 2015 *apud* Silva 2023).

Três Rios está localizada em uma região montanhosa, destacando-se as serras Alto da Terra Seca, Retiro e Cavarú, morros e colinas com diferentes altitudes. A ocupação da cidade tende a ocorrer em áreas planas e vales, frequentemente próximas a áreas de inundação. (Valladares *et al.* 2012, Cohidro 2016).

A cidade apresenta um clima mesotérmico, com verão quente e chuvoso, e temperatura variando de 14,2° até 37, 4° (Silva-Filho *et al.* 2013). A temperatura média anual é de 22°C, com o mês mais quente sendo fevereiro, com média de 25,5°C, e o mês mais frio é julho, com média de 18,4°C. A variação média anual é de 1.592 mm, com o período mais chuvoso de novembro a janeiro e uma estação seca de junho a agosto (Alvares *et al.* 2013).

Em Três Rios os ventos são geralmente calmos, com uma velocidade média de 1,90 m/s durante a maior parte do ano. Nos meses de agosto, setembro e outubro, a direção predominante do vento é nordeste, e a intensidade do vento é maior na primavera e menor no outono.

3.2 COLETA DE DADOS

3.2.1 Pontos de monitoramento

Para realização desta pesquisa foram selecionados seis pontos de coletas de dados no centro urbano do município de Três Rios (Figura 3), sendo eles:

- P-01: Praça dos Peixinhos, localizada na rua Dr. Antônio Mendes (Figura 4);
- P-02: Praça Juscelino Kubitschek que está localizado na Rua Rui Barbosa (Figura 5);
- P-03: Praça São Sebastião localizada na Quinze de Novembro (Figura 6);
- P-04: Praça da Autonomia que fica localizada nas ruas Barão de Entre-Rios (Figura 7);
- P-05: Parque Natural Municipal de Três Rios (Horto) localizado na Avenida Tenente Enéas Torno (Figura 8); e
- P-06: Beira Rio que está localizada na Avenida Prefeito Alberto da Silva Lavinas (Figura 9).

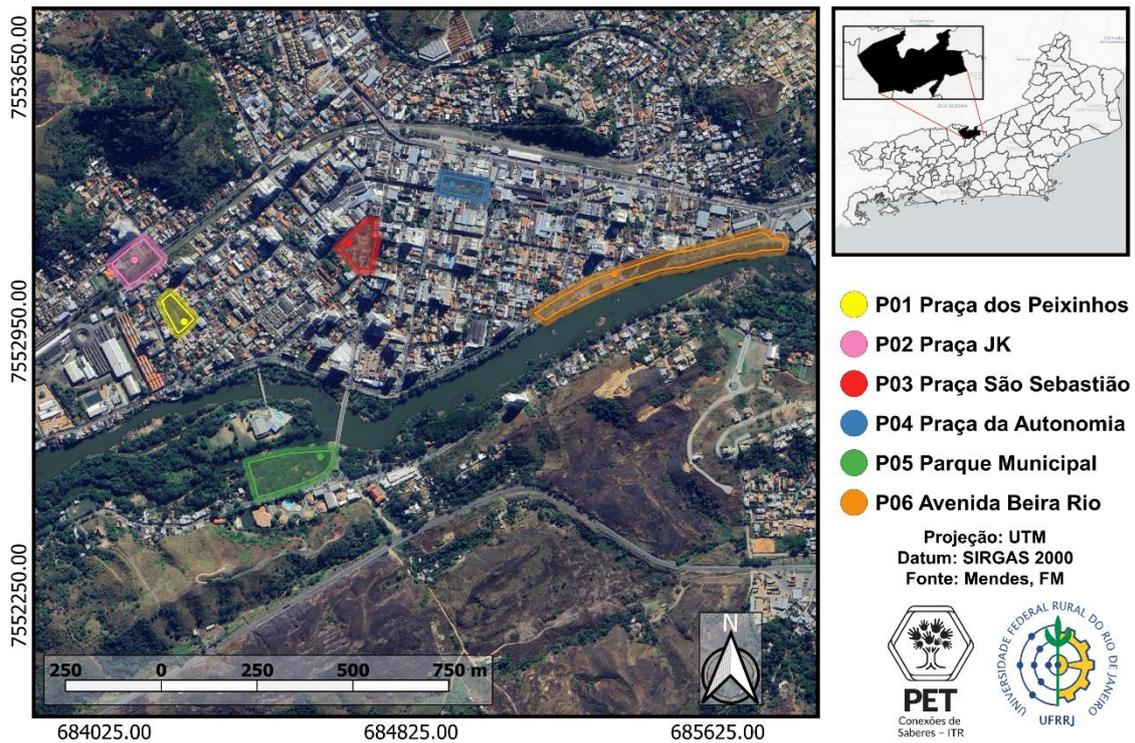


Figura 3. Mapa de Localização dos seis pontos de coleta no centro urbano do Município de Três Rios-RJ.

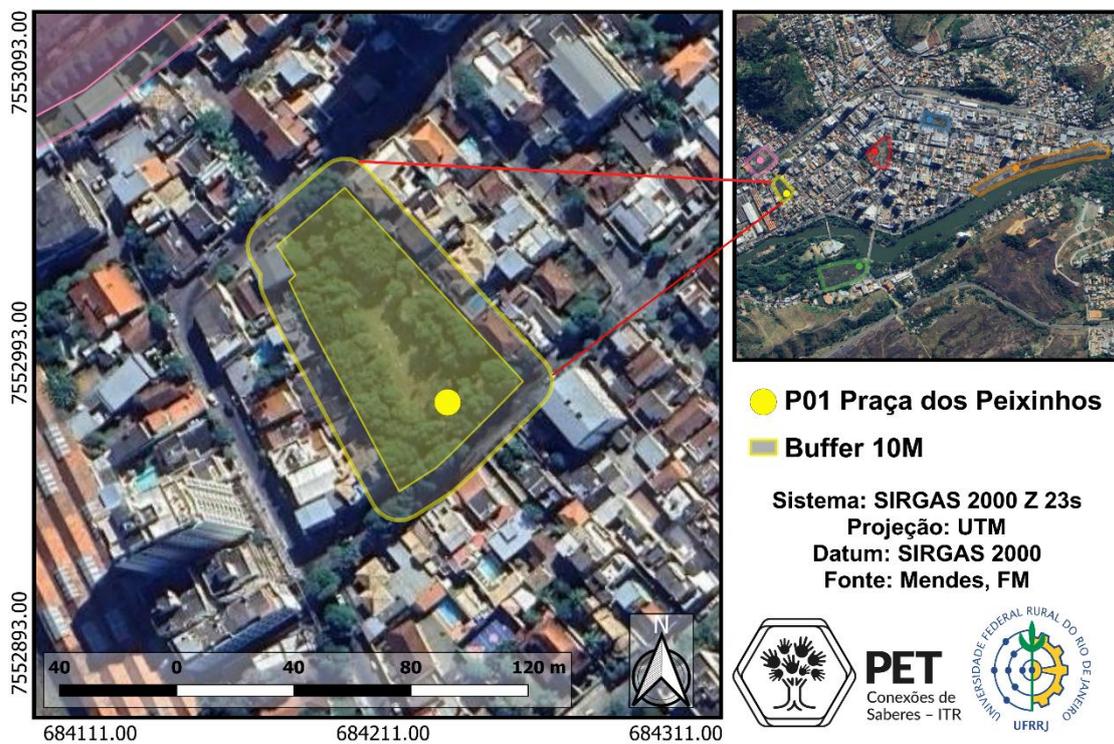


Figura 4. Mapa de Localização do Ponto 01- Praça dos Peixinhos, Município de Três Rios-RJ.

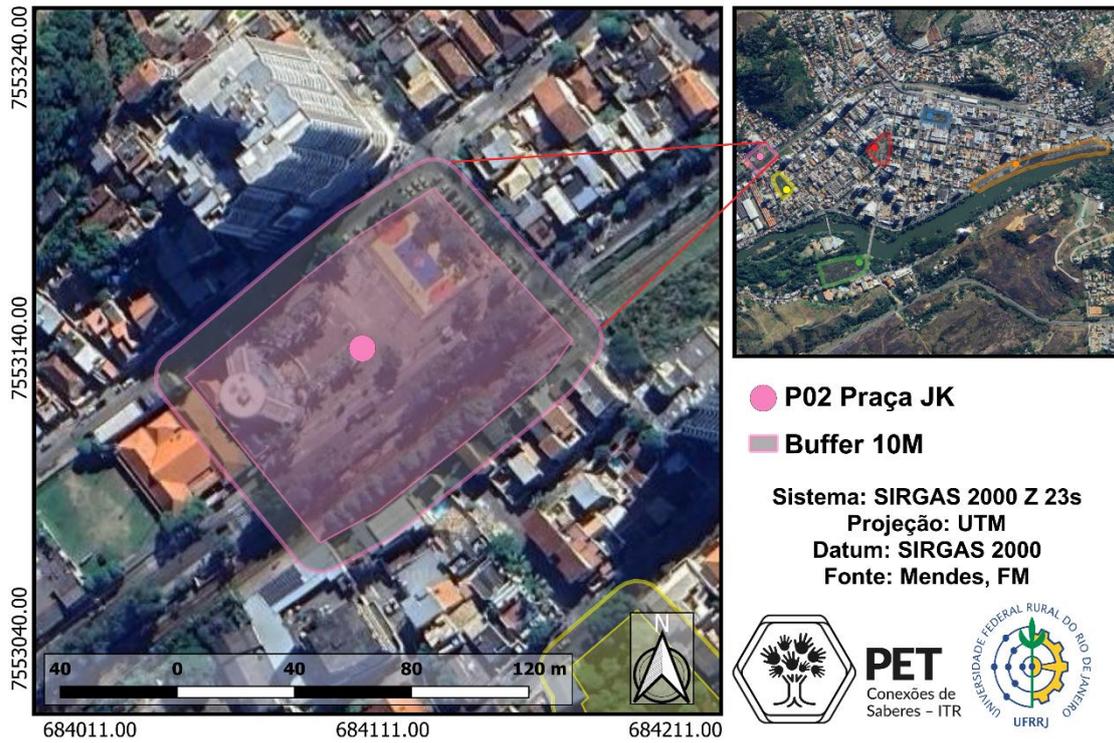


Figura 5. Mapa de Localização do Ponto 02- Praça Juscelino Kubitschek, município de Três Rios-RJ.

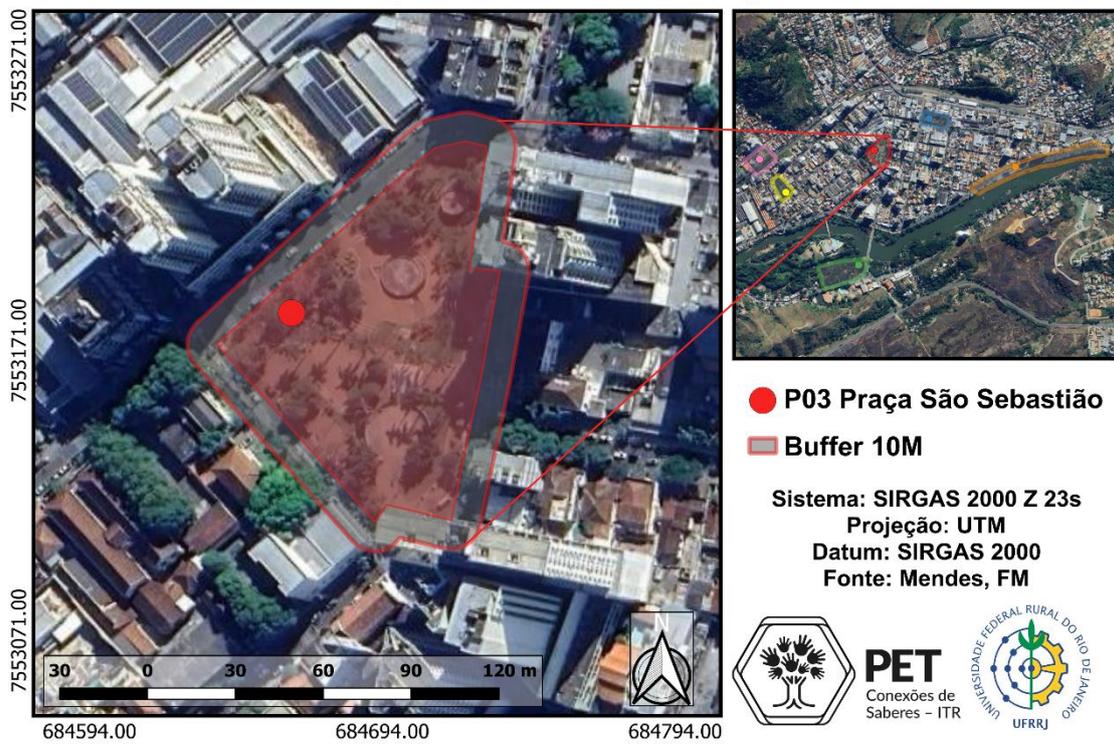


Figura 6. Mapa de Localização do Ponto 03- Praça São Sebastião, município de Três Rios-RJ.

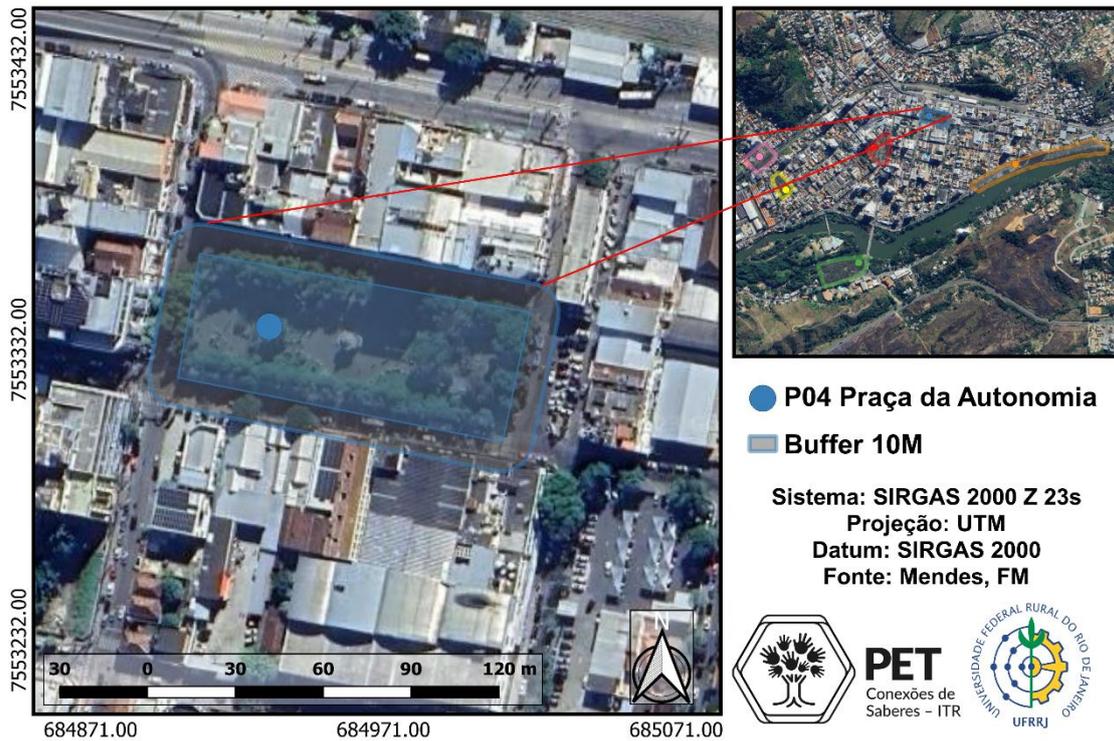


Figura 7. Mapa de Localização do Ponto 04- Praça da Autonomia, município de Três Rios-RJ.

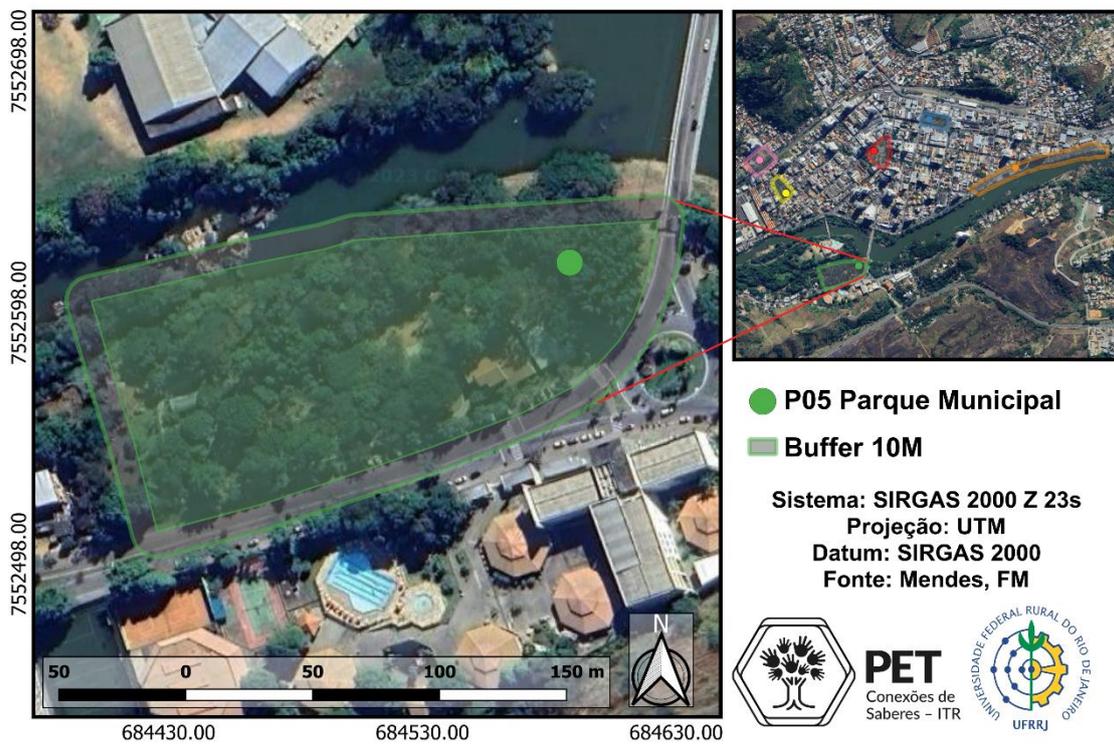


Figura 8. Mapa de Localização do Ponto 05- Parque Natural Municipal de Três Rios (PNM Três Rios / Horto), município de Três Rios-RJ.

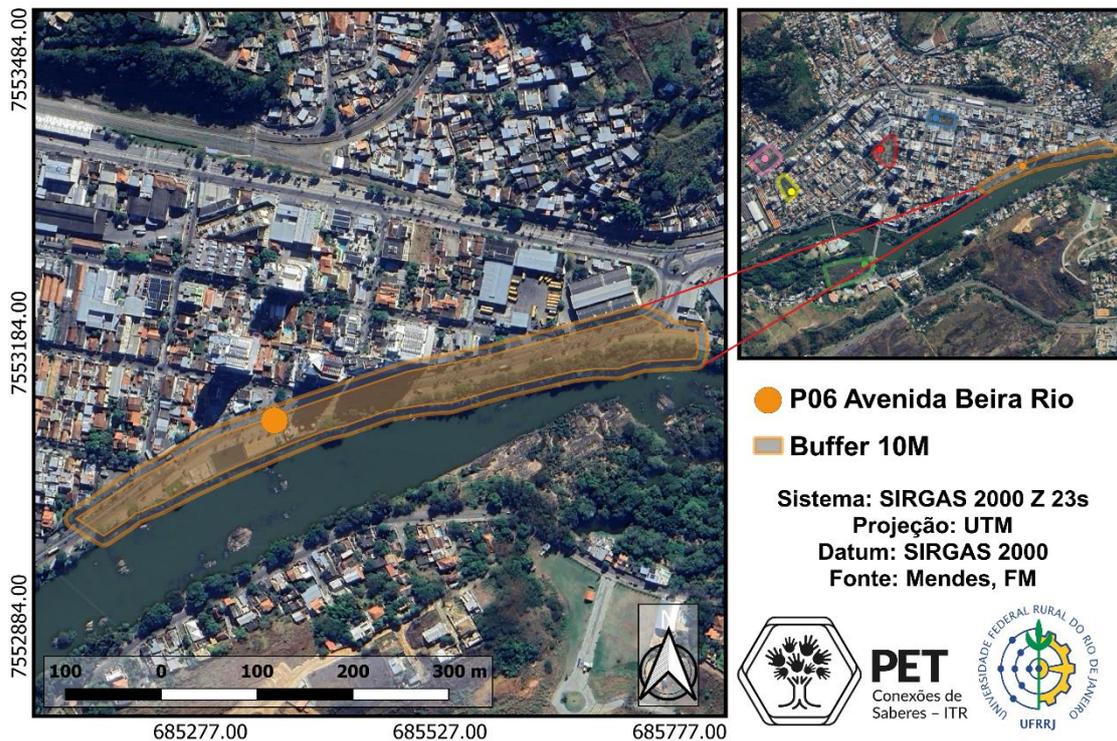


Figura 9. Mapa de Localização do Ponto 06- Avenida Beira Rio, município de Três Rios-RJ.

3.2.2 Análises dos líquens nas árvores

A metodologia escolhida para a análise dos líquens nas árvores foi similar ao trabalho de Soares *et al* (2016) e Troppmair (1997). Em cada ponto selecionado foram analisadas 40 árvores, com a exceção do ponto 02 (Praça JK), onde apenas 19 foram utilizadas, devido à disponibilidade limitada de árvores. Na altura de 1,50 m em relação ao solo foi estimada a cobertura do tronco de cada árvore por líquens, na porção do tronco voltada para o norte, o sul, o leste e o oeste. Em cada lado do tronco das árvores posicionou-se uma parcela de 15 cm x 15 cm, subdivida em 25 quadrados menores (Figura 10). As parcelas foram confeccionadas com plástico transparente. Obteve-se uma fotografia de cada parcela alocada sobre o tronco das árvores, para posterior estimativa da porcentagem da área da parcela coberta por líquens. A porcentagem de ocupação dos líquens em cada quadrante foi contabilizada de acordo com número e a proporção de quadrados preenchidos dentro da parcela, sendo que cada um dos quadrados menores equivale a 4% do total da área da parcela. Obteve-se, para cada ponto de amostragem, a porcentagem média de cobertura do tronco de árvores por líquens

Além disso, em cada árvore foi registrada a presença de líquens folhosos e/ou crostosos. Posteriormente, foi calculada a porcentagem de árvores com a presença de líquens folhosos e/ou crostosos em cada ponto de amostragem.



Figura 10. Parcela posicionada de 15 cm x 15 cm, subdivida em 25 quadrados menores.

3.2.3 Avaliação dos poluentes do ar

Entre os dias 07 e 09 de agosto de 2023 foram realizadas medições das concentrações de poluentes atmosféricos nos pontos selecionados (Anexo 1). As medições foram realizadas em quatro horários no dia: 06:00 h, 09:00 h, 18:00 h e 21:00 h. As medidas foram realizadas a partir de uma rede de monitoramento móvel, com a utilização de aparelhos portáteis de monitoramento dos poluentes e de parâmetros atmosféricos. Os Aparelhos utilizados foram:

- Air Quality Detector Precision Instrument (Figura 11);
- Air Quality (Figura 12);
- Carbon Monoxide Meter (Figura 13);
- Brunton ADC Pro (Figura 14).



Figura 11. Air Quality Detector Precision Instrument utilizado para medir dióxido de carbono e material particulado na cidade de Três Rios - RJ



Figura 12. Air Quality utilizado para medir ozônio na cidade de Três Rios - RJ



Figura 11. Carbon Monoxide Meter utilizado para medir o monóxido de carbono em Três Rios – RJ.



Figura 14. Brunton® / ADC PRO utilizado para medir a temperatura atmosférica em Três Rios – RJ.

Para garantir a precisão das medições, foi dedicado um minuto à estabilização do aparelho em cada coleta. Cada um desses horários de medição correspondeu a um percurso que durou aproximadamente 50 minutos de acordo com Araujo *et al* (2010) que determina o máximo de 1 hora para duração de medições por transectos moveis.

É importante destacar que a escolha desses horários foi cuidadosamente planejada com base em diferentes fatores que podem afetar as condições de poluição. Optou-se por realizar medições nos horários de 6:00 h e 21:00 h, que são geralmente considerados períodos de baixo tráfego e, portanto, com menor concentração de poluentes. Esses momentos representam as primeiras horas da manhã e o início da noite, quando há menos atividade intraurbana e, conseqüentemente, menos veículos em circulação.

Por outro lado, os horários de 9:00 h e 18:00 h foram selecionados devido às características distintas que apresentam. Às 9:00 h, observamos um aumento significativo no tráfego de veículos, uma vez que é o horário em que os estabelecimentos comerciais começam a abrir na cidade, resultando em um aumento no fluxo de veículos e, potencialmente, em níveis mais elevados de poluição. Às 18:00 h, observa-se o horário de pico, caracterizado por uma intensa movimentação de carros devido ao encerramento do expediente no centro urbano.

Vale ressaltar que todas as medições foram conduzidas através de bicicleta, proporcionando um meio de transporte sustentável que não emite poluentes atmosféricos, garantindo assim a integridade das medições e minimizando o impacto do deslocamento nos resultados.

Além disso, a coleta de dados às 21:00 h foi realizada visando a considerável diminuição do fluxo de tráfego e a influência reduzida da incidência solar, o que pode afetar a dispersão de poluentes. Dessa forma, a escolha desses horários estratégicos permitiu uma avaliação abrangente das condições de poluição ao longo do dia, levando em consideração os diferentes níveis de atividade urbana e variações ambientais.

Os poluentes monitorados foram: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e ozônio (O₃), além de materiais particulados PM_{2,5} e PM₁₀ e dos parâmetros temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa do ar. Os registros das concentrações dos poluentes ocorreram na estação do inverno, em dias de céu aberto e sol pleno. Foram feitos registros com os aparelhos a uma altura de 1,50 m em relação ao solo e em direção contrária ao vento. Medir a poluição a 1,5 m de altura do solo ajuda a entender quais poluentes as pessoas respiram e segue as regras de controle.

De acordo com a lei dos gases ideais, as concentrações dos poluentes atmosféricos variam de acordo com as condições de pressão e temperatura atmosféricas e como os equipamentos não possuem medidores conjuntos de pressão e temperatura, as concentrações não podem ser compensadas automaticamente e devem ser corrigidas através da equação abaixo:

$$p(t,p) = P(25^{\circ}\text{C}, 1013\text{hPa}) \times (p/1013) \times (298/273+t)$$

P = concentração medida no aparelho

p = pressão atmosférica

t = temperatura em kelvin

3.2.4 Avaliação do tráfego de veículos

A coleta de dados de tráfego foi realizada nos seis pontos durante um sábado, das 13:00 h às 18:30 h, com o objetivo de capturar informações representativas sobre o tráfego nesse período.

Cada ponto de contagem foi monitorado por uma hora, proporcionando uma visão abrangente do movimento dos veículos em diferentes momentos do dia. As contagens foram realizadas de maneira precisa, registrando o número total de carros que passaram por cada ponto de observação.

Além da coleta no sábado, foram realizadas contagens adicionais durante os dias úteis para colher os dados no horário de pico na cidade. Em uma terça-feira, foram monitorados os Pontos 01, 03 e 05 das 17:10 h às 18:10 h. Já em uma quarta-feira, os Pontos 02, 04 e 06 foram monitorados no mesmo intervalo de tempo.

Essa abordagem mais ampla permitiu não apenas capturar o comportamento do tráfego em diferentes horários de um sábado, mas também identificar padrões específicos nos dias úteis, quando a dinâmica do tráfego pode ser influenciada por fatores diferentes. Entre esses, destacam-se as movimentações como o horário de saída das escolas, quando a presença de crianças e pais aumenta significativamente, e o término do expediente, resultando em um fluxo mais intenso de pessoas saindo de seus locais de trabalho resultando em um aumento no número de veículos.

Essa estratégia acrescentou uma dimensão significativa à pesquisa. A busca por correlações entre o movimento urbano e a qualidade do ar, através da presença de líquens, oferece uma perspectiva mais completa e valiosa para embasar futuras decisões e iniciativas em prol de uma cidade mais sustentável e saudável.

3.3 ANÁLISE DE DADOS

Foi obtida a porcentagem média de cobertura do tronco das árvores por líquens, com posterior classificação dos pontos de coleta nas classes de poluição (Troppmair, 1977; Troppmair, 1988; Antunes, 1997; Piqué et al, 2005), conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Classes de poluição em função da cobertura do tronco de árvores por líquens e o grau de poluição do ar. Fonte: Troppmair (1977) e Piqué et al. (2005).

Classe de Poluição	Cobertura do tronco de árvores por líquens (%)	Grau de poluição do ar
V	51 a 100%	sem poluição
IV	26 a 50%	fraca
III	13 a 25%	média
II	6 a 12%	alta
I	0 a 6%	muito forte

Foi utilizada a correlação de Spearman para estudar a relação entre a porcentagem média de cobertura do tronco de árvores por líquens e também a porcentagem de árvores com líquens folhosos e as médias por ponto de coleta das variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar, PM_{2,5}, PM₁₀, CO₂ e o número de veículos contabilizados trafegando em cada ponto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os dias de monitoramento a temperatura variou entre 15,5 °C e 30,1 °C. A umidade relativa do ar variou de 50,4% a 81,6% e a pressão atmosférica apresentou uma variação de 982 hPA até 989,4 hPA (Anexo 1).

A temperatura e a umidade relativa do ar médias apresentaram uma variação relativamente pequena entre os pontos de coleta, com a temperatura média sendo menor no ponto 02 (Praça JK) e maior no ponto 04 (Praça da Autonomia) (Tabela 2). A umidade relativa do ar foi menor no ponto 01 (Praça dos Peixinhos) e também apresentou maior valor médio no ponto 04. O aumento da temperatura do ar geralmente acarreta na redução na umidade relativa

do ar (Trindade & Pereira Filho 2023), mas tal relação não ocorreu na comparação destas variáveis entre as diferentes localidades estudadas. Isso pode ter ocorrido em função de variações ambientais entre os pontos de coleta, incluindo variações relativas à arborização urbana, intensidade e direção dos ventos, incidência solar, área asfaltada, densidade de prédios e de outras construções, dentre outros fatores (Alves & Biudes 2012).

O monitoramento através de transecto móvel não identificou concentrações de monóxido de carbono nos locais externos avaliados. Quanto aos valores de ozônio, foram identificadas apenas seis medidas nos pontos 01, 03, 04 e 06. O horário que apresentou os maiores valores de ozônio troposférico foi 18:00 h (Anexo 1).

A análise das concentrações de material particulado (MP) revela informações cruciais sobre a qualidade do ar em diferentes pontos da cidade. Entre os dados significativos, destaca-se a Praça dos Peixinhos, que apresenta às 09:00 h de quarta-feira, uma maior concentração de PM_{2,5}. Por outro lado, a Praça da Autonomia às 18:00 h de quarta-feira, registra uma maior concentração de PM₁₀, indicando possíveis fontes industriais ou de tráfego nesse local (Anexo 1).

O ponto 01 (Praça dos Peixinhos) apresentou a menor concentração média de material particulado (PM_{2,5} e PM₁₀), o que pode estar associado ao menor fluxo de veículos no local, embora o ponto 05 (PNM Três Rios) tenha apresentado número de veículos similar ao ponto 01 e a maior concentração de material particulado fino (PM_{2,5}) (Tabela 2). O ponto 06 (Beira Rio) apresentou a maior concentração média de partículas inaláveis (PM₁₀) e o maior número de veículos em circulação durante o período avaliado, o que reforça a relação entre o fluxo de veículos e a poluição atmosférica. Além disso, deve-se ressaltar que podem ocorrer variações nos pontos de coleta em relação à abundância de fontes de materiais particulados.

As análises enfatizam a importância de compreender essas variações para desenvolver estratégias na gestão ambiental. Além disso, é crucial considerar o contexto do uso do solo, uma vez que as diferenças observadas podem estar relacionadas às atividades específicas de cada local. Portanto, a análise do material particulado não apenas fornece uma visão detalhada da qualidade do ar em diferentes momentos e locais, mas também destaca a necessidade de abordagens personalizadas para a gestão ambiental, mitigando os impactos negativos na saúde pública e no bem-estar da população.

É relevante mencionar que a umidade relativa do ar pode se correlacionar negativamente com a concentração de partículas no ar, pois gera a maior remoção de tais partículas em função da sua agregação e precipitação (Santos *et al.* 2019). Essa relação não foi observada no presente estudo, quando se observa as variações dos valores médios de umidade relativa do ar e

concentração de material particulado entre os pontos de coleta. Isso corrobora a hipótese de que variáveis ambientais não avaliadas no presente estudo, incluindo outras fontes de poluição além dos veículos em circulação, podem ter influenciado os resultados.

No que se refere ao CO₂, os dados indicam variações consideráveis em diferentes locais e horários (Anexo 1). A concentração média de CO₂ foi maior no P-01 e menor no P-05, com o P-06 apresentando valor similar ao P-05. Logicamente, as variações nas condições ambientais podem influenciar na dispersão dos poluentes e, conseqüentemente, nos resultados aqui apresentados.

Tabela 2. Valores médios dos Parâmetros T; UR; PM_{2,5}; PM₁₀ e CO₂ e Valor total de número de carros obtidos nos pontos de coleta no município de Três Rios, Estado do Rio de Janeiro. Nota: T – temperatura do ar; UR – Umidade relativa do ar; PM_{2,5} – material particulado com menos de 2,5 micrômetro de diâmetro; PM₁₀ – material particulado com menos de 10 micrômetros de diâmetro; CO₂ – Dióxido de Carbono.

Parâmetros	Pontos de Coleta					
	P-01	P-02	P-03	P-04	P-05	P-06
T(°C)	22,52	22,46	22,87	23,43	23,26	23,41
UR (%)	66,68	67,58	66,74	67,88	67,64	67,32
PM _{2,5} (ug/m ³)	19,92	20,17	22,50	23,92	26,25	25,67
PM ₁₀ (ug/m ³)	34,75	36,17	39,92	44,58	45,67	45,75
CO ₂ (ppm)	857,42	764,17	789,00	773,33	722,58	725,42
Número de veículos	1252	1351	2299	1837	1299	2352

A porcentagem de cobertura do tronco por líquens foi maior no ponto 05 (PNM Três Rios), seguido do ponto 02 (Praça JK), do ponto 03 (Praça São Sebastião), do ponto 06 (Beira Rio), do ponto 01 (Praça dos Peixinhos), com o ponto 04 (Praça da Autonomia) apresentando a menor porcentagem de cobertura do tronco por líquens (Tabela 3). Em relação à porcentagem de árvores com líquens crostosos ou folhosos, observa-se uma elevada variação nos valores observados nas áreas em estudo. Essa disparidade evidencia diferentes níveis de propensão desses líquens em colonizar as árvores em cada ponto de coleta. A porcentagem de árvores com líquens crostosos e a presença conjunta de líquens folhosos também demonstrou divergências

marcantes entre os pontos de coleta, refletindo diferentes condições ambientais ou características específicas em cada local.

Todos os pontos de coleta de dados foram enquadrados na Classe I de poluição do ar - grau de poluição muito forte. A exceção foi o ponto 5, que foi alocado na Classe II - grau de poluição alto. O PNM Três Rios é uma Unidade de Conservação da Natureza municipal que possui em seu território o rio Paraíba do Sul, fragmento de mata ciliar e considerável número de árvores plantadas formando uma área verde urbana. Essa arborização pode proporcionar condições ambientais para a maior presença de líquens. Além disso, este local tem condições favoráveis para a dispersão de poluentes, além de ter apresentado um dos menores valores no que tange a estimativa da circulação de veículos. Outro local que possui condições favoráveis para a dispersão de poluentes é a Avenida Beira Rio (P-06), mas esteve entre os pontos com maior circulação de veículos.

Tabela 3. Média da Porcentagem de cobertura do tronco de árvores por líquens (PC), porcentagem de árvores com líquens crostosos (LC), folhosos (LF) e líquens folhosos e crostoso (C/F) e as classes de poluição em cada ponto de coleta no município de Três Rios, Estado do Rio de Janeiro

Parâmetros	Pontos de Coleta					
	P-01	P-02	P-03	P-04	P-05	P-06
PC (%)	2,70	5,32	3,98	1,38	7,65	3,91
LC (%)	12,5	47,34	45,00	52,5	52,5	67,5
LF (%)	47,5	5,26	5,00	25,00	7,50	2,50
LC/F (%)	17,5	26,31	20,00	5,00	27,50	7,50
Classe de Poluição	I	I	I	I	II	I

Não foi encontrada correlação significativa entre a porcentagem média de cobertura do tronco das árvores por líquens e os fatores estudados (Correlação de Spearman; $p > 0,05$; Tabela 4). Todavia, cabe ressaltar a expressiva correlação negativa da porcentagem média de cobertura do tronco das árvores por líquens com a temperatura do ar e, principalmente, com a concentração de CO₂. A temperatura do ar alta pode dificultar o crescimento dos líquens, em função da perda de água. O aumento da concentração de CO₂, além de potencialmente afetar negativamente os líquens (Kemerich *et al.* 2011), também pode significar que o ar local apresenta maior concentração de outros poluentes, inclusive alguns não avaliados na presente

pesquisa. Assim, a cobertura por líquens tende a aumentar em locais com menor concentração de CO₂ e, provavelmente, menor grau de poluição do ar em geral. Contudo, ressalta-se que se esperava que a correlação entre a porcentagem de cobertura do tronco por líquens e a concentração de partículas no ar (PM 2,5 e PM 10) fosse negativa (Andrighi *et al.* 2019).

Tabela 4. Coeficiente de Correlação de Spearman (rs) indicando a relação entre a porcentagem de cobertura do tronco por líquens e os parâmetros ambientais.

Parâmetros	rs	t	p
Temperatura do ar	-0,43	-0,95	0,40
Umidade Relativa do Ar	0,09	0,17	0,87
PM 2,5	0,31	0,66	0,54
PM 10	0,14	0,29	0,79
CO ₂	-0,60	-1,50	0,21
Número de veículos	-0,14	-0,29	0,79

Já na análise da correlação entre a porcentagem de árvores com líquens folhosos e os parâmetros ambientais estudados, pode-se observar coeficientes de correlação negativos para a temperatura do ar, PM 2,5, PM 10 e o número de veículos (Tabela 5). Ademais, a correlação entre a porcentagem de árvores com líquens folhosos e o número de veículos em circulação foi significativa. Assim, evidencia-se a possibilidade de utilizar os líquens folhosos como indicadores biológicos da poluição do ar em Três Rios, pela sua sensibilidade à poluição atmosférica.

Tabela 5. Coeficiente de Correlação de Spearman (rs) indicando a relação entre a porcentagem de árvores com líquens folhosos e os parâmetros ambientais.

Parâmetros	rs	t	p
Temperatura do ar	-0,09	-0,17	0,87
Umidade Relativa do Ar	0,09	0,17	0,87
PM 2,5	-0,37	-0,80	0,47
PM 10	-0,54	-1,29	0,27
CO ₂	0,43	0,95	0,40
Número de veículos	-0,83	-2,96	0,04

Considerando pesquisa anterior realizada em Três Rios as conclusões deste estudo convergem de descobertas de outros autores (Soares *et al.* 2016) uma vez que a ênfase desse estudo recai apenas sobre a relação entre a presença de líquens e o fluxo de veículos. Por outro lado, o presente trabalho analisa a presença de líquens em diferentes locais, correlacionando-a com variáveis ambientais como temperatura, umidade relativa do ar, concentração de CO₂ e material particulado.

Os resultados de pesquisas anteriores (Soares *et al.* 2016), apontam para uma relação inversamente proporcional entre o fluxo de veículos e a presença de líquens, indicando que áreas com menor tráfego possuem maior cobertura de líquens. Assim como constatado no presente estudo para a porcentagem de árvores com líquens folhosos.

A pesquisa não considerou para análise de dados a coloração dos líquens encontrados. No entanto, é importante informar que foram encontrados líquens de diferentes colorações: crostosos em tons de verde claro, verde musgo, branco, cinza e preto; folhosos de coloração, verde água, esverdeado e acinzentado. As cores variadas dos líquens se devem à combinação de algas, fungos ou cianobactérias na simbiose que formam esses organismos (Costa 2020). Além disso, a falta de identificação específica de espécies de líquens nas áreas estudadas destaca uma lacuna que poderia ser preenchida por investigações futuras, conforme sugerido por Costa & Mineo (2013).

Os resultados destacam a necessidade contínua de uma abordagem holística na compreensão da ecologia urbana e a sua relação com a poluição do ar, devido à complexidade das relações. Ao integrar dados estruturais do planejamento com a presença de bioindicadores, os estudos oferecem um panorama mais completo, fomentando discussões sobre estratégias de gestão ambiental. É possível sugerir que as futuras pesquisas sobre a relação entre a porcentagem de cobertura do tronco por líquens e a concentração de poluentes atmosféricos utilizem maior número de pontos de coleta, realizem o monitoramento da qualidade de ar em um maior período de tempo, busquem categorizar os líquens existentes e abordem poluentes não avaliados no presente estudo. Além disso, pode-se realizar o monitoramento dos poluentes atmosféricos por maior período de tempo, apresentando uma melhor avaliação das diferenças na concentração de poluentes entre as localidades. Isso pode ser útil na compreensão da eficiência da utilização de líquens como bioindicadores em Três Rios e aprimorar ainda mais a compreensão dos impactos da poluição atmosférica nas áreas urbanas do município.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da porcentagem de cobertura do tronco de árvores por líquens indicou um cenário preocupante em relação à poluição atmosférica em Três Rios. Contudo, são necessários novos estudos para elucidar a efetividade da utilização desta variável como indicadora do nível de poluição atmosférica no município.

É possível sugerir que as futuras pesquisas sobre a relação entre a porcentagem de cobertura do tronco por líquens e a concentração de poluentes atmosféricos utilizem maior número de pontos de coleta, realizem o monitoramento da qualidade de ar em um maior período de tempo, busquem categorizar os líquens existentes e abordem poluentes não avaliados no presente estudo.

Em conclusão, a análise das concentrações de CO₂ e material particulado em diferentes pontos da cidade fornece insights importantes para a compreensão das dinâmicas urbanas e destaca a necessidade de abordagens integradas para a gestão ambiental, considerando tanto as variações temporais quanto as diferenças nos usos do solo. Esses dados são essenciais para embasar políticas públicas que visam a melhoria da qualidade do ar e, por conseguinte, da qualidade de vida da população local.

Os resultados obtidos a partir da análise dos parâmetros atmosféricos, poluentes atmosféricos e líquens em diferentes pontos de coleta no município de Três Rios revelam uma visão abrangente da qualidade do ar e sua interação com a biodiversidade local. As variações nas configurações atmosféricas, como temperatura, umidade e pressão atmosférica, evidenciam padrões distintos em cada local monitorado.

Os resultados corroboram descobertas de estudos anteriores na região, mas também apontam para nuances e mudanças ao longo do tempo. A inclusão de análises mais refinadas, como a identificação de espécies de líquens, é sugerida para aprimorar a compreensão dos impactos da poluição atmosférica nas áreas urbanas de Três Rios.

Em última análise, este estudo enfatiza a importância de uma abordagem holística na compreensão da ecologia urbana, integrando dados atmosféricos, concentrações de poluentes e indicadores biológicos. Essa abordagem oferece insights importantes para a gestão ambiental, melhorando a qualidade do ar e a promoção do bem-estar da população local.

6. REFERÊNCIAS

Almeida FS (Org.) (2020) Impactos Ambientais de grandes empreendimentos no Brasil. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Autografia.

Almeida, WHRD (2022) Impactos da comunidade líquênica e fúngica na arte rupestre do sítio arqueológico GO-Ja-02 da região de Serranópolis/GO. Monografia Graduação em Biologia Licenciatura. Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Disponível: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/4587>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, De Moraes GJL, Spavorek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, (6), 711-728. Disponível: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Alves EDL, Biudes MS (2012) Padrões da temperatura do ar e da umidade relativa: estudo de caso no campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso. Boletim de Geografia, 30(3): 5-16. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v30i3.13114>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Andrighi AG, Wachholz YM, Rech YIS (2019) Diagnóstico da qualidade do ar atmosférico no município de Camboriú/SC. Relatório de Pesquisa, Instituto Federal Catarinense, Camboriú. 29p. Disponível: <https://www.camboriu.ifc.edu.br/wp-content/uploads/2019/11/RELAT%C3%93RIO-DE-PESQUISA.pdf>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Antunes AM (1997) Estudo Biogeográfico de Líquens como Indicadores de Poluição do Ar em três Setores da Cidade de Bauru – SP. Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Campus Rio Claro. Curso de Pós- Graduação em Geociências. Ed. do Autor. 1ª ed.

Araujo AP, Aleixo NCR, Menezes BB, de Souza CG, Rivero CAV, Montezani E, Braldo LMH, Teodoro PHM, Amorim MCDCT (2010) Ensaio metodológico sobre a utilização de transectos móveis no período diurno em Presidente Prudente-SP. Formação (Online), 1(17). Disponível: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/415/453>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Braz SN (2020) Líquens como bioindicadores de qualidade ambiental em áreas de borda de florestas urbanas. Dissertação Pós-graduação em Sustentabilidade da Pontifícia. Universidade Católica de Campinas. Disponível: https://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/15245/cea_ppgsust_me_Sofia_NB.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Braz SN, Longo RM (2021) Qualidade ambiental das cidades: uso de bioindicadores para avaliação da poluição atmosférica. *Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares* 2: 1-21. Disponível: <https://periodicos.puc-campinas.edu.br/sustentabilidade/article/view/5198/3184>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Campos AFCM (2021) A poluição atmosférica nas áreas urbanas: fatores desencadeantes, consequências e medidas de mitigação. Tese Mestrado em Ensino de Geografia. Universidade de Lisboa, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Disponível: <http://hdl.handle.net/10451/50715>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Carneiro CF, Ramos MC, Alves AO, Uriona KBF, Koga GNC, Marinho LZ, Lima Junior RM, Cardoso MSL (2021) Efeitos da poluição atmosférica sobre doenças respiratórias: uma revisão narrativa. *Ciências da saúde: desafios, perspectivas e possibilidades*, volume 2, v. 2, n. 1, p. 230-251. Disponível: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/210504464.pdf>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

COHIDRO (2016). Plano Integrado De Recursos Hídricos (PIRH) Da Bacia Hidrográfica Do Rio Paraíba Do Sul E Planos De Ação De Recursos Hídricos (PARH) Das Bacias Afluentes. Disponível: <http://ceivap.org.br/conteudo/REL-Produto-C-versao-final-dez16.pdf>. Acessado em 23 de novembro de 2023.

Coloni JG (2019) Concepção de manual de campo para diagnóstico e monitoramento da qualidade do ar utilizando fungos liquenizados, Monografia Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, Unisul, Palhoça. Disponível: <https://repositorio-api.animaeducacao.com.br/server/api/core/bitstreams/27190652-5499-4d2b-b16f-54118ddc0066/content>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Costa ADMM, Silva TF, Alvarenga CA, Costa AMGM (2020). Indicadores de qualidade do ar mediante o uso dos líquens na área urbana do município mineiro de Itabira/MG Brasil. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, v 9 n 12, pag. e38891211310. Disponível: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i12.11310>. Acessado em 1 de dezembro, 2023.

Costa WR, Duarte AT, Rivani H, Silva SR, Zanelatto AM (2023) Biomonitoramento da qualidade do ar do município de Uberaba/MG utilizando líquens como bioindicadores. Cadernos UniFOA (18)52: 1-13.

Costa, WR, Mineo, MF (2013) Os líquens como bioindicadores de poluição atmosférica no município de Uberaba, Minas Gerais, Brasil. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, p. 2690- 2700. Disponível: <https://doi.org/10.5902/223611708657>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Coutinho, SL (2022) Emissões de poluentes atmosféricos por automóveis no Brasil, 2010-2020: uma revisão de literatura. COUTINHO, Samuel Leal Coutinho. Emissão de poluentes atmosféricos por automóveis no Brasil, 2010, 2020. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Licenciatura em Química - Universidade Federal do Pará, Disponível: <https://bdm.ufpa.br/jspui/handle/prefix/3876>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Cruvinel BG (2022) Avaliação da sensibilidade ao cádmio por parmotrema tinctorum e usnea barbata, dois líquens comumente encontrados no bioma cerrado. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Ambiental. Instituto federal de educação, ciência e tecnologia. Rio Verde – GO. Disponível: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/2588>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Entre Rios Jornal (2012). Frota de 27.166 veículos registrados em Três Rios despeja na atmosfera 205.357 toneladas/ano de gases poluentes. APUD Soares CS, Moares ICM, Maciel JR, Magrani LC, Martins YT, Milward-de-Azevedo MA (2016). Uso dos líquens como bioindicadores da qualidade do ar em três rios, RJ. Anais 5º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade. Disponível: https://www.itr.ufrj.br/sigabi/wp-content/uploads/5_sigabi/Sumarizado/37.pdf . Acessado em 23 de novembro, 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017). Áreas Urbanizadas Do Brasil. Disponível: https://www.ibge.gov.br/apps/areas_urbanizadas/ Acessado em 10 de agosto de 2023.

Science Photo Library (2022). Foto Simbiose entre fungo e alga Romanoski DL (2022) Avaliação da qualidade do ar por meio da utilização de Líquens. Dissertação, Mestrado em Geografia. Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS). Santa Catarina. Disponível:

<https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/6425/1/ROMANOSKI.pdf>. Acessado em 20 de Dezembro, 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022) Três Rios (RJ) Cidades e Estados. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/tres-rios.html>. Acessado em 10 de agosto de 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023) Três Rios (RJ) Cidades e Estados. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/tres-rios.html>. Acessado em 10 de agosto de 2023.

Kemerich PDC, Vasconcellos NJS, Mortari SR, Flores EEM (2011) Biomonitoramento e variabilidade espacial do dióxido de enxofre em ar urbano. *Ami-Água Taubaté* 6 (3): 210-220. Disponível: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92821301014.pdf>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Lima M, Felix E, Cardoso A (2021) Aplicações E Implicações Do Ozônio Na Indústria, Ambiente E Saúde. *Química Nova*. Disponível: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170759> Acessado em 23 de novembro, 2023.

Maciel CSM, Gurgel JAF, Britto Cavalcanti LM, Sousa MNA (2019) Poluição atmosférica: consequências para a saúde da população brasileira. *J Med Health Prom*, 4(2): 1153-1159. Disponível: https://www.researchgate.net/publication/355377907_poluicao_atmosferica_consequencias_p_ara_a_saude_da_populacao_brasileira. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Martins APG, Ribeiro AP, Ferreira ML, Martins MAG, Negri EM, Scapin MA, Oliveira AD, Saiki M, Saldiva PHN, Laforteza R (2021) Infraestrutura verde para monitorar e minimizar os impactos da poluição atmosférica. *Estudos Avançados*, v. 35, p. 31-57, 2021. Disponível: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.003>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Martins SMA, Kaffer MI, Lemos A (2008) Líquens como bioindicadores da qualidade do ar numa área de termoeletrônica, Rio Grande do Sul, Brasil. *Hoehnea* 35(3): 425-433. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S2236-89062008000300011>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Melo RS, Braga SS, Lins RP (2021) Contribuição dos meios de hospedagem para as emissões diretas de dióxido de carbono (CO₂) na cidade de Parnaíba (Piauí, Brasil). *Revista Brasileira*

de Pesquisa em Turismo, v. 15. Disponível: <https://www.scielo.br/j/rbtur/a/WZmM84GJ4NLS7bSF5jXxJhn/?lang=pt&format=pdf>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Milward-De-Azevedo JA (2012). Políticas Públicas de Geração de Trabalho: análise do empreendedorismo de pequeno porte no município de Três Rios.

Moura JM, Fernandes AT, Da Silva JC (2012) Utilização de líquens como bioindicadores de poluição atmosféricas na cidade de Cuiába, Mato Grosso. Disponível: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/VI-016.pdf>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Nascimento CM (2020) Poluição atmosférica e possíveis efeitos à população de Recife: avaliação de morte celular, respostas inflamatórias e estresse oxidativo em células pulmonares expostas a material particulado. Dissertação, (mestrado)-Instituto Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, Recife. Disponível: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/60178>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Nerasti, AV, Pompermayer NB, Ferreira LI (2014) Líquens como bioindicadores de poluição atmosférica no município de Jundiá, SP. XI Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas.

OPAS - Organização Pan-Americana da Saúde (2018) Nove em cada dez pessoas em todo o mundo respiram ar poluído. Disponível: <https://www.paho.org/pt/noticias/1-5-2018-nove-em-cada-dez-pessoas-em-todo-mundo-respiram-ar-poluido>. Acessado em 05 novembro, 2023.

OPAS - Organização Pan-Americana da Saúde (2022) Novos dados da OMS revelam que bilhões de pessoas ainda respiram ar insalubre. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/4-4-2022-novos-dados-da-oms-revelam-que-bilhoes-pessoas-ainda-respiram-ar-insalubre>. Acessado em 15 outubro, 2023.

Paixão LC, Cattanio JH, Kuhn P (2019) Análise do transporte das emissões de monóxido de carbono (co) no estado do Pará. Revista Brasileira de Climatologia, v. 24. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/60156>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Palharini KMZ, Vitorino LC, Cabral MG, Silva FO, Bessa LA (2019) Efeito da matriz agrícola sobre a diversidade e cobertura de líquens cortícolas em fragmentos de cerrado sentido restrito.

XIV Congresso de Ecologia. Disponível: <https://www.seb-ecologia.org.br/revistas/indexar/xivceb/pdf/428.pdf>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Pereira CR, Guarieiro LLN (2019) Impacto na saúde humana do material particulado oriundo da poluição atmosférica. Simpósio internacional de inovação e tecnologia-SIINTEC, 2019. Disponível: <https://pdf.blucher.com.br/engineeringproceedings/siintec2019/111.pdf>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Piqué MPR, Palhares JB, Pinto RA, Feitosa HCAA, Silva RA (2005) Biomonitoramento, instrumento pedagógico a serviço da sustentabilidade urbana. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Campina Grande – Paraíba. Disponível: <https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/14/artigos/SP-5-92636934804-1118243323383.pdf>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Prestes RM, Vincenci KL (2019) Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental/Bioindicators as environmental impact assessment. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research 2(4): 1473-1493. Disponível: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/3258>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Romanoski DL (2022) Avaliação da qualidade do ar por meio da utilização de Líquens. Dissertação, Mestrado em Geografia. Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS). Santa Catarina. Disponível: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/6425/1/ROMANOSKI.pdf>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Romanoski DL, Gumboski EL (2021) Líquens enquanto bioindicadores da qualidade ambiental. XIV encontro nacional de pós-graduação e pesquisa em geografia. Enanpege. Disponível: https://editorarealize.com.br/editora/anais/enanpege/2021/TRABALHO_COMPLETO_EV154_MD1_SA122_ID310716112021235028.pdf. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Santos FS, Pinto JA, Maciel FM, Horta FS, Albuquerque TTA, Andrade MF (2019) Avaliação da influência das condições meteorológicas na concentração de material particulado fino (MP_{2,5}) em Belo Horizonte, MG. Engenharia Sanitária e Ambiental v. 24, p. 371-381. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019174045>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Santos INM (2022) Potencialidade de utilização de líquens como bioindicadores do histórico de incêndios no Parque Nacional Serra de Itabaiana/SE. Dissertação, Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal de Sergipe – PRODEMA/UFS. Sergipe. Disponível: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/15755>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Silva AFA, Figueiredo TM (2023) Líquens e glomalina: uso de bioindicadores da qualidade do ar e do solo, em belo horizonte e conselheiro pena/mg. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Ciências Biológicas. Centro Universitário UNA. Belo Horizonte. Disponível: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/33905/1/Versao%20final%20TC%202023.pdf>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Silva YMN (2023) Identificação de ilha de calor urbana em cidade de pequeno porte: o estudo de caso de Três Rios – RJ. Monografia (bacharelado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios. Disponível: https://itr.ufrj.br/portal/wp-content/uploads/2023/05/2017590353_YURI-MATHEUS.pdf. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Silva, JCR (2020) Poluição atmosférica na cidade de São Paulo: interferência do isolamento social devido a pandemia da COVID-19. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina. Disponível: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/25793>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Silva-Filho EV, Gomes OVO, Marques ED, Souza MDC (2013). Influência antrópica nas águas superficiais da cidade de Três Rios, (RJ). *Geochimica Brasiliensis*, 27(1): 77-86. Disponível: <http://www.geobrasiliensis.org.br/geobrasiliensis/article/view/344> Acessado em 23 de novembro, 2023.

Silvério NR (2014) Caracterização espacial da cobertura florestal dos municípios da Microrregião de Três Rios-RJ. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Gestão Ambiental - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível: <https://itr.ufrj.br/portal/wp-content/uploads/2017/09/monografia-roberto-silverio-neto-1.pdf>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Só Biologia (2008-2023) Liquens. Disponível: <https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Reinos/biofungos4.php>. Acessado em 05 nov. de 2023.

Soares CS, Moares ICM, Maciel JR, Magrani LC, Martins YT, Milward-de-Azevedo MA (2016). Uso dos líquens como bioindicadores da qualidade do ar em três rios, RJ. Anais 5º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade. Disponível: https://www.itr.ufrrj.br/sigabi/wp-content/uploads/5_sigabi/Sumarizado/37.pdf . Acessado em 23 de novembro, 2023.

Torres LM, da Silva Pinheiro CDP, Azevedo SD, Rodrigues PRS, Sandim DPR (2020). Poluição atmosférica em cidades brasileiras: uma breve revisão dos impactos na saúde pública e meio ambiente. *Naturae*, 2(1), 23-33. Disponível: <https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2020.001.0003>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Trindade PMP, Pereira Filho W (2023) Umidade do ar e processos diabáticos, Universidade Federal de Santa Maria. Laboratório de Geotecnologias. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/676/2019/08/topico7clima1.pdf> Acesso em: 22 de novembro de 2023.

Troppmair H (1988). *Metodologia Simples para Pesquisar o Meio-Ambiente*. Rio Claro: ed. Do autor. 232p.

Troppmair R (1977) Estudo biogeográfico de líquens como vegetais indicadores de poluição aérea da cidade de Campinas-SP. *Geografia* 2(4): 1-38.

Valladares CS, Pascutti AG, Silva TMD, Heilbron M, Almeida JCHD, Duarte BP, Schmitt R (2012). Geologia e recursos minerais da folha Três Rios SF. 23-ZBI. Serviço Geológico do Brasil. Disponível: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/11523>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

Vaz RP (2012) Levantamento preliminar de líquens epifíticos comumente utilizados como bioindicadores da qualidade do ar na Estação Ecológica da UFMG, Brasil: Gêneros *Parmotrema* e *Canoparmelia*. Monografia (Especialista em Microbiologia), Universidade Federal de Minas Gerais. 60p. Disponível: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-99RJR9>. Acessado em 23 de novembro, 2023.

WHO Global Conference on Air Pollution and Health. [S. l.], 2018. Disponível: <https://www.who.int/news/item/01-11-2018-who-global-conference-on-air-pollution-and-health> Acessado em 15 outubro. 2023.

7. ANEXOS.

Anexo 1. Dados dos Parâmetros e Poluentes atmosféricos monitorados

Tabela 1. Valores médios dos Parâmetros atmosféricos T e UR, monitorados no Ponto 01.

Nota: T – temperatura do ar; UR – Umidade relativa do ar; Pressão hPA – Pressão atmosférica.

		P-01- Praça dos Peixinhos			
Parâmetros		06:00	09:00	18:00	21:00
Segunda 07/08	T(°C)	17,77	27,05	25,66	21
	UR (%)	77	57,5	65	62,5
	PRESSÃO hPA	986,6	986,1	985,2	982,0
Terça 08/08	T(°C)	19,5	23,27	21,66	22,38
	UR (%)	70,3	67,8	64	65
	PRESSÃO hPA	985,1	985,4	986,7	986,4
Quarta 09/08	T(°C)	23,5	22,16	24,27	22,05
	UR (%)	70,8	69,1	65,4	65,7
	PRESSÃO hPA	989,4	988,4	988,2	986,2

Tabela 2. Valores médios dos Parâmetros atmosféricos T e UR, monitorados no Ponto 02.

Nota: T – temperatura do ar; UR – Umidade relativa do ar; Pressão hPA – Pressão atmosférica.

		P02- Praça JK			
Parâmetros		06:00	09:00	18:00	21:00
Segunda 07/08	T(°C)	15,5	25,88	25,16	21,27
	UR (%)	77	57,5	68	67
	PRESSÃO hPA	986,6	986,1	985,2	982,0
Terça 08/08	T(°C)	19	25,88	23	22,16
	UR (%)	74	63	65,3	67
	PRESSÃO hPA	985,1	985,4	986,7	986,4
Quarta 09/08	T(°C)	22,66	23,77	23,55	21,66
	UR (%)	72,9	67,9	64,8	66,5

	PRESSÃO hPA	989,4	988,4	988,2	986,2
--	----------------	-------	-------	-------	-------

Tabela 3. Valores médios dos Parâmetros atmosféricos T e UR, monitorados no Ponto 03.

Nota: T – temperatura do ar; UR – Umidade relativa do ar; Pressão hPA – Pressão atmosférica.

P03- Praça São Sebastião					
Parâmetros		06:00	09:00	18:00	21:00
Segunda 07/08	T(°C)	16,55	25,66	29	20,38
	UR (%)	77,4	51,7	58,6	72,5
	PRESSÃO hPA	986,6	986,1	985,2	982,0
Terça 08/08	T(°C)	18,66	26,27	20,66	22
	UR (%)	75,3	62,6	66	68,5
	PRESSÃO hPA	985,1	985,4	986,7	986,4
Quarta 09/08	T(°C)	22,66	26,16	24,38	22
	UR (%)	72,8	64,8	64	66,7
	PRESSÃO hPA	989,4	988,4	988,2	986,2

Tabela 4. Valores médios dos Parâmetros atmosféricos T e UR, monitorados no Ponto 04.

Nota: T – temperatura do ar; UR – Umidade relativa do ar; Pressão hPA – Pressão atmosférica.

P04- Praça da Autonomia					
Parâmetros		06:00	09:00	18:00	21:00
Segunda 07/08	T(°C)	17	29,38	24,88	20,66
	UR (%)	81,6	51	63,5	71
	PRESSÃO hPA	986,6	986,1	985,2	982,0
Terça 08/08	T(°C)	18,05	28	23,16	23,05
	UR (%)	74,8	59,6	66,5	69,4
	PRESSÃO hPA	985,1	985,4	986,7	986,4
Quarta 09/08	T(°C)	22,5	26,27	24,88	23,38
	UR (%)	78,2	65	65,9	68
	PRESSÃO hPA	989,4	988,4	988,2	986,2

Tabela 5. Valores médios dos Parâmetros atmosféricos T e UR, monitorados no Ponto 05.

Nota: T – temperatura do ar; UR – Umidade relativa do ar; Pressão hPA – Pressão atmosférica.

		P05- Parque Municipal			
Parâmetros		06:00	09:00	18:00	21:00
Segunda 07/08	T(°C)	18	25,05	23,8	20
	UR (%)	77,1	60	59,5	74,9
	PRESSÃO hPA	986,6	986,1	985,2	982,0
Terça 08/08	T(°C)	16,88	27,5	25,27	23,77
	UR (%)	75,4	60,5	64,4	69,4
	PRESSÃO hPA	985,1	985,4	986,7	986,4
Quarta 09/08	T(°C)	22,88	26,05	26	23,88
	UR (%)	72,8	65,6	64,1	68
	PRESSÃO hPA	989,4	988,4	988,2	986,2

Tabela 6. Valores médios dos Parâmetros atmosféricos T e UR, monitorados no Ponto 06.

Nota: T – temperatura do ar; UR – Umidade relativa do ar; Pressão hPA – Pressão atmosférica.

		P06- Beira Rio			
Parâmetros		06:00	09:00	18:00	21:00
Segunda 07/08	T(°C)	20,05	30,1	23	19,5
	UR (%)	75	50,4	67	78,2
	PRESSÃO hPA	986,6	986,1	985,2	982,0
Terça 08/08	T(°C)	16,88	27	24,16	23,88
	UR (%)	77	59,5	65,3	67,2
	PRESSÃO hPA	985,1	985,4	986,7	986,4
Quarta 09/08	T(°C)	21,05	25,66	25,38	24,27
	UR (%)	73,6	63,2	64,5	67
	PRESSÃO hPA	989,4	988,4	988,2	986,2

Tabela 7. Média dos Poluentes atmosféricos monitorados no Ponto 01. Nota: PM2,5 – material particulado com menos de 2,5 micrômetro de diâmetro; PM10 – material particulado com menos de 10 micrômetro de diâmetro; CO₂ – Dióxido de Carbono; O₃ – Ozônio.

		P01- Praça dos Peixinhos			
Parâmetros		06:00	09:00	18:00	21:00
Segunda 07/08	PM2,5 (ug/m ³)	0	1	3	3
	PM10 (ug/m ³)	0	0	5	5
	CO ₂ (ppm)	553	707	733	571
	O ₃ (ug/m ³)	0	0	13	0
Terça 08/08	PM2,5 (ug/m ³)	3	0	44	32
	PM10 (ug/m ³)	5	0	79	57
	CO ₂ (ppm)	981	634	396	600
	O ₃ (ug/m ³)	0	13	0	0
Quarta 09/08	PM2,5 (ug/m ³)	47	44	27	35
	PM10 (ug/m ³)	82	77	46	61
	CO ₂ (ppm)	742	421	1098	551
	O ₃ (ug/m ³)	0	0	0	0

Tabela 8. Média dos Poluentes atmosféricos monitorados no Ponto 02. Nota: PM2,5 – material particulado com menos de 2,5 micrômetro de diâmetro; PM10 – material particulado com menos de 10 micrômetro de diâmetro; CO₂ – Dióxido de Carbono; O₃ – Ozônio.

		P02- Praça JK			
Parâmetros		06:00	09:00	18:00	21:00
Segunda 07/08	PM2,5 (ug/m ³)	3	3	3	3
	PM10 (ug/m ³)	5	5	5	5
	CO ₂ (ppm)	462	402	630	562
	O ₃ (ug/m ³)	0	0	0	0
Terça 08/08	PM2,5 (ug/m ³)	3	3	40	32
	PM10 (ug/m ³)	4	5	70	55
	CO ₂ (ppm)	807	598	856	526

	O3 (ug/m ³)	0	0	0	0
Quarta 09/08	PM2,5 (ug/m ³)	47	39	33	33
	PM10 (ug/m ³)	96	68	57	59
	CO ₂ (ppm)	670	387	735	489
	O3 (ug/m ³)	0	0	0	0

Tabela 9. Média dos Poluentes atmosféricos monitorados no Ponto 0. Nota: PM2,5 – material particulado com menos de 2,5 micrômetro de diâmetro; PM10 – material particulado com menos de 10 micrômetro de diâmetro; CO₂ – Dióxido de Carbono; O₃ – Ozônio.

P03- Praça São Sebastião					
Parâmetros		06:00	09:00	18:00	21:00
Segunda 07/08	PM2,5 (ug/m ³)	3	3	3	3
	PM10 (ug/m ³)	5	5	5	5
	CO ₂ (ppm)	427	415	703	607
	O3 (ug/m ³)	0	0	0	0
Terça 08/08	PM2,5 (ug/m ³)	3	3	44	30
	PM10 (ug/m ³)	5	5	77	57
	CO ₂ (ppm)	964	536	760	526
	O3 (ug/m ³)	13	0	0	0
Quarta 09/08	PM2,5 (ug/m ³)	91	70	82	72
	PM10 (ug/m ³)	82	77	46	61
	CO ₂ (ppm)	688	482	696	544
	O3 (ug/m ³)	0	0	0	0

Tabela 10. Média dos Poluentes atmosféricos monitorados no Ponto 04. Nota: PM2,5 – material particulado com menos de 2,5 micrômetro de diâmetro; PM10 – material particulado com menos de 10 micrômetro de diâmetro; CO₂ – Dióxido de Carbono; O₃ – Ozônio.

P04- Praça da Autonomia					
Parâmetros		06:00	09:00	18:00	21:00
Segunda 07/08	PM2,5 (ug/m ³)	3	3	3	3
	PM10 (ug/m ³)	5	5	5	5

	CO ₂ (ppm)	491	404	675	569
	O ₃ (ug/m ³)	0	0	17	0
Terça 08/08	PM _{2,5} (ug/m ³)	3	3	44	35
	PM ₁₀ (ug/m ³)	5	5	77	63
	CO ₂ (ppm)	803	582	774	536
	O ₃ (ug/m ³)	0	0	0	0
Quarta 09/08	PM _{2,5} (ug/m ³)	51	42	52	45
	PM ₁₀ (ug/m ³)	120	75	93	77
	CO ₂ (ppm)	686	427	738	505
	O ₃ (ug/m ³)	0	0	0	0

Tabela 11. Média dos Poluentes atmosféricos monitorados no Ponto 05. Nota: PM_{2,5} – material particulado com menos de 2,5 micrômetro de diâmetro; PM₁₀ – material particulado com menos de 10 micrômetro de diâmetro; CO₂ – Dióxido de Carbono; O₃ – Ozônio.

P05- Parque Municipal					
Parâmetros		06:00	09:00	18:00	21:00
Segunda 07/08	PM _{2,5} (ug/m ³)	3	3	3	3
	PM ₁₀ (ug/m ³)	5	5	5	5
	CO ₂ (ppm)	401	403	607	583
	O ₃ (ug/m ³)	0	0	0	0
Terça 08/08	PM _{2,5} (ug/m ³)	3	3	50	47
	PM ₁₀ (ug/m ³)	5	5	86	86
	CO ₂ (ppm)	735	565	637	548
	O ₃ (ug/m ³)	0	0	0	0
Quarta 09/08	PM _{2,5} (ug/m ³)	63	43	50	44
	PM ₁₀ (ug/m ³)	104	75	88	79
	CO ₂ (ppm)	737	408	588	509
	O ₃ (ug/m ³)	0	0	0	0

Tabela 12. Média dos Poluentes atmosféricos monitorados no Ponto 06. Nota: PM2,5 – material particulado com menos de 2,5 micrômetro de diâmetro; PM10 – material particulado com menos de 10 micrômetro de diâmetro; CO2 – Dióxido de Carbono; O3 – Ozônio.

P06- Beira Rio					
Parâmetros		06:00	09:00	18:00	21:00
Segunda 07/08	PM2,5 (ug/m ³)	3	3	3	3
	PM10 (ug/m ³)	5	5	5	5
	CO ₂ (ppm)	517	397	614	572
	O3 (ug/m ³)	0	0	17	13
Terça 08/08	PM2,5 (ug/m ³)	3	3	49	37
	PM10 (ug/m ³)	5	5	88	66
	CO ₂ (ppm)	699	522	627	497
	O3 (ug/m ³)	0	0	0	0
Quarta 09/08	PM2,5 (ug/m ³)	56	36	68	44
	PM10 (ug/m ³)	100	59	131	75
	CO ₂ (ppm)	692	427	643	540
	O3 (ug/m ³)	0	0	0	0