

FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
JÚLIA JARCOVIS SOARES

**Casuística de neoformações em cães e gatos - Uma perspectiva em saúde
pública**

São Paulo
2024

JÚLIA JARCOVIS SOARES

Casuística de neoformações em cães e gatos - Uma perspectiva em saúde pública

Trabalho apresentado como requisito parcial para a conclusão do Programa de Residência em Clínica Cirúrgica de Pequenos Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Julia Maria Matera

São Paulo
2021

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autor: JARCOVIS SOARES, Júlia

Título: Casuística de neoformações em cães e gatos - Uma perspectiva em saúde pública

Trabalho apresentado como requisito parcial para a conclusão do Programa de Residência em Clínica Cirúrgica de Pequenos Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo.

Data ____/____/____

Banca examinadora

Prof Dr: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof Dr: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof Dr: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Dedico este trabalho à minha mãe, Simone, minha maior inspiração, cuja presença constante e apoio inabalável foram fundamentais para que eu pudesse alcançar meus sonhos. Ao Pedro, meu companheiro, pelo amor e suporte incondicional. E, por fim, aos meus queridos animais, que despertaram a paixão por esta profissão e me motivam diariamente a seguir.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, que é raiz e asas. Cada passo que dei, cada sonho que toquei e cada conquista alcançada traz o eco do seu amor incondicional, das suas mãos firmes e do seu apoio inabalável. Tenho sorte por carregar tanto de você em mim. Que eu possa devolver ao mundo o mesmo amor com que você me moldou.

À minha família, por serem o solo fértil onde plantei meus sonhos. Por entenderem minhas ausências e celebrarem minhas vitórias, mesmo à distância. Ser a primeira geração a ingressar em uma universidade pública é fruto de uma caminhada que começou muito antes de mim, trilhada por vocês. Essa conquista é nossa.

Ao Pedro, meu companheiro, porto seguro nos dias de tempestade e abrigo nos momentos de incerteza. Obrigada por ser casa em forma de gente, por acolher meus medos e compartilhar minhas esperanças. Seu amor é o presente que me dá força, juntos continuaremos realizando muitos mais sonhos.

Aos meus amigos, que permaneceram mesmo quando fui difícil de acompanhar. Ainda que de longe, vocês me ofereceram apoio, incentivo e acreditaram em mim quando duvidei. Giovanna e Ana, obrigada por serem a família que escolhi. Com vocês, meus dias ganharam cor e leveza, as dores foram suavizadas, e as alegrias, celebradas.

À minha turma de residência, companheiros dessa aventura tão intensa quanto desafiadora. Apenas nós sabemos o peso e a grandeza desses últimos dois anos. Fomos mãos, vozes, corpos e corações no maior hospital veterinário da América Latina. Fomos força e alívio, sustentação e impulso, abrigo nos dias difíceis e incentivadores de cada vitória. Aprendi tanto com vocês que é impossível medir. É uma honra ter vocês como colegas de profissão mas não há orgulho maior do que poder chamá-los de amigos. Aline, Caio, Enrico, Gabriela, Giovanna, Isabela, Leticia, Livia, Victor, Tatiane e Adriano: a nós, tudo.

À minha orientadora, Profa. Dra. Julia Maria Matera, obrigada por tantas oportunidades e por sua generosidade ao me guiar nesta caminhada. Seu apoio fez a diferença em cada passo dessa formação.

Aos docentes, médicos veterinários, enfermeiros e funcionários da FMVZ que disponibilizaram seu tempo e conhecimento para construir o aprendizado e formação de seus

alunos. Tive a honra de aprender com grandes referências e serei eternamente grata por tudo que proporcionaram.

À minha banca, um grupo de mulheres que admiro profundamente, tanto profissional quanto pessoalmente. Obrigada por me guiarem até aqui e por serem inspirações que carrego no coração. Espero, um dia, alcançar a grandeza que vejo em vocês.

E, por fim, aos animais. Aos que ficaram, aos que se foram e aos que ainda virão. Vocês são minha maior motivação, meu propósito e minha fonte de inspiração diária. A vocês e às famílias que confiaram em mim o cuidado de seus amados, minha eterna gratidão. Que eu seja a melhor médica veterinária que puder ser, por e para eles, sempre.

“Porque eu só preciso de pés livres, de mãos dadas, e de olhos bem abertos.”

- Guimarães Rosa

RESUMO

JARCOVIS SOARES, J. *Casuística de neoplasias em cães e gatos - Uma perspectiva em saúde pública* 2024. 72 folhas. Trabalho apresentado como requisito parcial para a conclusão do Programa de Residência em Clínica Cirúrgica de Pequenos Animais– Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

O presente estudo realizado se baseia em uma análise epidemiológica espacial das neoplasias diagnosticadas em cães e gatos atendidos no Hospital Veterinário da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (HOVET/FMVZ-USP) durante o período de 1º de agosto de 2023 a 31 de julho de 2024. O estudo tem como objetivo identificar áreas de maior concentração de casos na cidade de São Paulo e correlacionar a distribuição geográfica das neoplasias com fatores ambientais, analisando a evolução das concentrações de poluentes atmosféricos em conformidade com as Diretrizes de Qualidade do Ar da Organização Mundial da Saúde (OMS) e os dados de monitoramento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Além disso, a pesquisa busca contribuir para o entendimento dos determinantes ambientais e sociais associados à incidência dessas doenças em animais de estimação, destacando a importância da saúde pública na veterinária.

ABSTRACT

JARCOVIS SOARES, J. "Casuística de neoformações em cães e gatos - Uma perspectiva em saúde pública" 2024. XX pages. Thesis presented as a partial requirement for the completion of the Small Animal Surgical Residency Program at the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, University of São Paulo, São Paulo, 2024.

The present study is based on a spatial epidemiological analysis of neoplasms diagnosed in dogs and cats treated at the Veterinary Hospital of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science of the University of São Paulo (HOVET/FMVZ-USP) during the period from August 1, 2023, to July 31, 2024. The study aims to identify areas of higher concentration of cases in the city of São Paulo and to correlate the geographical distribution of neoplasms with environmental factors, analyzing the evolution of atmospheric pollutant concentrations in accordance with the World Health Organization (WHO) Air Quality Guidelines and monitoring data from the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB). Furthermore, the research seeks to contribute to the understanding of the environmental and social determinants associated with the incidence of these diseases in companion animals, highlighting the importance of public health in veterinary medicine.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Correlação de fatores ambientais e câncer.-----	19
Figura 2: Distribuição dos casos caninos de neoplasias benignas e malignas nas diferentes regiões de São Paulo, SP, Brasil -----	51
Figura 3: Distribuição dos casos felinos de neoplasias benignas e malignas nas diferentes regiões de São Paulo, SP, Brasil -----	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação da qualidade do ar e efeitos à saúde-----	30
Tabela 2: MP10 - Distribuição percentual da qualidade do ar de 2019 a 2023 - RMS-----	36
Tabela 3: MP2,5 - Distribuição percentual da qualidade do ar de 2019 a 2023 - RMSP-----	38
Tabela 4: Distribuição das neoplasias em cães por região de São Paulo-----	59
Tabela 5: Distribuição das neoplasias em gatos por região de São Paulo-----	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução das emissões de poluentes veiculares no estado de São Paulo-----	34
Gráfico 2: Emissões relativas por tipo de fonte - RMSP-----	35
Gráfico 3: MP10 - Evolução das concentrações médias anuais - RMSP-----	37
Gráfico 4: FMC - Evolução das concentrações médias anuais - RMSP-----	39
Gráfico 5: CO - Evolução das médias móveis das máximas diárias (média de 8 horas) - RMSP-----	40
Gráfico 6: SO ₂ - Evolução das concentrações médias anuais - RMSP-----	41
Gráfico 7: O ₃ - Evolução das médias móveis do 4o maior valor diário (máxima de 8 horas) - RMSP-----	42
Gráfico 8: Concentrações médias anuais de MP10, em µg/m ³ , entre 2000 e 2021, classificadas conforme as diretrizes de qualidade do ar (DQA) e as metas intermediárias (MI) da OMS. -----	45
Gráfico 9: Concentrações médias anuais de MP2,5, em µg/m ³ , entre 2000 e 2021, classificadas conforme as diretrizes de qualidade do ar (DQA) e as metas intermediárias (MI) da OMS-----	46
Gráfico 10: Concentrações médias anuais de O ₃ , em µg/m ³ , entre 2000 e 2021, classificadas conforme as diretrizes de qualidade do ar (DQA) e as metas intermediárias (MI) da OMS. -	48
Gráfico 11: Concentrações médias anuais de NO ₂ , em µg/m ³ , entre 2000 e 2021, classificadas conforme as diretrizes de qualidade do ar (DQA) e as metas intermediárias (MI) da OMS.-	49
Gráfico 12: Distribuição de Padrão Racial em cães-----	53
Gráfico 13: Proporção de malignidade por raça em cães -----	54
Gráfico 14: Frequência de resultados histopatológicos mais comuns em cães.-----	55
Gráfico 15: Histopatológicos em cães.-----	55
Gráfico 16: Frequência de resultados histopatológicos mais comuns em gatos-----	56
Gráfico 17: Histopatológicos em gatos-----	57
Gráfico 18: Proporção de malignidade por sexo em cães-----	58
Gráfico 19: Proporção de malignidade por sexo em gatos-----	59
Gráfico 20: Proporção de malignidade por região em cães-----	60
Gráfico 21: Proporção de malignidade por região em cães-----	61

SUMÁRIO

1. Introdução -----	14
2. Revisão de Literatura -----	17
2.1 Câncer e os poluentes ambientais -----	17
2.2 Efeitos dos poluentes na saúde humana -----	18
2.3 Efeitos dos poluentes na saúde de cães e gatos-----	22
2.4 Animais como sentinelas de saúde humana-----	24
2.5 A CETESB e o Controle Ambiental no Estado de São Paulo-----	28
2.5.1 Relatórios e Padrões de Qualidade do Ar -----	29
2.5.2 Índice de Qualidade do Ar e Saúde-----	29
2.5.3 Fontes de Poluição do Ar-----	32
2.5.4 Meteorologia do Estado de São Paulo-----	35
2.5.5 Resultados comparativos da RMSP publicados em 2024-----	36
2.5.6 Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS (2021)-----	43
3. Materiais e Métodos -----	50
4. Resultados-----	50
4.1 Estatísticas descritivas e espaciais-----	50
4.2 Análises estatísticas -----	57
4.2.1 Sexo e Malignidade-----	57
4.2.2 Regiões e Malignidade -----	59
5. Discussão-----	63
5.1 Casuística-----	63
5.2 Avanços e Desafios na Gestão da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo-----	66
6. Conclusão-----	68
7. Referências -----	69

1. Introdução

Nas últimas décadas, os progressos na medicina veterinária têm impactado de forma expressiva a qualidade de vida dos animais de estimação. Entre as melhorias destacam-se a adoção de dietas balanceadas, a implementação de programas regulares de vacinação e vermifugação e diversas práticas de manejo moderno. Como resultado, houve um aumento na expectativa de vida dos animais, o que, por sua vez, tem contribuído para a maior prevalência de doenças crônicas, como as neoplasias (Withrow & Macewen's 2019).

Paralelamente, a estreita convivência entre humanos e animais de estimação tem despertado o interesse da comunidade científica em compreender o papel desses animais como sentinelas ambientais. Cães e gatos compartilham o mesmo ambiente que os humanos, sendo capazes de refletir as condições ambientais por meio da detecção de poluentes e seus impactos na saúde. Isso torna sua análise crucial para investigar os efeitos da poluição ambiental na saúde de ambas as espécies.

A crescente preocupação com a poluição ambiental e suas implicações para a saúde pública tem impulsionado estudos que investigam a relação entre a exposição a poluentes e o desenvolvimento de doenças, especialmente câncer, em animais de estimação. Compostos químicos e metais pesados, comumente encontrados em áreas urbanas e industriais, estão associados a doenças graves como linfomas, hemangiossarcomas e carcinomas. Dados epidemiológicos sugerem que a incidência de neoplasias em cães e gatos está intimamente relacionada à qualidade do ambiente em que vivem.

Nesse contexto, biomarcadores como pelos, sangue e urina têm se mostrado ferramentas valiosas para avaliar a exposição a poluentes. Além de oferecerem *insights* sobre os efeitos adversos desses agentes na saúde dos animais, essas análises fornecem dados fundamentais para o desenvolvimento de políticas públicas destinadas a mitigar a contaminação ambiental. A interconexão entre saúde ambiental, saúde animal e saúde humana destaca a necessidade de uma abordagem multidisciplinar para promover um ambiente saudável e sustentável para todas as espécies.

A poluição ambiental, reconhecida como um dos principais desafios da sociedade contemporânea, tem um impacto direto na saúde pública. A exposição a poluentes

atmosféricos, químicos e biológicos está relacionada a diversas doenças respiratórias, cardiovasculares e neoplasias, representando uma ameaça crescente em contextos de urbanização e industrialização acelerada. No Brasil, estudos realizados em regiões como São Paulo e Amazônia indicam que a poluição do ar, derivada de queimadas, emissões industriais e tráfego veicular, está diretamente associada ao aumento de doenças crônicas, incluindo câncer.

Diante desse panorama, é imprescindível a realização de monitoramento contínuo, conscientização social e ações coordenadas entre governos, instituições de pesquisa e comunidades para enfrentar os desafios impostos pela degradação ambiental. A integração entre saúde humana, saúde animal e qualidade ambiental reforça a urgência de iniciativas conjuntas para proteger a saúde de todos os seres vivos.

A distribuição de dados epidemiológicos relacionados a neoplasias em animais apresenta variabilidade significativa entre diferentes países e regiões, evidenciando a importância do Sistema de Informação Geográfica (SIG) como uma ferramenta emergente e indispensável na pesquisa em oncologia veterinária. Essa tecnologia possibilita a análise espacial detalhada de tumores, permitindo sua categorização com base na localização geográfica ou na instituição de atendimento, além de possibilitar o uso de animais como sentinelas na investigação de doenças humanas associadas a fatores ambientais.

No contexto brasileiro, o Hospital Veterinário (HOVET) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da Universidade de São Paulo (USP) se destaca como um centro de referência para a prestação de serviços clínico-cirúrgicos, ambulatoriais e hospitalares destinados a pequenos e grandes animais. Situado na Cidade Universitária, na zona oeste de São Paulo, o HOVET atende uma ampla diversidade de casos, abrangendo tanto enfermidades neoplásicas quanto não neoplásicas.

Este estudo tem como objetivo realizar uma análise epidemiológica espacial das neoplasias diagnosticadas em cães e gatos atendidos no HOVET/FMVZ-USP, com foco na identificação de áreas de maior concentração de casos na cidade de São Paulo. A pesquisa visa correlacionar a distribuição geográfica das neoplasias com fatores ambientais do município, analisando a evolução das concentrações de poluentes atmosféricos à luz das Diretrizes de Qualidade do Ar (DQA) da Organização Mundial da Saúde (OMS) e dos dados de monitoramento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Dessa

forma, o estudo busca contribuir para o entendimento dos determinantes ambientais e sociais associados à incidência dessas doenças em animais de estimação.

2. Revisão de Literatura

2.1 Câncer e os poluentes ambientais

A relação entre câncer e poluentes ambientais tem sido objeto de crescente interesse em pesquisas nas últimas décadas, especialmente em contextos urbanos e industriais. Diversos tipos de poluentes têm sido associados ao aparecimento de câncer, sejam eles atmosféricos, compostos orgânicos voláteis ou demais poluentes encontrados na água ou no solo.

O material particulado, como PM10 e PM2.5, é um dos principais poluentes relacionados a um aumento no risco de câncer de pulmão e outros tipos de câncer em humanos (DAPPER; SPOHR; ZANINI, 2016). O dióxido de nitrogênio, frequentemente associado ao tráfego de veículos, também tem sido vinculado a um maior risco de câncer, especialmente em áreas urbanas (ImpactodoCancerePoluicao2023.pdf). Além disso, o dióxido de enxofre, resultante da queima de combustíveis fósseis, é outro poluente que tem sido estudado dentro dessa relação. (SILVA et al, 2024).

Os compostos orgânicos voláteis (COVs), como benzeno e formaldeído, que podem ser emitidos por veículos, indústrias e produtos químicos, também estão associados a um risco aumentado de câncer, incluindo leucemia (Beringui et al., 2024). Metais pesados, como arsênio, cádmio e chumbo, frequentemente encontrados em ambientes industriais e urbanos, também têm sido relacionados a vários tipos de câncer. A exposição a esses metais pode ocorrer através da contaminação do solo, água e alimentos. Da mesma forma a exposição a agrotóxicos, como pesticidas e herbicidas em populações rurais também estão relacionados ao aumento dessas doenças. (SUNDAS et al., 2024) (CURADO et al., 2022)

Considerando ainda os poluentes físicos, a exposição a radiação também está associada a um aumento do risco de vários tipos de câncer, incluindo leucemia, câncer de mama, câncer de pulmão e câncer de tireoide. (CURADO et al., 2022)

A radiação não ionizante, que inclui luz visível, micro-ondas e radiação de rádio, é geralmente considerada menos perigosa, mas algumas pesquisas sugerem que a exposição prolongada a certos tipos de radiação não ionizante, como a radiação de telefones celulares, pode estar associada a um risco aumentado de câncer, embora as evidências ainda sejam inconclusivas (SILVA et al, 2024).

Esses poluentes atuam de diferentes maneiras, podendo causar mutações genéticas, inflamação crônica e estresse oxidativo, que são fatores de risco conhecidos para o desenvolvimento dessas doenças. Sendo assim a compreensão dessas associações é crucial para a formulação de políticas de saúde pública e estratégias de mitigação dos riscos à saúde (PATIL; SINGH, 2023).

2.2 Efeitos dos poluentes na saúde humana

Apesar dos avanços na medicina e na tecnologia, o Câncer continua a ser uma das principais causas de mortalidade ao redor do mundo. Embora existam múltiplos fatores de risco, os agentes carcinogênicos presentes no ambiente são de particular preocupação. Os poluentes do ar, contaminantes da água e exposições ocupacionais estão diretamente ligados ao desenvolvimento de câncer e apresentam uma complexidade ainda maior quando correlacionados. Sabe-se que a saúde ambiental e a saúde pública estão interligadas, e que a luta contra o câncer deve incluir estratégias para mitigar o aumento dos poluentes e proteger populações mais vulneráveis. (PATIL; SINGH, 2023)

Uma revisão sistemática realizada por pesquisadores da Universidade de Girona foi publicada em 2023 correlacionando os efeitos dos fatores ambientais na saúde humana. Os autores categorizam e relacionam os efeitos desses fatores em várias áreas, podendo impactar a saúde cardiovascular, respiratória, neurológica e favorecer doenças infecciosas. Um dos pontos mais impactantes do estudo é a discussão sobre o câncer. (Sundas et al., 2024)

Foi descoberto que a exposição a longo prazo a PM2.5 estava fortemente associada a várias mortalidades específicas de câncer, incluindo: câncer oral, nasofaríngeo, esofágico, estomacal, de cólon, retal, fígado, vesícula biliar, laringe, pulmão, osso, pele, mama feminina, colo do útero, próstata, cérebro e leucemia. Eles mostraram que a mortalidade por câncer foi significativamente impactada até mesmo por concentrações muito baixas de PM2.5. (Sundas et al., 2024)

Também encontraram uma ligação direta entre dióxido de nitrogênio (NO₂) e a incidência de câncer de mama, apresentando resultados semelhantes encontrados em várias localizações geográficas, como Chile, Canadá e EUA. (Sundas et al., 2024)

O diagrama de cordas (Figura 1) mostra associações entre poluição do ar, radiação solar, exposição a áreas verdes, condições climáticas e certos tipos de câncer. Essas

associações foram extraídas de estudos que identificaram uma correlação positiva entre fatores ambientais e o tipo de câncer identificado.

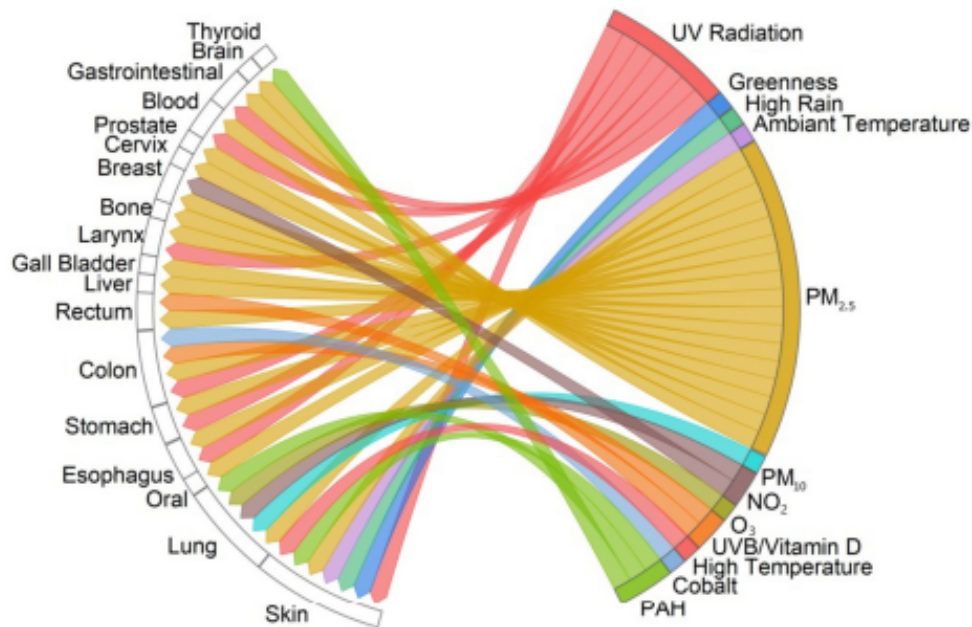


Figure 9. Correlates Cancer with environmental factors (PM_{2.5}: particulate matter smaller than 2.5 µg/m³, PM₁₀: particulate matter smaller than 10 µg/m³, NO₂: nitrogen dioxide, O₃: ozone, UVB: ultraviolet B radiation, PAH: polycyclic aromatic hydrocarbon).

Figura 1: Correlação de fatores ambientais e câncer. Fonte: Sundas et al., 2024

Em relação ao contexto nacional do Brasil, uma revisão sistemática publicada em 2022 também encontrou diversas correlações entre a exposição a poluentes e a incidência de diversas doenças.

A poluição atmosférica também impacta negativamente a qualidade de vida, principalmente em grandes centros urbanos. Segundo Lelieveld et al. (2015), caso medidas mais agressivas de controle da poluição atmosférica mundial não sejam implementadas, o número de mortes acarretadas por este tipo de poluição pode aumentar em mais de 50% até 2050. Em um estudo realizado pelo Ministério da Saúde, constatou-se que o número de mortes evitáveis devido a esse tipo de poluição cresceu no período de 2006-2016, sendo estimado um total de 42.228 mortes em 2016 (BRASIL, 2019).

Nos 71 artigos encontrados sobre poluição do ar, os principais impactos na saúde relatados foram doenças respiratórias, cardiovasculares e câncer. Também foram identificadas

relações com o aumento de alterações genéticas e/ou citológicas, prematuridade, baixo peso ao nascer, diminuição da qualidade do sêmen, doenças circulatórias, hipotireoidismo, intoxicação, redução da função pulmonar e sibilância. (CURADO et al., 2022)

Foram observadas 10 fontes de poluição relacionadas às exposições ambientais, sendo as mais frequentes: emissão veicular, emissão industrial, saneamento inadequado, queima de biomassa e atividades agrícolas. Tais informações refletem problemas socioambientais enfrentados pelo país há décadas. (CURADO et al., 2022)

Dentro do período analisado pelo estudo, uma situação única de melhora na qualidade do ar foi observada devido às medidas de distanciamento social durante a pandemia da COVID-19. Ao comparar concentrações de poluentes atmosféricos na cidade de São Paulo durante 90 dias de quarentena em 2020, com o mesmo período em 2019, as autoras encontraram uma significativa queda de até 58% na concentração de PM10, PM2,5 e NO2,. (CURADO et al., 2022)

Nos 18 artigos encontrados sobre exposição a agrotóxicos, os principais impactos na saúde relatados foram intoxicação, malformação congênita, alterações em parâmetros hematológicos, câncer, doenças respiratórias, sintomas otoneurológicos e tremor. Sobre exposição a metais tóxicos os impactos à saúde relatados foram danos neurológicos (perdas psicofísicas somatossensoriais, déficit intelectual e retardo mental leve), aumento da hipertensão arterial sistêmica, câncer de bexiga e danos genéticos e celulares. (CURADO et al., 2022)

Foi possível identificar a realização da maioria dos estudos na região Sudeste do Brasil, provavelmente pela maior concentração de Instituições de ensino superior nesta região. Embora seja a segunda menor macrorregião do país, a região Sudeste é a mais populosa.

Quanto às implicações socioambientais e econômicas, a população brasileira ainda vivencia esses problemas ambientais de forma desigual, sendo evidentes maiores consequências para comunidades mais vulneráveis ou para determinadas atividades ocupacionais.(CURADO et al., 2022)

Buscando dados mais específicos da região sudeste, Dapper, Spohr e Zanini, (2016) realizaram uma revisão sistemática dos estudos epidemiológicos realizados no estado de São Paulo, focando na relação entre poluição atmosférica e problemas de saúde. No que se refere

aos poluentes estudados, a maioria dos trabalhos se limitou a usar os dados disponíveis pelo órgão estadual de monitoramento (Cetesb) utilizando, principalmente, os níveis dos seguintes poluentes: monóxido de carbono, ozônio, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e material particulado (PM10), sendo este último o mais estudado.

A revisão revela que a poluição do ar está ligada a uma variedade de condições de saúde, incluindo doenças respiratórias, câncer, baixo peso ao nascer, partos prematuros e anemia falciforme. Essa diversidade de doenças sugere que os efeitos da poluição vão além do que tradicionalmente se pensava, atingindo diferentes sistemas do corpo humano. Salienta que as crianças são mais suscetíveis aos efeitos da poluição por consumirem o dobro da quantidade de ar por unidade de peso corporal do que os adultos. A pesquisa destaca ainda que distritos mais afastados do centro de São Paulo mostraram um risco elevado de mortalidade por câncer, o que pode indicar desigualdades no acesso a cuidados de saúde e diagnósticos.

Silva et al. (2024) abordou a crescente preocupação com a relação entre a poluição ambiental e o aumento da incidência de câncer, destacando a vulnerabilidade de diferentes grupos populacionais, especialmente em crianças. Os autores ressaltam que, embora as causas do câncer infantil ainda sejam amplamente desconhecidas, a poluição ambiental é um fator de risco significativo que merece atenção. A exposição a esses poluentes pode resultar em uma série de tipos de câncer, como câncer de pulmão, mama, próstata e colorretal. Os autores argumentam que entre 30% e 50% dos cânceres em adultos são preveníveis, destacando a importância de intervenções que visem reduzir a exposição a poluentes e promover estilos de vida saudáveis. Estratégias como a redução do tabagismo, a vacinação contra vírus carcinogênicos e a educação sobre fatores de risco são apresentadas como essenciais para a prevenção.

É de suma importância que haja uma abordagem interdisciplinar que una ciência, políticas e educação pública para enfrentar o aumento da incidência de câncer relacionado a fatores ambientais.(PATIL; SINGH, 2023)

“O tratamento e a gestão individualizados para a prevenção direcionada de doenças, com base em monitoramento contínuo localizado utilizando dados de GIS (Sistema de Informação Geográfica) e satélite são cruciais para a gestão de doenças causadas por fatores ambientais" (Sundas et al., 2024)

"Assim, concluímos que a interação entre fatores ambientais é crucial para todos os estudos ecológicos, e uma vez que essas associações também são dependentes da localização, o monitoramento contínuo e a medição desses fatores são necessários. Da mesma forma, pesquisas futuras precisam considerar as inter-relações entre múltiplos fatores ambientais" (Sundas et al., 2024)

2.3 Efeitos dos poluentes na saúde de cães e gatos

Withrow e Macewen 's (2019) abordam a complexa interação entre fatores genéticos e ambientais no desenvolvimento do câncer em animais de companhia, destacando a importância de compreender esses elementos para a prevenção e tratamento da doença. A etiologia do câncer é apresentada como um fenômeno multifatorial, onde a transformação maligna resulta de uma série de eventos mutacionais, que podem ser influenciados por fatores hereditários, ambientais e danos estocásticos ao DNA durante a replicação celular.

Substâncias químicas presentes no ambiente, como fumaça de tabaco e poluentes, podem aumentar o risco de câncer. A exposição ao fumo passivo (tabaco) foi associada a um risco aumentado de câncer de pulmão em humanos. A relação da carcinogênese física, especialmente na exposição à radiação ultravioleta (UV), e o câncer de pele é bem documentada, com ênfase em como a pigmentação da pele e a exposição crônica podem predispor animais, como gatos e cães de pelagem clara, ao desenvolvimento de carcinoma espinocelular. (Withrow & Macewen's 2019)

A literatura revisada revela que a presença de poluentes, como arsênio, mercúrio e substâncias químicas perfluoro alquiladas, está associada a um aumento na incidência de câncer em animais (HEGEDUS et al., 2023). Além disso, a análise de dados epidemiológicos sugere que a distribuição espacial de casos de câncer em animais pode coincidir com áreas de alta poluição, indicando uma correlação significativa entre a exposição ambiental e o desenvolvimento de neoplasias (BREEN; STAPLETON, 2024)

Outro aspecto relevante abordado é o papel da inflamação crônica na promoção do câncer. Casos de lesões neoplásicas em cães associadas a condições inflamatórias crônicas, sugerem que a inflamação pode ser um fator facilitador na transformação maligna. (Withrow & Macewen's 2019)

É importante considerar o ambiente em que os animais vivem, incluindo a exposição a resíduos e poluentes, que podem aumentar o risco de câncer. Estudos indicam que viver em áreas com altos níveis de poluição pode estar relacionado ao desenvolvimento de câncer em cães, mas não em gatos, possivelmente devido ao comportamento mais interno destes últimos (Withrow e Macewen's 2019)

Moore, A. S. (2007) afirma que o fumo passivo têm mostrado uma correlação significativa com o aumento do risco de câncer, especialmente em gatos. A exposição ao fumo de tabaco em ambientes domésticos foi associada a um risco elevado de linfoma e carcinoma de células escamosas, sugerindo que os gatos, ao se limparem, podem ingerir partículas nocivas depositadas em seus pelos. Além disso, a pesquisa indica que a duração e a intensidade da exposição aumentam ainda mais esse risco. Produtos químicos e pesticidas, que são frequentemente utilizados em ambientes domésticos também podem aumentar o risco de câncer em cães, especialmente em raças predispostas.

Smith et al. (2021) revelam uma associação significativa entre a poluição ambiental e o risco de câncer em cães. Os pesquisadores descobriram que os cães com carcinoma urotelial residiam em áreas com concentrações de trihalometanose (TTHMs) na água potável mais de três vezes superiores às dos cães do grupo controle. Além disso, uma proporção considerável de cães com carcinoma urotelial vivia em regiões que excediam os limites de ozônio estabelecidos pela Agência de Proteção Ambiental (EPA), indicando uma possível ligação entre a exposição a poluentes do ar e o desenvolvimento de câncer.

Smith et al. (2021) também refere que boxers com linfoma apresentaram uma maior exposição a poluentes específicos, como 1,3-butadieno e formaldeído, sugerindo que esses compostos químicos podem ser fatores de risco relevantes. Os resultados do estudo são alarmantes, pois indicam que a poluição ambiental, tanto da água quanto do ar, pode desempenhar um papel crucial na incidência de câncer em cães, semelhante ao que foi observado em estudos com humanos.

Nardi et al. (2023) discute a relação entre a exposição solar e o desenvolvimento de hemangiossarcoma, especialmente em cães com pelagens mais claras e em raças predispostas. A exposição à radiação ultravioleta (UV) é considerada um fator de risco significativo para o desenvolvimento de hemangiossarcoma cutâneo, particularmente em cães que já têm uma predisposição genética ou uma história de exposição crônica ao sol. A poluição atmosférica

pode aumentar a exposição à radiação UV devido a degradação da camada de ozônio. A exposição a poluentes ambientais, como produtos químicos e substâncias tóxicas, também pode contribuir para o aumento da incidência de neoplasias, incluindo hemangiosarcoma.

Dessa forma, a investigação contínua sobre os impactos dos poluentes ambientais na saúde dos animais e sua relação com o câncer é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de prevenção e controle, além de reforçar a importância de um ambiente saudável para todos os seres vivos. (PAL; KANNAN, 2023)

2.4 Animais como sentinelas de saúde humana

Animais de estimação, como cães e gatos, têm sido destacados como sentinelas eficazes para monitorar a saúde ambiental, uma vez que compartilham o mesmo ambiente que os seres humanos e podem desenvolver doenças relacionadas à exposição a poluentes. Esses animais, em particular, são úteis para a detecção de carcinógenos que afetam tanto os próprios animais quanto seus tutores (BUKOWSKI; WARTENBERG, 1997).

A utilização de animais de estimação como sentinelas ambientais apresenta diversas vantagens. Primeiramente, esses animais possuem uma sensibilidade biológica que, em determinados casos, é superior à dos humanos, permitindo a detecção precoce de sinais de exposição, o que facilita intervenções rápidas e a mitigação de riscos. Além disso, por compartilharem o mesmo ambiente que seus tutores, eles refletem diretamente a qualidade ambiental que afeta ambos (HEGEDUS et al., 2023).

Outro benefício significativo dessa abordagem é a sua relação custo-efetividade. O monitoramento da saúde de animais de estimação pode ser uma alternativa mais acessível em comparação com métodos tradicionais de avaliação ambiental, especialmente em países em desenvolvimento, onde os recursos são limitados. A coleta de amostras biológicas, como sangue ou urina, de animais de estimação tende a ser menos invasiva e mais prática do que em humanos, facilitando estudos epidemiológicos e a identificação de poluentes (HEGEDUS et al., 2023).

Entre os principais poluentes discutidos na literatura, destacam-se metais pesados, como chumbo, mercúrio e cádmio, que se acumulam nos tecidos dos animais e causam diversos problemas de saúde. Outros exemplos incluem o amianto, conhecido por suas propriedades cancerígenas, e produtos químicos persistentes, como as substâncias

perfluoroalquiladas (PFAS) e compostos bromados, amplamente utilizados em produtos de consumo. Pesticidas e inseticidas, comuns na agricultura e em áreas urbanas, também representam riscos significativos, assim como contaminantes biológicos, como microrganismos presentes em ambientes poluídos, que afetam tanto animais de estimação quanto humanos, de forma direta ou indireta (HEGEDUS et al., 2023).

Além disso, o uso de animais de estimação como sentinelas contribui para aumentar a conscientização de seus tutores sobre saúde ambiental, incentivando mudanças comportamentais e escolhas mais conscientes quanto ao uso de produtos químicos e à preservação do meio ambiente. Pesquisas sobre a saúde desses animais podem ser integradas a estudos sobre saúde humana, promovendo uma abordagem interconectada para compreender os impactos dos poluentes. Essa integração pode levar à formulação de políticas públicas mais eficazes, que considerem a relação entre saúde animal e humana, promovendo o bem-estar sustentável (HEGEDUS et al., 2023).

Nesse contexto, a epidemiologia de animais de estimação surge como uma alternativa promissora, superando algumas limitações das abordagens tradicionais. Por exemplo, a ocorrência natural de câncer em cães pode servir como um indicador valioso de riscos ambientais que também impactam a saúde humana (BUKOWSKI; WARTENBERG, 1997). Esses animais podem apresentar sinais precoces de exposição a contaminantes, funcionando como indicadores relevantes da saúde ambiental (HEGEDUS et al., 2023).

As abordagens tradicionais de avaliação de risco de câncer, baseadas em estudos laboratoriais com roedores ou em análises epidemiológicas humanas, apresentam limitações significativas. Enquanto os estudos com roedores permitem maior controle experimental, sua extrapolação para humanos é limitada devido a diferenças biológicas entre as espécies e níveis de exposição. Já os estudos epidemiológicos em humanos enfrentam dificuldades, como vieses de classificação e fatores de confusão, especialmente em casos de exposições prolongadas (BUKOWSKI; WARTENBERG, 1997).

Breen e Stapleton (2024) exploram a relevância dos cães como modelos comparativos em pesquisas sobre saúde ambiental e doenças crônicas, como o câncer. Os autores argumentam que a saúde humana está profundamente conectada à saúde animal e ambiental, reforçando a importância de compreender os impactos dos fatores ambientais em ambas as espécies.

Por compartilharem ambientes e estilos de vida com seus tutores, os cães tornam-se indicadores valiosos de exposições ambientais e suas consequências (BREEN; STAPLETON, 2024). Muitos tipos de câncer observados em cães, como linfoma, tumores mamários, osteossarcoma e melanoma, apresentam semelhanças significativas com os encontrados em humanos. Essas similaridades incluem aspectos morfológicos, moleculares e comportamentais, permitindo que os cães sejam utilizados como modelos para estudar a etiologia do câncer e os impactos de exposições ambientais, como poluentes químicos e condições de vida adversas (BREEN; STAPLETON, 2024).

No entanto, há necessidade de dados mais robustos e abrangentes sobre a saúde canina. Atualmente, muitos estudos baseiam-se em questionários, que carecem de medições objetivas de exposição e desfechos de saúde. A adoção de metodologias mais rigorosas e a coleta de dados consistentes fortaleceriam as evidências sobre a relação entre exposições ambientais e doenças em cães, contribuindo de forma significativa para a saúde pública (BREEN; STAPLETON, 2024).

A pesquisa em oncologia comparativa é destacada como um foco central, dado o paralelismo entre os cânceres em cães e humanos. Essa proximidade oferece uma oportunidade única para investigar as causas do câncer e os efeitos de fatores ambientais (BREEN; STAPLETON, 2024).

Kimura et al. (2013) realizaram um estudo sobre a relação entre a incidência de linfomas em cães e humanos e indicam que, embora muitos fatores não estivessem relacionados ao risco de linfoma, a exposição a ambientes externos próximos a ruas movimentadas aumentou significativamente o risco de desenvolvimento da doença. Na segunda parte da pesquisa, foi analisada a distribuição espacial de 630 casos de linfomas em humanos e 579 casos em cães, registrados entre 1996 e 2006. Os dados mostraram que as áreas centrais de São Paulo, caracterizadas por alta poluição do ar devido ao tráfego intenso, apresentavam uma incidência elevada de linfomas em ambas as espécies, sugerindo que a poluição do ar poderia ser um fator contribuidor para o aumento da incidência da doença. Os autores destacam que os cães podem servir como indicadores da saúde ambiental, pois suas condições de saúde refletem a qualidade do ambiente em que vivem.

Pal e Kannan (2023) analisaram a exposição de cães e gatos a compostos orgânicos voláteis (COVs) e seus metabólitos, com base na coleta e análise de amostras de urina de 47

cães e 42 gatos na região de Albany, Nova York. O estudo revelou que as concentrações de metabólitos de COVs na urina dos animais são comparáveis às encontradas em humanos, especialmente em fumantes. Os resultados indicaram que a exposição a substâncias como acrilamida, acroleína, cianeto e benzeno ultrapassava os limites de referência para toxicidade em uma proporção significativa dos animais estudados. Embora o estudo tenha limitações, ele fornece uma base importante para futuras investigações sobre a exposição a COVs em animais de estimação, além de destacar a interconexão entre a saúde ambiental e a saúde animal. A pesquisa sugere que a monitorização da exposição a COVs em pets pode ser uma estratégia valiosa para avaliar riscos à saúde pública, reforçando a importância de medidas para mitigar essa exposição em ambientes domésticos.

Yavuz et al. (2024) conduziram um estudo sobre a presença de poluentes orgânicos persistentes (POPs) em amostras de pelo de 73 animais (35 gatos e 38 cães) de uma área urbana na Turquia. As amostras foram submetidas a um rigoroso processo de extração, o que possibilitou a identificação e quantificação de 32 diferentes POPs, incluindo pesticidas organoclorados, bifenilos policlorados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. Os resultados não indicaram diferenças significativas nas concentrações de poluentes entre cães e gatos, nem entre diferentes sexos ou idades dos animais, o que sugere que a exposição a esses compostos é generalizada e não depende dessas características. A pesquisa enfatiza que os pelos dos animais constituem uma amostra eficaz para a avaliação da exposição a poluentes, uma vez que refletem a contaminação crônica. Ademais, a presença de elevados níveis de POPs nos animais de estimação levanta preocupações tanto em relação à saúde animal quanto à saúde humana, considerando a possibilidade de transferência de poluentes entre as espécies.

A utilização de animais como sentinelas para a detecção de riscos ambientais não apenas contribui para a compreensão dos efeitos dos poluentes na saúde, mas também pode informar políticas públicas voltadas para a mitigação da contaminação ambiental (WITHROW; MACEWEN, 2019). A conscientização sobre a relação entre poluentes e câncer é essencial para promover ações que visem reduzir a exposição a substâncias nocivas, protegendo assim a saúde de nossos animais de estimação e, consequentemente, a saúde humana (KIMURA et al., 2013)

A utilização de animais de estimação como sentinelas ambientais tem se consolidado como uma estratégia relevante para o monitoramento da saúde ambiental, pois esses animais compartilham os mesmos espaços que os seres humanos e podem ser afetados de maneira similar pelos poluentes. As pesquisas sobre a exposição de cães e gatos a substâncias tóxicas, como compostos orgânicos voláteis, poluentes orgânicos persistentes e metais pesados, demonstram que os animais de estimação podem refletir precocemente os impactos ambientais sobre a saúde, funcionando como indicadores valiosos de risco.

A identificação precoce de sinais de contaminação nos animais de estimação, aliada ao monitoramento contínuo de sua saúde, pode contribuir para intervenções mais eficazes e tempestivas, além de promover uma conscientização mais ampla sobre os efeitos dos poluentes. Em um contexto mais amplo, o uso de animais como modelos de estudo pode facilitar a compreensão dos impactos de substâncias tóxicas sobre a saúde humana, além de promover estratégias de mitigação para reduzir a exposição a riscos ambientais. Nesse sentido, a integração de estudos sobre a saúde de animais de estimação aos de saúde pública pode gerar um conhecimento mais abrangente e fundamentado sobre os riscos ambientais, levando ao desenvolvimento de soluções sustentáveis para a preservação tanto da saúde humana quanto animal.

2.5 A CETESB e o Controle Ambiental no Estado de São Paulo

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) é uma agência vinculada ao Governo do Estado de São Paulo, responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades potencialmente prejudiciais ao meio ambiente. Além disso, promove e acompanha a implementação de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável e assegura que os padrões de qualidade do ar, das águas e do solo sejam cumpridos.

Criada em 1968, a CETESB foi a primeira agência ambiental do Brasil e atualmente é reconhecida como um dos 16 centros de referência da Organização das Nações Unidas (ONU) em questões ambientais.

O Estado de São Paulo apresenta áreas com diferentes características físicas e econômicas, exigindo abordagens distintas para o monitoramento e controle da poluição. Desde a década de 1970, a CETESB opera redes de monitoramento da qualidade do ar para avaliar os níveis de poluição atmosférica em diferentes escalas.

Em 1981, foi introduzido o monitoramento automático, permitindo não apenas a ampliação dos parâmetros monitorados, mas também o acompanhamento em tempo real. A expansão significativa desta rede ocorreu a partir de 2008, resultando, em 2023, em uma configuração de 63 estações automáticas e 22 manuais, totalizando 85 estações distribuídas em 42 municípios.

2.5.1 Relatórios e Padrões de Qualidade do Ar

Desde 1985, a CETESB publica os relatórios anuais “Qualidade do Ar no Estado de São Paulo”, consolidando dados do monitoramento ambiental. Esses relatórios têm sido continuamente aprimorados, incluindo a disponibilização de informações em formato eletrônico. Adicionalmente, a qualidade do ar passou a ser divulgada em tempo real por meio de aplicativos móveis, facilitando o acesso da população.

Os padrões estaduais de qualidade do ar foram inicialmente definidos pelo Decreto Estadual nº 8468/76, enquanto os padrões nacionais foram estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) e aprovados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) por meio da Resolução CONAMA nº 03/90.

O avanço dos conhecimentos técnicos e científicos motivou revisões periódicas desses padrões em regiões como a União Europeia e os Estados Unidos, que atualizaram valores e incluíram novos parâmetros de avaliação. No Estado de São Paulo, o processo de revisão foi iniciado em 2008, com base nas diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) de 2005 e contou com a participação de diferentes setores da sociedade. Este trabalho culminou na publicação do Decreto Estadual nº 59113/2013, que estabeleceu novos padrões e metas progressivas para a redução da poluição atmosférica.

Os dados discutidos a seguir foram analisados a partir do relatório “Qualidade do ar no estado de São Paulo - 2023” publicado pela CETESB em 2024.

2.5.2 Índice de Qualidade do Ar e Saúde

O índice de qualidade do ar é uma ferramenta matemática criada para simplificar a divulgação da qualidade do ar, com base em metodologias desenvolvidas nos Estados Unidos. Para cada poluente monitorado, calcula-se um índice adimensional que determina a classificação da qualidade do ar, representada por uma nota e uma cor.

A classificação geral utiliza o índice mais elevado entre os poluentes monitorados, refletindo o pior caso registrado. Essa metodologia está alinhada à Resolução CONAMA nº 491/2018 e considera os impactos à saúde humana, independentemente dos padrões de qualidade ou metas intermediárias vigentes. Essa classificação é realizada conforme tabela a seguir:

Classificação da qualidade do ar e efeitos à saúde - Exposição de curto prazo		
Qualidade	Índice	Significado
N1 - BOA	0 - 40	
N2 - MODERADA	41-80	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
N3 - RUIM	81-120	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde
N4 - MUITO RUIM	121-200	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N5 - PÉSSIMA	>200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Tabela 1: Classificação da qualidade do ar e efeitos à saúde. Fonte: CETESB

Cada poluente apresenta efeitos específicos à saúde humana, que variam conforme as diferentes faixas de concentração. Esses impactos foram identificados por meio de estudos epidemiológicos conduzidos tanto no Brasil quanto em outros países. Os efeitos na saúde exigem a adoção de medidas preventivas por parte das populações expostas.

Os dados obtidos em cada estação de monitoramento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) são analisados individualmente e de forma integrada. Isso se deve à complexidade e à dimensão da região, que demandam uma abordagem ampla para compreender o comportamento da poluição atmosférica. Embora as estações estejam

localizadas em áreas com características distintas de uso e ocupação do solo, é essencial considerar a dinâmica global da poluição na RMSP.

Os parâmetros contemplados pela estrutura do índice utilizado pela CETESB são:

- ozônio (O_3)
- partículas inaláveis (MP10)
- partículas inaláveis finas (MP2,5)
- fumaça (FMC)
- monóxido de carbono (CO)
- dióxido de nitrogênio (NO_2)
- dióxido de enxofre (SO_2)
- COVs

A seguir, estão listados algumas características de cada poluente, assim como suas fontes.

1. **Ozônio (O_3):** O ozônio é um gás formado por três átomos de oxigênio, presente na troposfera. O ozônio não é emitido por nenhuma fonte de poluição do ar. Ele se forma na atmosfera sob a ação da radiação solar incidente em poluentes. Suas fontes incluem emissões de veículos, indústrias e reações químicas entre poluentes na presença de luz solar. Os impactos na saúde incluem irritação das vias respiratórias, agravamento de doenças pulmonares e redução da função respiratória.
2. **Partículas Inaláveis (MP10):** As partículas inaláveis são partículas sólidas ou líquidas com diâmetro inferior a 10 micrômetros. Elas são originadas de processos de combustão, como os da indústria e veículos, poeira de ruas e aerossóis secundários. Os efeitos na saúde incluem irritação e alteração da função respiratória e cardiovascular, além de danos à vegetação e redução da visibilidade.
3. **Partículas Inaláveis Finas (MP2,5):** As partículas inaláveis finas têm diâmetro inferior a 2,5 micrômetros. Suas fontes incluem a combustão de veículos, processos industriais e a formação de aerossóis secundários. Elas penetram profundamente no aparelho respiratório, causando alterações nas funções respiratórias e aumentando a

mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias.

4. **Fumaça (FMC):** A fumaça consiste em partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, resultantes da queima de materiais. Suas fontes incluem a queima de biomassa, processos industriais e veículos motorizados. Os impactos na saúde incluem irritação das vias respiratórias, agravamento de doenças pulmonares e contaminação do solo e da água.
5. **Monóxido de Carbono (CO):** O monóxido de carbono é um gás incolor e inodoro resultante da combustão incompleta de combustíveis. Suas fontes são veículos motorizados, queima de biomassa e processos industriais. Os efeitos na saúde incluem a redução da capacidade de transporte de oxigênio no sangue, levando a dores de cabeça, tontura e, em casos extremos, morte.
6. **Dióxido de Nitrogênio (NO₂):** O dióxido de nitrogênio é um gás tóxico, de cor marrom, que faz parte dos óxidos de nitrogênio. Suas fontes incluem emissões de veículos, indústrias e processos de combustão. Os impactos na saúde incluem irritação das vias respiratórias, agravamento de doenças respiratórias e aumento da suscetibilidade a infecções pulmonares.
7. **Dióxido de Enxofre (SO₂):** O dióxido de enxofre é um gás incolor com forte odor, que se oxida facilmente a sulfatos. Suas fontes são as emissões de indústrias, queima de combustíveis fósseis e processos de combustão. Os efeitos na saúde incluem irritação das vias respiratórias, agravamento de doenças pulmonares e problemas cardiovasculares.
8. **Compostos Orgânicos Voláteis (COVs):** Os compostos orgânicos voláteis são substâncias químicas que se evaporam facilmente à temperatura ambiente. Suas fontes incluem emissões de veículos, solventes, produtos químicos industriais e reabastecimento de combustíveis. Os impactos na saúde incluem irritação dos olhos, nariz e garganta, efeitos no sistema nervoso central e aumento do risco de câncer em exposições prolongadas.

É relevante destacar que as concentrações de poluentes atmosféricos podem variar significativamente, mesmo quando as emissões das fontes permanecem constantes. Essas variações estão diretamente relacionadas às condições meteorológicas, que influenciam a dispersão e a concentração dos poluentes.

A atmosfera contém uma ampla diversidade de substâncias, o que exige critérios específicos para determinar quais componentes serão monitorados. Esses critérios incluem a relevância do poluente em relação aos impactos na saúde humana, a frequência de ocorrência na atmosfera e a disponibilidade de equipamentos e métodos capazes de realizar medições com a precisão e periodicidade requeridas. Nesse contexto, a CETESB realiza o monitoramento de poluentes reconhecidos internacionalmente como indicadores de qualidade do ar.

Dentre os poluentes monitorados, o material particulado (MP) merece destaque devido às suas características singulares e sua relevância para a saúde pública. Sob a denominação geral de material particulado, inclui-se uma variedade de partículas, como poeiras, fumaças e materiais sólidos ou líquidos, que permanecem suspensos na atmosfera em razão de seu reduzido tamanho. Diferentemente de outros poluentes, o material particulado não possui uma composição química definida, o que reforça a necessidade de abordagens específicas para sua análise e controle.

2.5.3 Fontes de Poluição do Ar

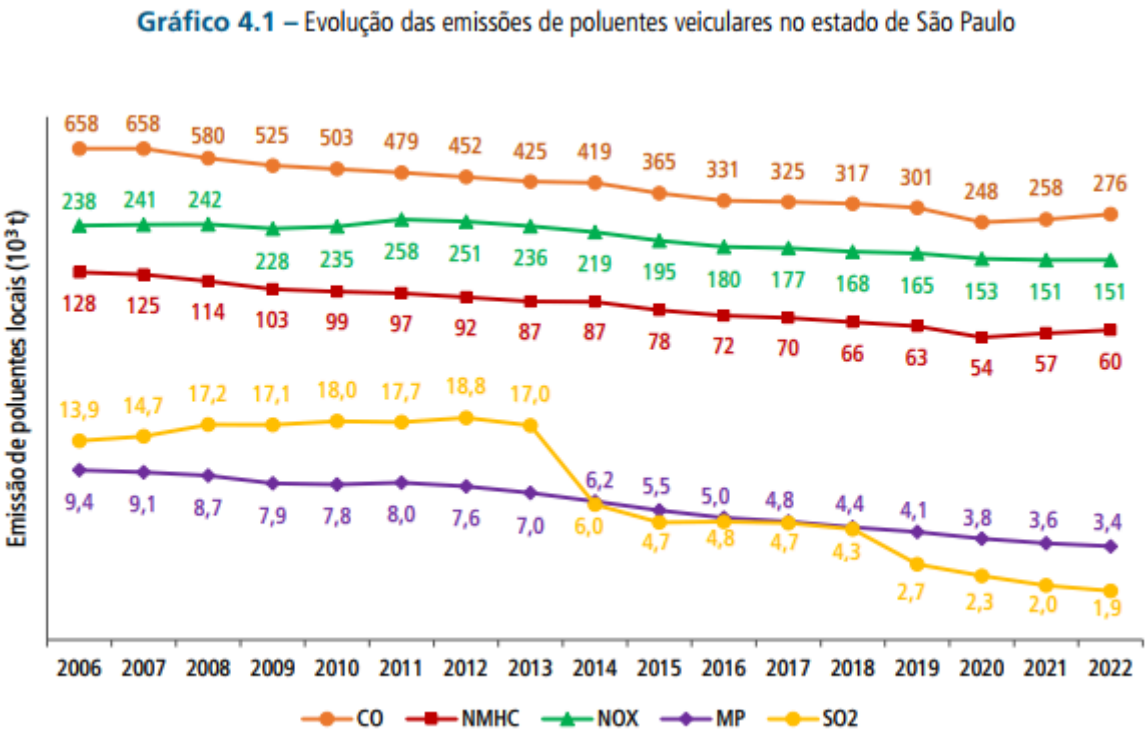
O estado de São Paulo, localizado na região Sudeste do Brasil, possui uma área de aproximadamente 249.000 km², representando cerca de 2,9% do território nacional. É a unidade da federação com maior densidade territorial, maior população – estimada em 44,4 milhões de habitantes (IBGE, 2023) – e maior desenvolvimento econômico, destacando-se nas atividades agrícolas (com ênfase na produção sucroalcooleira), industriais e de serviços. Adicionalmente, São Paulo detém a maior frota automotiva do país, fatores que contribuem para alterações significativas na qualidade do ar, com destaque para as Regiões Metropolitanas de São Paulo e Campinas.

Conforme ilustrado no Gráfico 1, mesmo com o crescimento contínuo da frota veicular até 2014, as emissões de poluentes apresentaram tendência de redução. Esse comportamento deve-se, em grande parte, à adoção de novas tecnologias veiculares que substituíram modelos antigos e mais poluentes. A emissão de dióxido de enxofre (SO₂), por

exemplo, apresentou uma redução significativa em 2014, atribuída à diminuição do teor de enxofre no diesel (implementada em 2013) e, especialmente, na gasolina (a partir de 2014).

Nos anos subsequentes, a queda nas emissões de SO₂ continuou, sendo associada ao aumento no consumo do diesel S10, obrigatório em veículos modernos, em substituição ao diesel S500, utilizado por veículos fabricados até 2012.

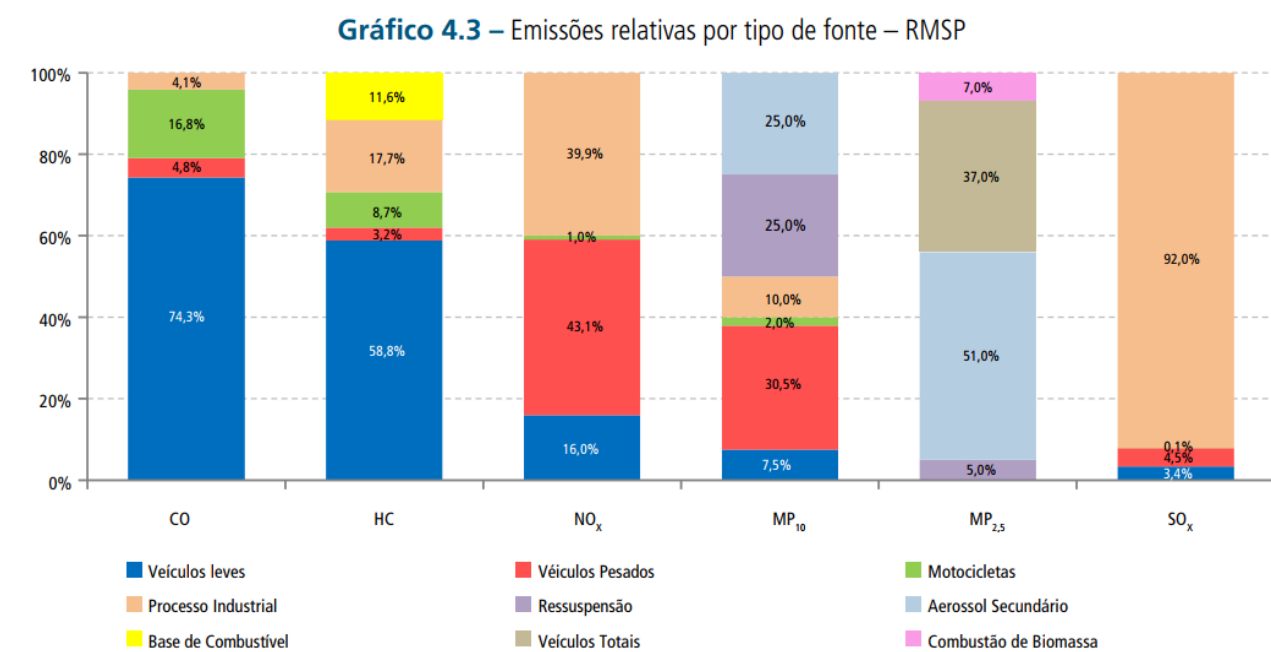
Nos dois últimos anos analisados no gráfico, observa-se um aparente aumento nas emissões. Contudo, esse crescimento reflete a comparação com 2020, ano em que a pandemia de COVID-19 resultou em uma redução substancial do uso de veículos particulares, e, consequentemente, nas emissões associadas. O retorno às atividades normais no período pós-pandemia indicou um aumento nas emissões, mas, na verdade, trata-se de um retorno às tendências observadas até 2019.



Fonte: CETESB (2024) adaptado do relatório Emissões Veiculares no estado de São Paulo 2022 (CETESB, 2024b)

Gráfico 1: Evolução das emissões de poluentes veiculares no estado de São Paulo. Fonte: CETESB

A deterioração da qualidade do ar na RMSP é decorrente das emissões atmosféricas provenientes dos veículos e das indústrias. A contribuição relativa de cada fonte de poluição na RMSP está apresentada no gráfico abaixo:



Fonte: CETESB (2024)

Gráfico 2: Emissões relativas por tipo de fonte - RMSP. Fonte: CETESB

2.5.4 Meteorologia do Estado de São Paulo

O clima da região é caracterizado por duas estações predominantes: a chuvosa, que se estende de outubro a abril, e a seca, de maio a setembro. Durante a estação chuvosa, a ocorrência de chuvas é favorecida por fenômenos como o aquecimento continental e a passagem de frentes frias, resultando em precipitações abundantes que contribuem para a diluição de poluentes atmosféricos.

Por outro lado, a estação seca é marcada pela predominância de sistemas de alta pressão, que levam à redução das chuvas e ao aumento das temperaturas. Essa condição climática resulta em períodos de estabilidade atmosférica, favorecendo o acúmulo de poluentes, especialmente durante os meses de maior inversão térmica.

A análise realizada pela CETESB em 2023 acerca das anomalias de precipitação e temperatura revela que as condições meteorológicas têm um papel crucial na dispersão e formação de poluentes, como o ozônio. A interação entre os fenômenos climáticos e a qualidade do ar é complexa, sendo que a variação nas condições meteorológicas pode impactar diretamente a saúde da população e a eficácia das políticas de controle da poluição.

2.5.5 Resultados comparativos da RMSP publicados em 2024

Os resultados a seguir serão apresentados discriminando cada poluente analisado.

MP₁₀

Na Tabela 2 é apresentada a distribuição percentual da qualidade do ar nos últimos cinco anos, para o conjunto das estações da RMSP com monitoramento anual representativo. Verifica-se em 2023 distribuição bem semelhante à de 2022.

Tabela 6.1 – MP₁₀ – Distribuição percentual da qualidade do ar de 2019 a 2023 – RMSP

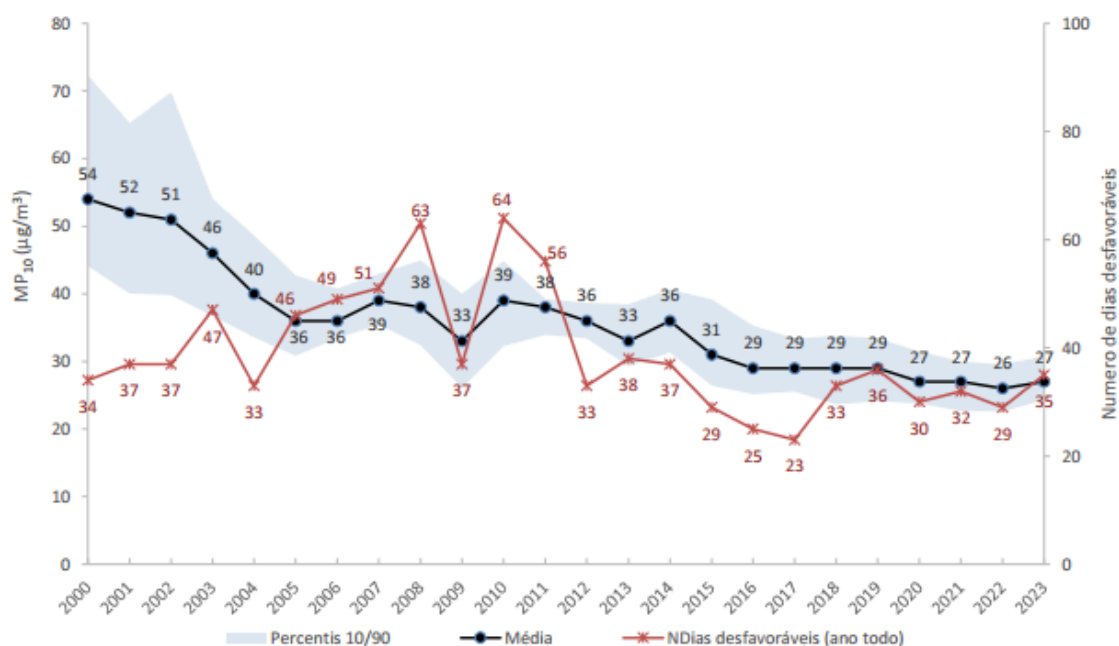
Partículas Inaláveis (MP ₁₀)							
Anos		média de 24h					NU
		Boa 0 - 50 µg/m³	Moderada >50 - 100 µg/m³	Ruim >100 - 150 µg/m³	Muito Ruim >150 - 250 µg/m³	Péssima >250 µg/m³	
RMSP	2019	90,56%	9,38%	0,06%			0
	2020	90,29%	9,60%	0,11%			2
	2021	90,60%	8,94%	0,41%	0,06%		4
	2022	91,90%	8,00%	0,10%			4
	2023	91,62%	8,35%	0,04%			2

Fonte: CETESB (2024)
 Nota:
 NU = Número de dias de ultrapassagens do PQAr de 24 horas (até 2021 = 120 µg/m³, a partir de 2022 = 100 µg/m³). No totalizado para a RMSP, contabiliza-se apenas um dia no caso de ocorrências de ultrapassagens concomitantes em mais de uma estação.
 Base RMSP: Todas as estações fixas com monitoramento anual representativo

Tabela 2: MP₁₀ - Distribuição percentual da qualidade do ar de 2019 a 2023 - RMSP. Fonte: CETESB

Nos últimos anos, observa-se que as concentrações médias tendem à estabilidade, apesar da variação nas condições meteorológicas, indicando que, mesmo com as emissões dos veículos novos cada vez mais baixas, estas são suficientes apenas para compensar o aumento da frota e o comprometimento das condições de tráfego. O ano de 2023 foi meteorologicamente mais desfavorável à dispersão dos poluentes do que 2022, apesar disto, a concentração média foi praticamente a mesma do ano anterior.

Gráfico 6.3 – MP_{10} – Evolução das concentrações médias anuais – RMSP



Fonte: CETESB (2024)

Gráfico 3: MP_{10} - Evolução das concentrações médias anuais - RMSP. Fonte: CETESB

$MP_{2,5}$

A Tabela 3 apresenta a distribuição percentual da qualidade do ar nas estações automáticas da RMSP nos últimos cinco anos. Pode-se observar que, em 2023, em comparação com o ano anterior houve pequena redução do percentual de qualidade BOA e aumento das qualidades moderada e ruim.

Tabela 6.4 – MP_{2,5} – Distribuição percentual da qualidade do ar de 2019 a 2023 – RMSP – Rede Automática

Partículas Inaláveis (MP _{2,5})							
Anos		média de 24h					NU
		Boa 0 - 50 µg/m³	Moderada >50 - 100 µg/m³	Ruim >100 - 150 µg/m³	Muito Ruim >150 - 250 µg/m³	Péssima >250 µg/m³	
RMSP	2019	84,75%	14,67%	0,56%	0,02%		6
	2020	86,19%	13,35%	0,46%			3
	2021	86,75%	12,32%	0,82%	0,06%	0,02%	9
	2022	90,00%	9,80%	0,20%			9
	2023	89,00%	10,73%	0,27%			5

Fonte: CETESB (2024)

Tabela 3: MP_{2,5} - Distribuição percentual da qualidade do ar de 2019 a 2023 - RMSP. Fonte: CETESB

Quanto à relação MP_{2,5}/MP₁₀, as medições realizadas na RMSP têm mostrado que o material particulado inalável fino (MP_{2,5}) corresponde a cerca de 60% do material particulado inalável (MP₁₀).

Estudos realizados pela CETESB indicam que grande parte do MP_{2,5}, na RMSP, é de origem veicular, quer pela emissão direta desse poluente, quer pela emissão de gases, destacando-se os compostos orgânicos voláteis e o dióxido de enxofre, que reagem na atmosfera dando origem ao material particulado secundário. Nessa fração, o aporte de aerossóis provenientes da ressuspensão de poeira de rua não é significativo.

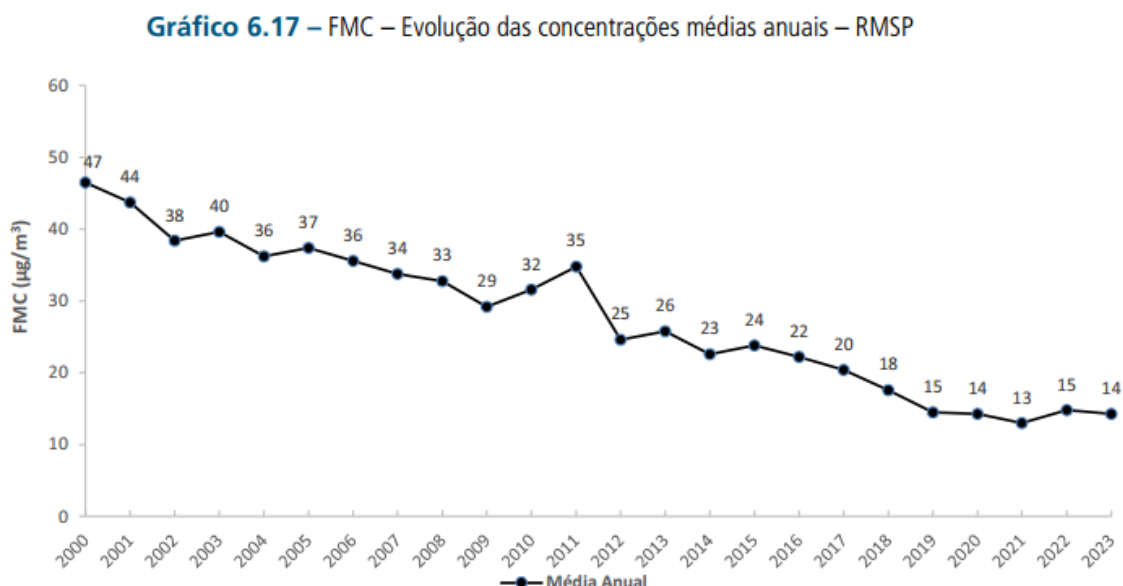
Fumaça

A determinação de fumaça baseia-se na medida da refletância do material particulado, o que confere a este parâmetro a característica de estar diretamente associado ao teor de fuligem na atmosfera.

Na RMSP, em 2023, não houve ultrapassagem do padrão de curto prazo de fumaça (100 µg/m³) e nem do padrão anual (35 µg/m³), em nenhuma das estações que medem esse poluente.

Na década de 1980, o controle efetivo sobre as atividades industriais refletiu-se, em grande parte, na redução desse poluente. Mais recentemente, como pode ser observado no

Gráfico 4, que apresenta a evolução das concentrações médias anuais de fumaça na RMSP a partir de 2000, os ganhos ambientais devem ser atribuídos, principalmente, ao controle sobre as emissões veiculares.



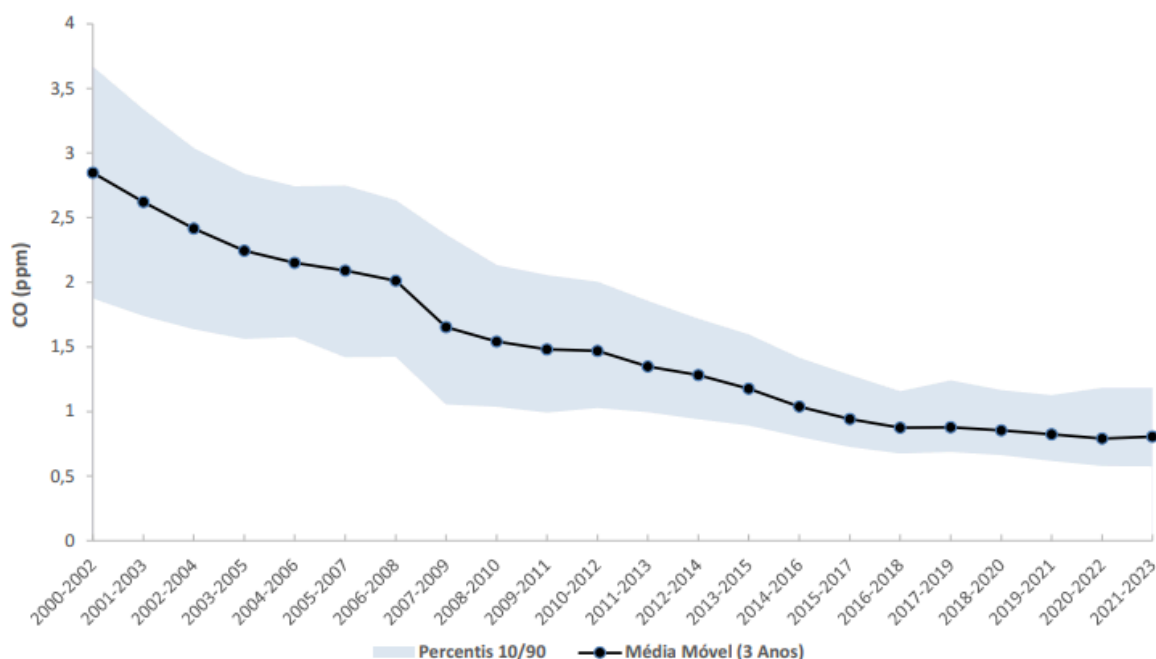
Fonte: CETESB (2024)

Gráfico 4: FMC - Evolução das concentrações médias anuais - RMSP. Fonte: CETESB

Monóxido de carbono (CO)

No Gráfico 5, é apresentada a evolução das médias móveis de três anos, obtidas para as estações da RMSP. Apesar do aumento da frota de veículos ao longo dos anos, as concentrações atuais são menores que as observadas na década de 2000, principalmente devido à redução das emissões dos veículos leves novos, associada à renovação da frota existente. Essa queda, que foi mais acentuada no início da década de 2000, tem se dado de maneira mais lenta, tendendo à estabilidade nos últimos anos.

Gráfico 6.31 – CO – Evolução das médias móveis das máximas diárias (média de 8 horas) – RMSP



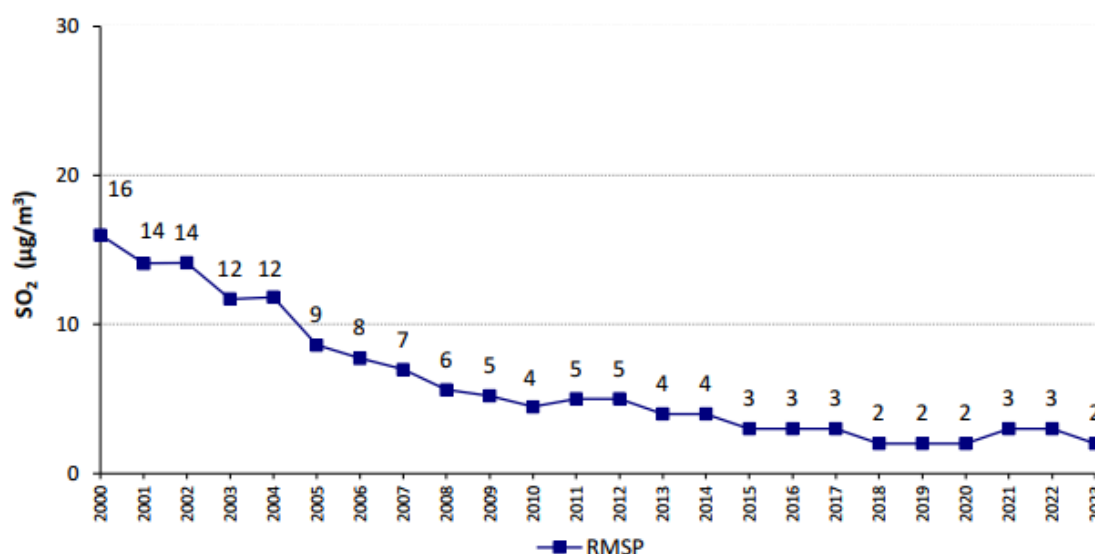
Fonte: CETESB (2024)

Gráfico 5: CO - Evolução das médias móveis das máximas diárias (média de 8 horas) - RMSP. Fonte: CETESB

Dióxido de enxofre (SO₂)

No Gráfico 6, observa-se que os níveis de dióxido de enxofre na RMSP vinham sendo reduzidos ao longo dos anos, como resultado do controle exercido sobre as fontes fixas e da redução do teor de enxofre dos combustíveis, tanto industriais como automotivos. Desde 2015 as médias anuais se mantêm praticamente estáveis, apesar das variações das condições meteorológicas.

Gráfico 6.34 – SO₂ – Evolução das concentrações médias anuais – RMSP



Fonte: CETESB (2024)

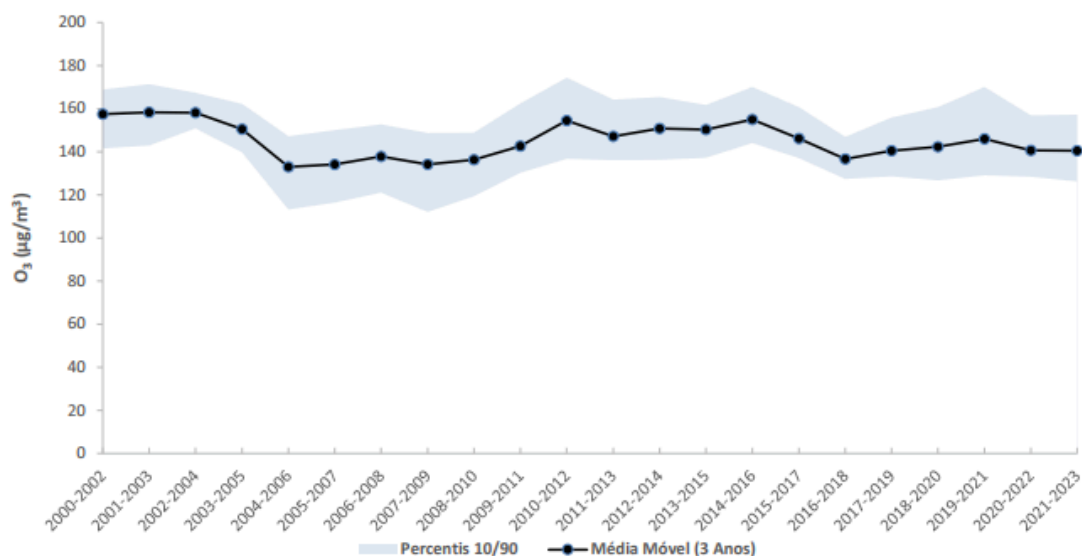
Gráfico 6: SO₂ - Evolução das concentrações médias anuais - RMSP. Fonte: CETESB

Ozônio

O ozônio depende dos óxidos de nitrogênio e de COVs para a sua formação, fazendo-se necessário o controle de ambos. É um controle complexo, pois a teoria indica que há situações em que o controle de apenas um dos precursores pode levar a um aumento das concentrações de ozônio. No estado de São Paulo, no ano de 2023, foi verificada a ocorrência de ultrapassagens de padrão desse poluente tanto na RMSP como no interior/litoral. A RMSP possui condições mais propícias à formação do ozônio que nas outras áreas do estado, devido ao tamanho de sua frota e da magnitude de suas emissões. Tem-se atribuído à sua característica de poluente secundário, dependente de precursores e da radiação solar, o comportamento variável desse poluente, o que dificulta uma consistente análise de tendência.

O ozônio faz parte de um conjunto de substâncias que resultam do processo fotoquímico. Dentre elas, destaca-se a formação de compostos orgânicos na forma de partículas. Juntamente com esse material particulado secundário também se encontram os sulfatos, provenientes do SO₂ e os nitratos, provenientes do NO₂. Esses artefatos secundários compõem uma das frações mais importantes do material particulado fino. Devido ao seu pequeno tamanho, essas partículas são bastante agressivas à saúde, por penetrarem profundamente no trato respiratório.

Gráfico 6.23– O₃ – Evolução das médias móveis do 4º maior valor diário (máxima de 8 horas) – RMSP



Fonte: CETESB (2024)

Gráfico 7: O₃ - Evolução das médias móveis do 4º maior valor diário (máxima de 8 horas) - RMSP. Fonte: CETESB

Após a apresentação do comportamento individual dos poluentes atmosféricos, torna-se relevante abordar a situação da poluição do ar no estado de São Paulo de maneira integrada.

Os poluentes gasosos primários, como dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂) e monóxido de carbono (CO), são predominantemente emitidos por processos de combustão, tanto de combustíveis fósseis quanto de biomassa. Devido à sua contribuição significativa para a degradação da qualidade do ar, as fontes de combustão constituem um dos principais alvos das políticas de controle ambiental. Cada tipo de combustível, em função de suas propriedades, emite diferentes proporções desses gases, e os processos de queima ocorrem sob condições variáveis, exigindo estratégias de controle específicas.

Exemplos concretos ilustram os avanços no controle das emissões desses poluentes. A emissão de SO₂ foi significativamente reduzida com a regulação do teor de enxofre nos combustíveis, tanto industriais quanto veiculares. Por sua vez, as emissões de CO diminuíram com a introdução de catalisadores e sistemas de injeção eletrônica nos automóveis. Já as emissões de NO₂ foram mitigadas por melhorias tecnológicas em veículos movidos a diesel.

As análises integradas dos diferentes poluentes indicam desconformidades tanto na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) quanto no interior e litoral do estado, com destaque para o ozônio e o material particulado. De modo geral, o ozônio apresenta concentrações mais elevadas na RMSP, enquanto o material particulado possui maior relevância em determinadas localidades do interior e do litoral.

Entre os poluentes analisados, aqueles cujas concentrações ambientais estão mais controladas, como o CO e o SO₂, representam menor preocupação. No entanto, o NO₂ continua exigindo atenção devido ao seu papel na formação do ozônio. O ozônio e o material particulado permanecem como prioridades, uma vez que apresentam concentrações elevadas independentemente do padrão de qualidade adotado.

A análise da poluição no município de São Paulo evidencia um alerta mais contundente para controlar as emissões de MPs e a formação do O₃ a nível troposférico, bem como uma nova preocupação para com as concentrações de NO₂. Essa preocupação pode ser extrapolada para todo o Brasil, que, além de atualizar os padrões finais de qualidade do ar, deve criar as condições para uma efetiva gestão da qualidade do ar, permitindo a verificação e o progresso baseado nas metas da qualidade do ar. Primeiramente, isso passa pela implantação e o funcionamento confiável de uma rede de monitoramento de qualidade do ar, destacando-se que hoje esse monitoramento ocorre em apenas 10 estados brasileiros e no Distrito Federal. Em segundo lugar, é necessário colocar em prática medidas efetivas que levem à redução das emissões a partir de planos e programas de controle.

2.5.6 Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS (2021)

A Organização Mundial da Saúde (OMS) publica regularmente relatórios sobre os impactos da poluição do ar na saúde humana, consolidando o conhecimento científico mais recente sobre o tema. Esses documentos incluem as Diretrizes de Qualidade do Ar (DQA), que consistem em valores-limite recomendados pela organização para proteger a saúde das populações por meio da melhoria da qualidade do ar (WHO, 2021). As diretrizes são elaboradas com base em revisões sistemáticas da literatura científica, métodos rigorosos de avaliação e consultas extensivas com especialistas e usuários finais de diversas regiões do mundo.

Em setembro de 2021, a OMS divulgou uma atualização das Diretrizes de Qualidade do Ar, revisando a versão anterior, publicada em 2005. Essas atualizações refletem os avanços no conhecimento científico sobre os efeitos adversos da poluição atmosférica, além de fornecer orientações para apoiar os países na formulação de políticas públicas relacionadas à qualidade do ar.

Embora as diretrizes da OMS não possuam caráter vinculativo e não sejam obrigatórias nos ordenamentos jurídicos nacionais, elas frequentemente servem como referência para que governos estabeleçam seus próprios padrões de qualidade do ar. A aplicação dessas diretrizes varia entre os países, dependendo de fatores como capacidade técnica, condições econômicas, políticas de gestão ambiental e contextos políticos e sociais.

Reconhecendo as disparidades entre as realidades locais, a OMS propõe também metas intermediárias (MI). Essas metas representam valores provisórios definidos para orientar os países na transição progressiva rumo ao cumprimento dos níveis recomendados pelas DQA.

O Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) publicou em 2022 uma nota técnica utilizando como base os dados coletados pela CETESB adequando as metas intermediárias e os valores das DQA da OMS para poluentes como material particulado (MP_{10} e $MP_{2,5}$), ozônio (O_3) e dióxido de nitrogênio (NO_2). Os resultados a seguir serão apresentados discriminando cada poluente analisado.

Material Particulado

Observa-se um comportamento de redução gradual, ao longo dos últimos 22 anos, das concentrações dos materiais particulados medidos pelas estações de modo geral. No início dos anos 2000, observam-se valores entre 3 e 5 vezes maiores do que as atuais diretrizes de qualidade do ar da OMS (DQA). Hoje, para o MP_{10} , são observados valores cerca de duas vezes maiores do que a DQA, enquanto que, para o $MP_{2,5}$, ainda são observados valores entre 3 e 4 vezes maiores do que a DQA.

Concentrações elevadas são observadas em estações de todas as escalas de representatividade espacial. De maneira ainda mais proeminente, elas ocorrem nas estações de microescala, localizadas nas proximidades de vias de tráfego veicular intenso, indicando a forte influência das emissões veiculares. Segundo a CETESB, as emissões de MP da atividade

veicular na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) caíram de 2,5 mil toneladas em 2006 para 1,5 mil em 2019.

Concentrações médias anuais de MP_{10} , em $\mu g/m^3$, entre 2000 e 2021, classificadas conforme as diretrizes de qualidade do ar (DQA) e as metas intermediárias (MI) da OMS

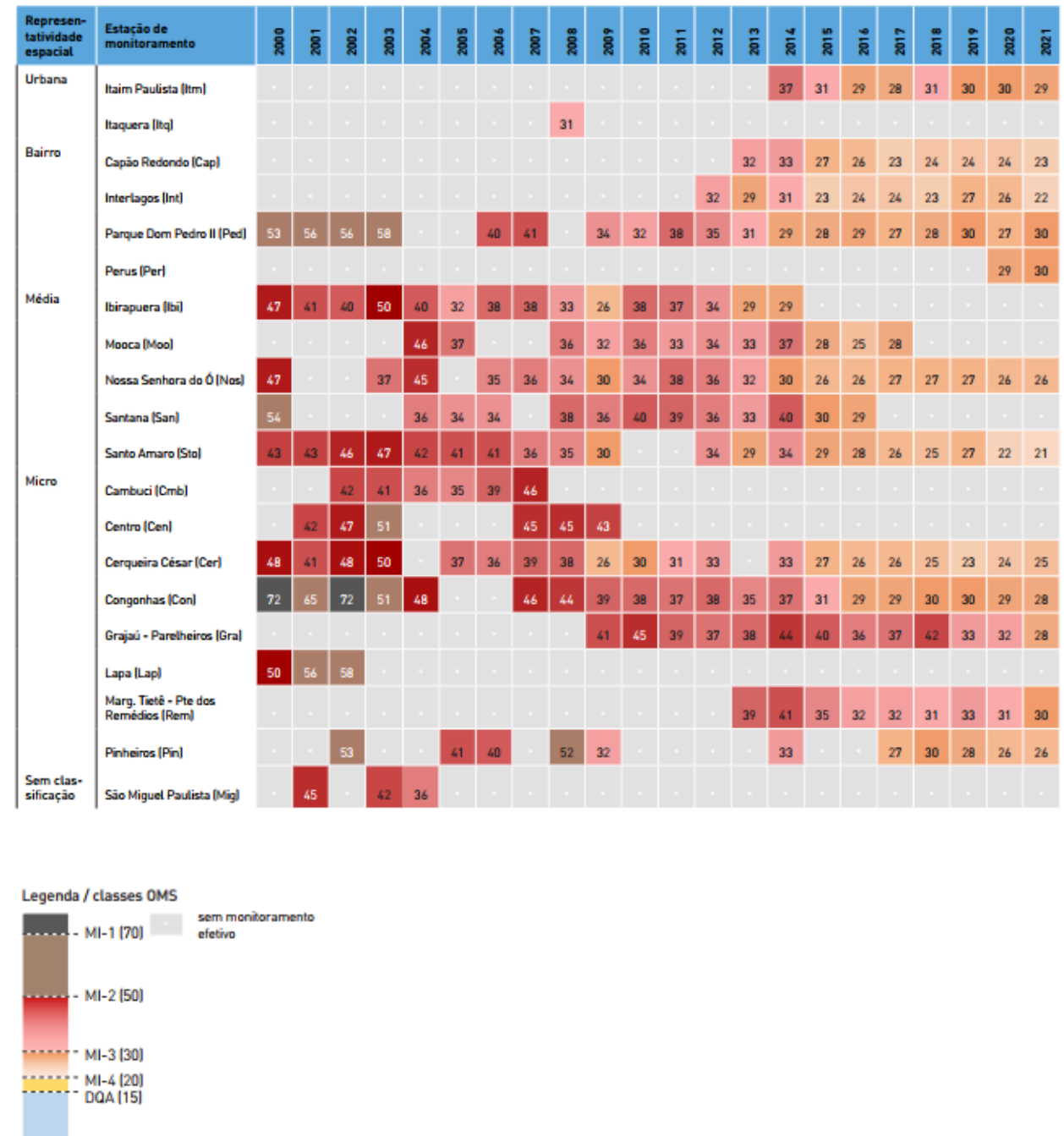


Gráfico 8: Concentrações médias anuais de MP_{10} , em $\mu g/m^3$, entre 2000 e 2021, classificadas conforme as diretrizes de qualidade do ar (DQA) e as metas intermediárias (MI) da OMS. Fonte: IEMA

Concentrações médias anuais de MP_{2,5}, em µg/m³, entre 2000 e 2021, classificadas conforme as diretrizes de qualidade do ar (DQA) e as metas intermediárias (MI) da OMS

Representatividade espacial	Estação de monitoramento	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Urbana	Cidade Universitária USP - IPEN (Cid)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15	15	12	13	16	16	15	14	14
	Ibirapuera (Ibi)	.	.	.	16	19	.	17	17	16	13	16	18	14	10	13	17	16	15	15	13	12	16
	Itaim Paulista (Itm)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	17	17	18	16	16
	Pico do Jaraguá (Pic)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	13	15	16	13	11
Bairro	Mooca (Moo)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	17	16	14	15
	Parque Dom Pedro II (Ped)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	17	18	17	17	17
	Perus (Per)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15	15
Média	Santana (San)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	16	16	15	17
Micro	Cerqueira César (Cer)	24	23	23	20	22	22	21	23	19	16	18	20	20	17	17	18	16	16	15	13	14	13
	Congonhas (Con)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	23	20	20	23	20	19	18	19	18	17	17
	Grajaú - Parelheiros (Gra)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	21	20	17	17	18	17	15	14
	Marg. Tietê - Pte dos Remédios (Rem)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	26	22	19	19	20	20	18	19
	Pinheiros (Pin)	.	21	21	.	.	.	21	21	16	15	18	20	16	18	19	.	.	14	16	16	.	.
Sem classificação	Santo Amaro (Sto)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	13	12

Legenda / classes OMS

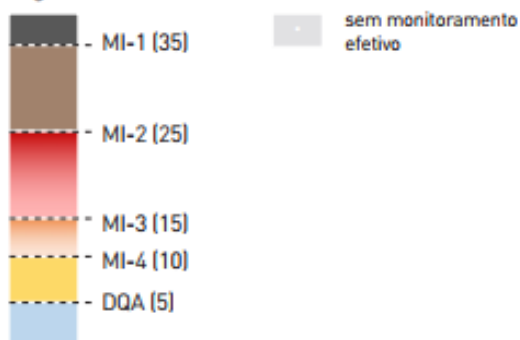


Gráfico 9: Concentrações médias anuais de MP_{2,5}, em µg/m³, entre 2000 e 2021, classificadas conforme as diretrizes de qualidade do ar (DQA) e as metas intermediárias (MI) da OMS, Fonte: IEMA

Ozônio

Como a primavera e o verão são as estações do ano mais propícias à formação de ozônio troposférico, o período de maior concentração de ozônio na atmosfera acaba por ser seccionado pela mudança do ano-calendário. Assim, de modo a melhor representar a alta

temporada de ocorrência do ozônio, a presente análise adota um recorte anual com início no inverno (dia 21 de junho de um ano) e encerramento no outono (dia 20 de junho do ano seguinte).

O Gráfico 10 demonstra as concentrações médias de alta temporada do ozônio, para cada uma das estações de monitoramento da capital paulista no período de análise. No último ano, nota-se que nenhuma das 15 estações que monitoram o poluente apresentou concentrações compatíveis com as diretrizes da qualidade do ar OMS (DQA). Uma das estações, a Cidade Universitária USP - IPEN (Cid), apresentou valores superiores à meta intermediária 1 (MI-1), ou seja, acima dos 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A grande maioria das outras estações, 12 delas, apresentaram concentrações compatíveis com a MI-1, ou seja, abaixo dos 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mas acima dos 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por último, três estações apresentaram concentrações compatíveis com a meta intermediária 2, abaixo dos 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mas acima das DQA definidas em 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Observa-se que as concentrações de ozônio ao longo dos anos variaram sobremaneira, mas que o atendimento às DQA foram exceções, ocorrendo principalmente na estação Pinheiros (Pin) entre os anos 2001 e 2010. A própria CETESB não identifica um padrão de comportamento do ozônio ao longo dos anos, o que corrobora com a indicação dessa análise de que não houve melhora no período.

Concentrações médias de alta temporada de O₃, em µg/m³, entre 2000 e 2021, classificadas conforme as diretrizes de qualidade do ar (DQA) e as metas intermediárias (MI) da OMS

Representatividade espacial	Estação de monitoramento	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021
Urbana	Cidade Universitária USP - IPEN (Cid)							70	84	77	74	85	100	85	86	105	92	68	78	83	75	104
	Ibirapuera (Ibi)	91	84	97	74	75	75	71	77	71	80	99	94	100	90	98	78	81	86	85	83	100
	Pico do Jaraguá (Pic)																	83	99	82	96	95
	Itaquera (Itq)								71	52	77	67	89	77	79	90	67	57	68	87	85	94
	Interlagos (Int)													81	86	94	83	75	79	82	75	84
	Itaim Paulista (Itm)													77	80	85	75	73	80	73	71	79
Bairro	Perus (Per)																				92	98
	Mooca (Moo)	73	80	78	61	69	74	71	68	71	64	72	83	81	64	80	64	68	78	71	80	83
	Nos Senhora do Ó (Nos)					65	65	66	80	69	65	69	75	79	81	83	81	76	75	72	71	81
	Parque D. Pedro II (Ped)	63	54	65	49		66	66	58	57	60	69	71	66	75	77	65	76	78	73	73	80
	Santo Amaro (Sto)			105	87	88	75	70	62	71	74		67	71	76	84	76	62	63	65	63	68
	Capão Redondo (Cap)													82	80	73	82	72	74	72	65	61
Média	Santana (San)	91	82	95	74	69		66	84	68	69	70	80	77	80	87	87	75	75	78	79	90
Micro	Pinheiros (Pin)	65	54	58	45	48	49	50	54	60	50	75	81	72	67	64	67	62	64	65	66	72
	Grajaú - Parelheiros (Gra)								65	58	55	63	74	67	70	79	64	70	79	72	63	63
Sem classificação	São Miguel Paulista (Mig)	74	74	83	68	77																
	Lapa (Lap)	28																				

Legenda / classes OMS

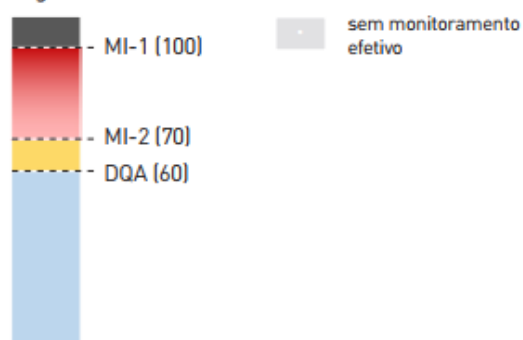


Gráfico 10: Concentrações médias anuais de O₃, em µg/m³, entre 2000 e 2021, classificadas conforme as diretrizes de qualidade do ar (DQA) e as metas intermediárias (MI) da OMS.
Fonte: IEMA

NO₂

Em 2021, a OMS atualizou suas recomendações, introduzindo valores mais restritivos para os poluentes nas fases de controle, reduzindo a DQA do NO₂ para 10 µg/m³ na média anual, valor 4 vezes mais restritivo. O Gráfico 11 mostra as concentrações de NO₂ medidas nas estações de monitoramento do município classificadas segundo os novos valores guia da OMS de 2021, onde identifica-se que nenhuma estação atinge as novas recomendações.

GRÁFICO 4

Concentrações médias anuais de NO₂, em µg/m³, entre 2000 e 2021, classificadas conforme as diretrizes de qualidade do ar (DQA) e as metas intermediárias (MI) da OMS

Representatividade espacial	Estação de monitoramento	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Urbana	Cidade Universitária USP - IPEN (Cid)									35	31	26	25	32	26	32	31	31		31			
	Ibirapuera (Ibi)	41	41	39	34	34			61	39	37	42	41	37	32	32	29	29	28	28	27	24	
	Interlagos (Int)														33	31	29	26	27	30			
	Itaim Paulista (Itm)																			22	20	19	20
	Pico do Jaraguá (Pic)																		20	17	13	14	15
Bairro	Capão Redondo (Cap)														31	31	29	27	27	28			
	Parque Dom Pedro II (Ped)	68	58	57	56				43	31	50	54	52	45	44	43	42	40	40	39	37	32	
Micro	Cerqueira César (Cer)		69	66				54	68	63	58	53	48	50	43	44	43	37	41	39	34	29	33
	Congonhas (Con)			86	86	77			75	77	73	67	57	57		58	55	52	62	62	62	56	
	Grajaú - Parelheiros (Gra)											30	14	17	15	16	29		29	27			
	Lapa (Lap)		73	81																			
	Marg. Tietê - Pte dos Remédios (Rem)														64	64	58	52	56	57	59	54	49
Sem classificação	Pinheiros (Pin)		51				50	55	45	52	45	49	42	48	43	46	38	35	40	43	38	28	32
	Horto Florestal (Hor)						19																

Legenda / classes OMS



Gráfico 11: Concentrações médias anuais de NO₂, em µg/m³, entre 2000 e 2021, classificadas conforme as diretrizes de qualidade do ar (DQA) e as metas intermediárias (MI) da OMS.

Fonte: IEMA

3. Materiais e Métodos

Este é um estudo retrospectivo de 402 cães e gatos atendidos no HOVET/ FMVZ USP, apresentando neoplasias diagnosticadas por exame histopatológico, no período de 1º de agosto de 2023 a 31 de julho de 2024. Registros com dados incompletos foram excluídos da análise.

Os dados epidemiológicos foram categorizados pelos seguintes critérios: número do prontuário, raça, idade, sexo, CEP e classificação histológica. Os CEPs foram correlacionados com os endereços através da linguagem de programação R versão 4.4.2. Com os dados obtidos pelo estudo retrospectivo, foi possível mapear os casos de neoplasias de cães e gatos em diferentes regiões de São Paulo.

4. Resultados

4.1 Estatísticas descritivas e espaciais

Dentro dos 402 animais deste estudo, foram avaliados 416 neoplasias no total visto que 14 cães apresentaram mais de um tipo histológico em diferentes neoformações. Este total é representado por 305 cães e 97 gatos advindos da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). A figura 2 e a figura 3 ilustram no mapa a ocorrência georreferenciada dos casos de cães e gatos respectivamente.

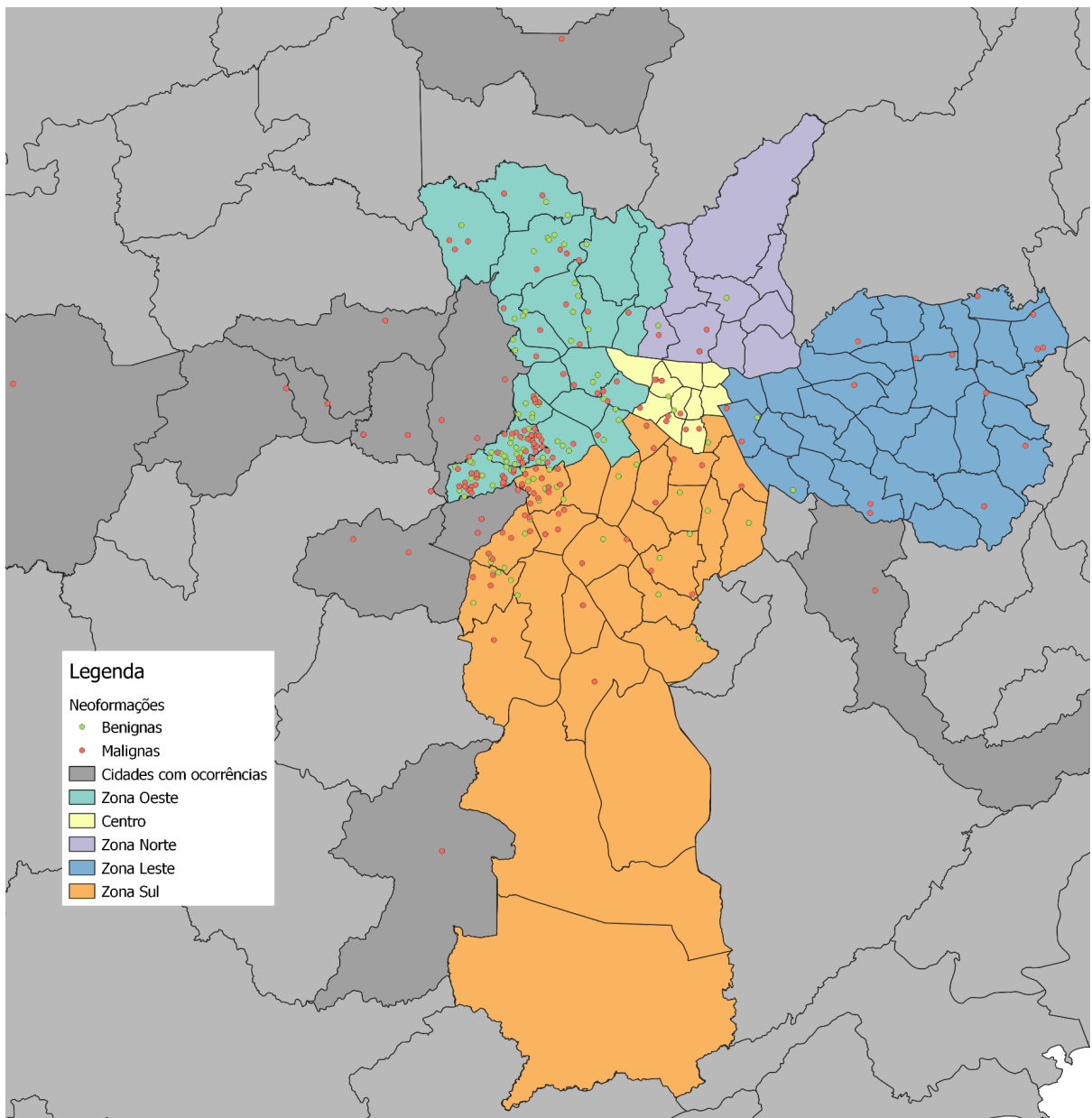


Figura 2: Distribuição dos casos caninos de neoplasias benignas e malignas nas diferentes regiões de São Paulo, SP, Brasil (HOVET FMVZ - USP, 2023-2024) Fonte: (JARCOVIS, 2024)

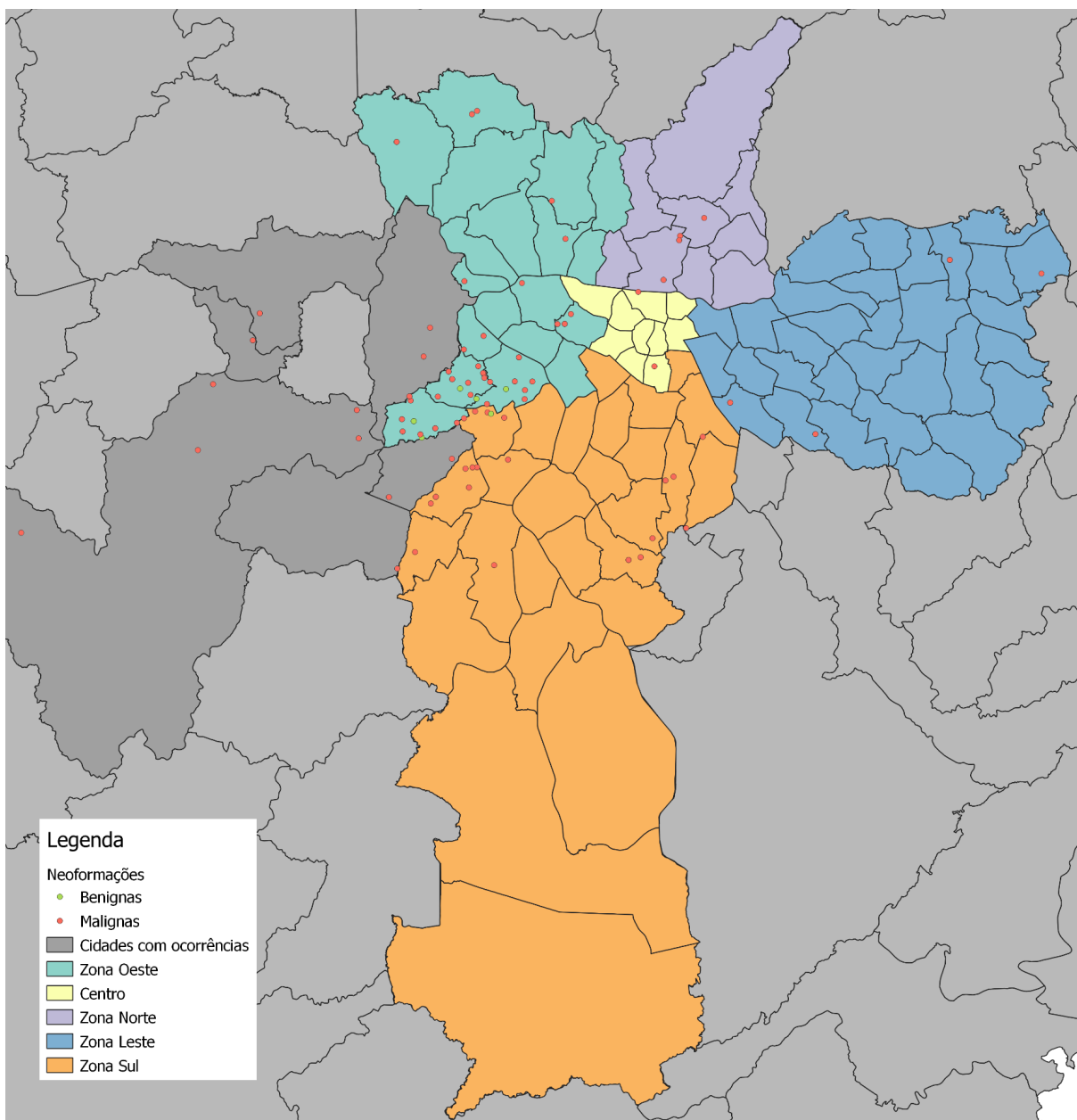


Figura 3: Distribuição dos casos felinos de neoplasias benignas e malignas nas diferentes regiões de São Paulo, SP, Brasil (HOVET FMVZ - USP, 2023-2024) Fonte: JARCOVIS, 2024

Observa-se uma heterogeneidade na distribuição espacial dos casos em ambos os gráficos, com maior concentração de ocorrências nas regiões Oeste e Sul, sendo que os casos na região Sul estavam majoritariamente localizados próximos aos limites com a Zona Oeste.

Para realizar a análise comparativa entre as diferentes zonas do município de São Paulo (Centro, Norte, Sul, Leste e Oeste), foram excluídos os animais cujo georreferenciamento estava fora dos limites do município. Dessa forma, a amostra final foi

composta por 370 animais, sendo 285 cães e 85 gatos. O total de neoplasias analisadas foi de 382, considerando que 12 cães apresentaram mais de um tipo histológico em diferentes neoformações.

A representação entre os cães foi de 137 fêmeas e 160 machos e entre os gatos foi de 42 fêmeas e 43 machos. Cães entre nove e doze anos de idade foram os mais acometidos pelas neoplasias (44%), enquanto os felinos entre oito e dez anos de idade foram os mais acometidos (38%)

Em relação aos padrões raciais, na população de cães os animais sem raça definida (SRD) foi a mais prevalente neste estudo (149 casos: 50%). Porém diversos outros padrões foram encontrados e podem ser observados no gráfico 12 a seguir. Em relação aos felinos, 100% deles foram sem raça definida.

Distribuição de Padrão Racial - Cães

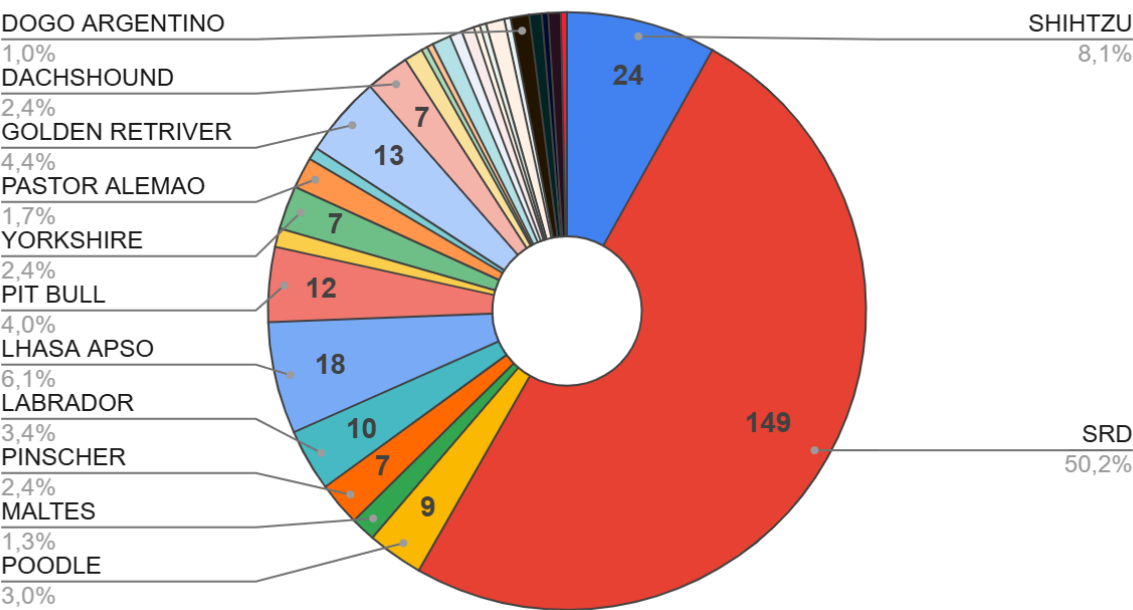


Gráfico 12: Distribuição de Padrão Racial em cães. Fonte: JARCOVIS, 2024

Quando comparada a distribuição racial em relação aos padrões de malignidade algumas raças como Pit bull, Pinscher e Lhasa apso apresentam uma proporção maior de neoplasias malignas em relação às neoplasias benignas que podem ser observadas no gráfico 13.

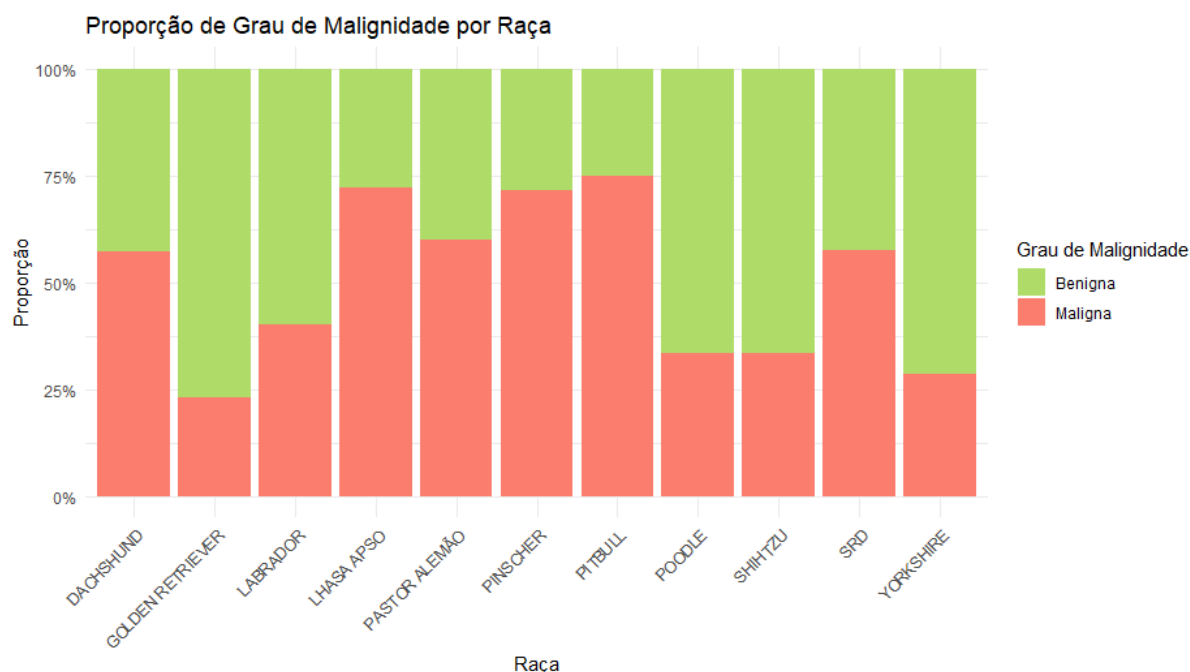


Gráfico 13: Proporção de malignidade por raça em cães. Fonte: (JARCOVIS, 2024)

Em relação a malignidade das neoplasias em cada espécie foi possível observar que em cães 45,12% das neoplasias foram benignas e 54,88% das neoplasias foram malignas. Em gatos essa relação foi apenas 8,23% das neoplasias como benignas e 91,76% das neoplasias como malignas.

Os tipos histológicos mais frequentes em cães foram: Lipoma (8 %), Mastocitoma cutâneo grau II (6,4 %), Leydigoma (4 %), Epitelioma Meibomiano (3 %) e Sarcoma de células fusiformes (3 %) ilustrados no Gráfico 14. Outros diversos tipos histológicos foram encontrados com distribuição menos significativa, demonstrados no gráfico 15.

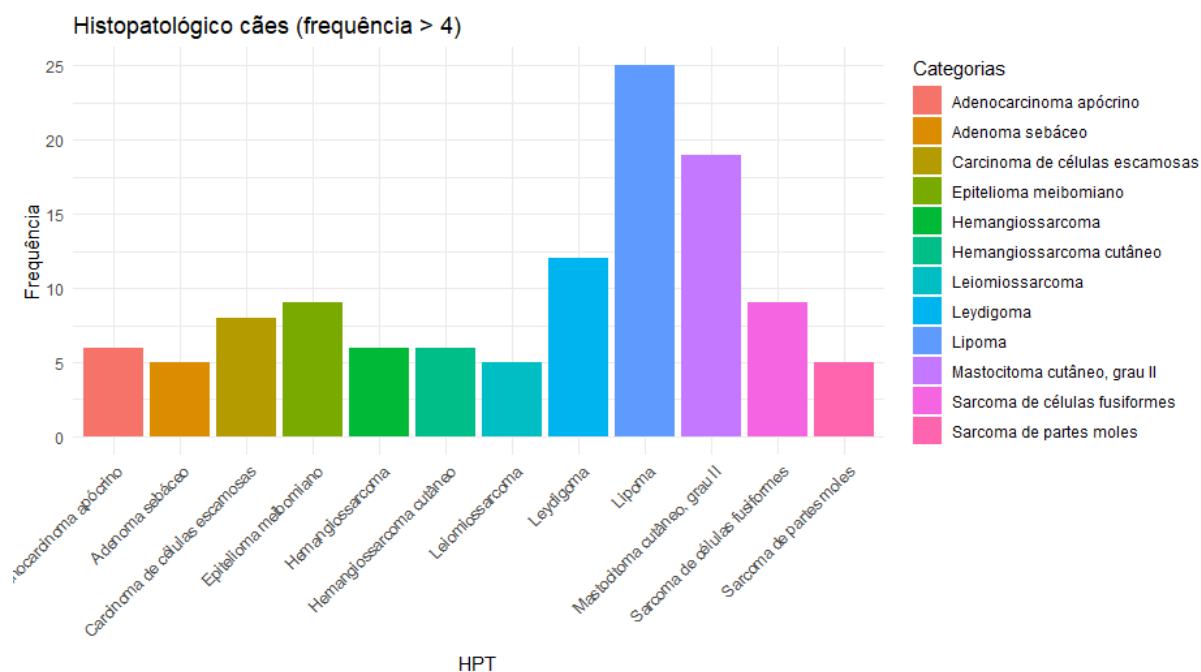


Gráfico 14: Frequência de resultados histopatológicos mais comuns em cães. Fonte: JARCOVIS, 2024

Histopatológicos em Cães

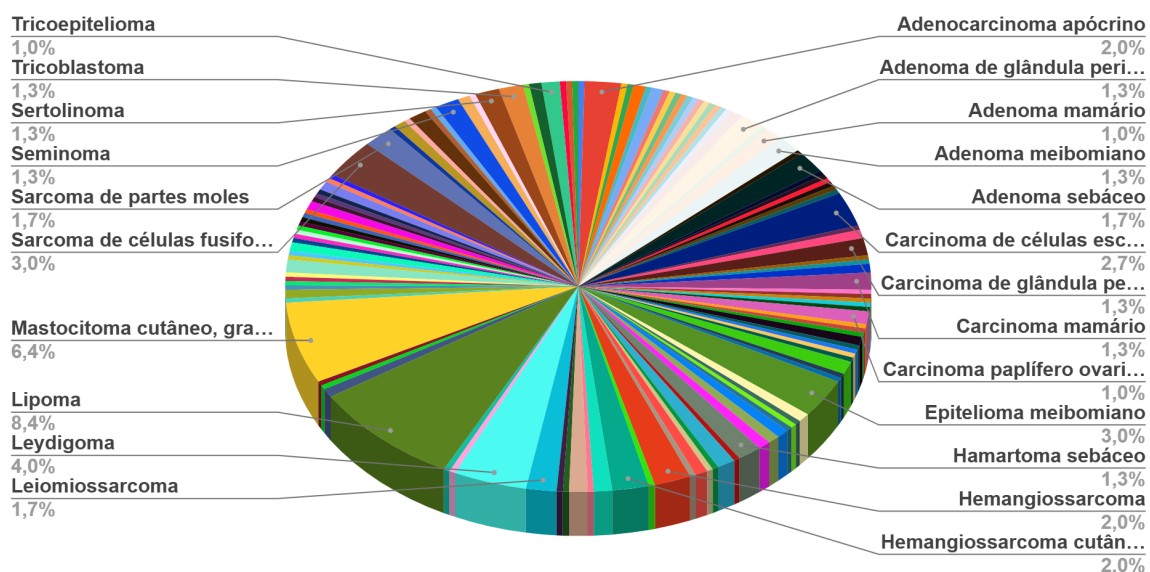


Gráfico 15: Histopatológicos em cães. Fonte: JARCOVIS, 2024

A maior frequência relativa de raça diagnosticada com Lipoma, neoplasia benigna mais frequente, foi a sem raça definida (64%), seguida de Golden Retriever (12%). Da mesma forma, a maior frequência relativa de raça diagnosticada com Mastocitoma cutâneo

grau II, neoplasia maligna mais frequente, a sem raça definida (57%), seguida igualmente por um indivíduo de demais raças como: Boxer, Bull Terrier, Dachshund, Dogo Argentino, Golden Retriever, Labrador, Pinscher, Poodle e Spitz Alemão.

Em felinos, os tipos histológicos mais frequentes foram: Carcinoma de células escamosas (38,8%), Linfoma de células intermediárias (5,9%), Sarcoma de células fusiformes (5,9%) e Linfoma de pequenas células (4,7%) como pode ser observado no gráfico 16. Alguns outros tipos histológicos foram encontrados com distribuição menos significativa, demonstrados no gráfico 17.

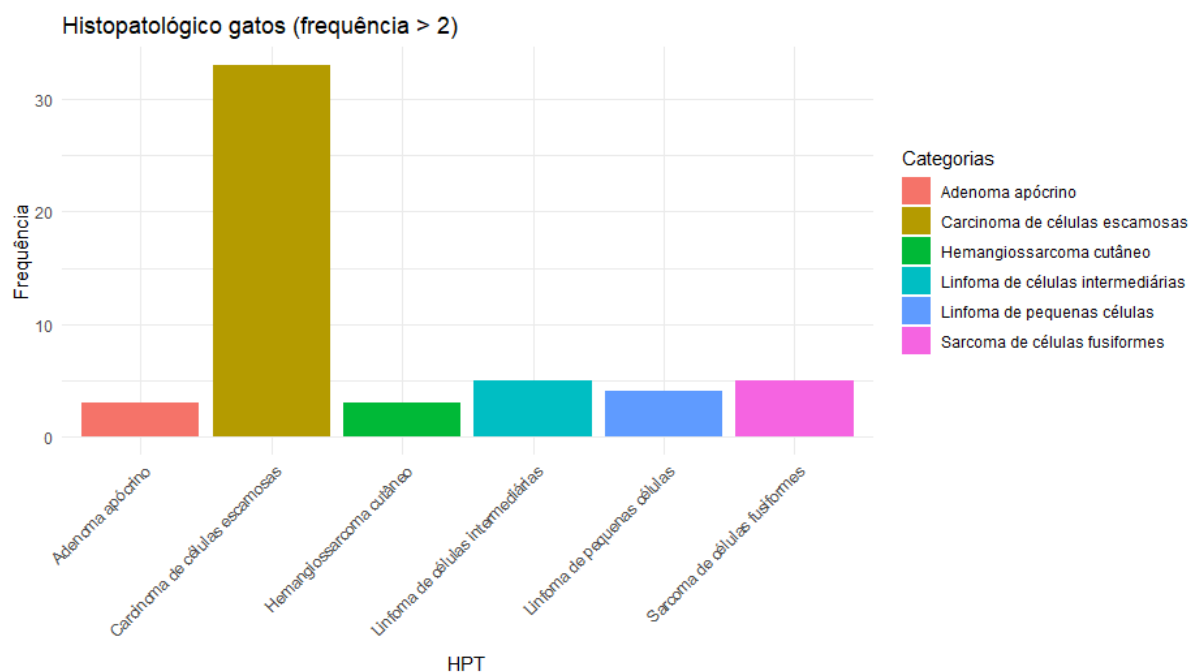


Gráfico 16: Frequência de resultados histopatológicos mais comuns em gatos. Fonte: JARCOVIS, 2024

Histopatológicos em gatos

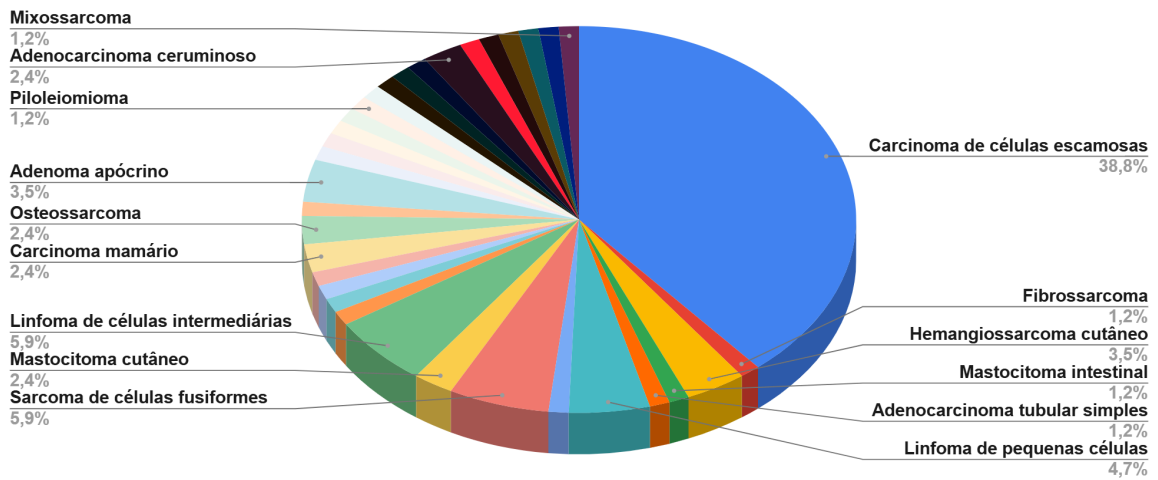


Gráfico 17: Histopatológicos em gatos. Fonte: JARCOVIS, 2024

4.2 Análises estatísticas

4.2.1 Sexo e Malignidade

Quando comparada as proporções de ocorrência de neoplasias malignas e o sexo dentro da populações de cães, percebe-se a princípio uma proporção de malignidade discretamente maior em fêmeas caninas conforme explicito no gráfico 18.

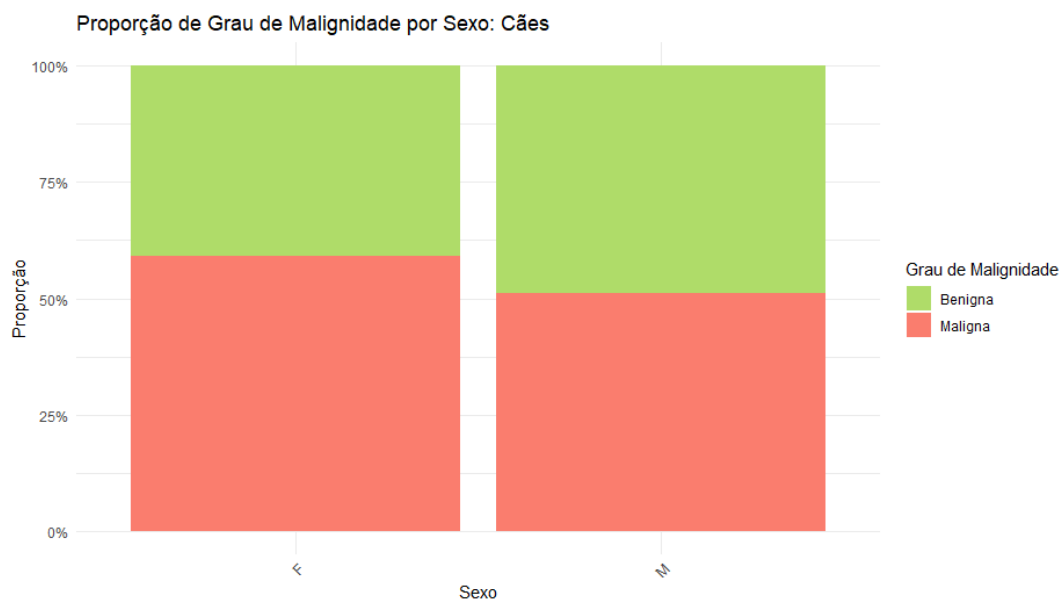


Gráfico 18: Proporção de malignidade por sexo em cães. Fonte: JARCOVIS, 2024

Para avaliar se há diferença nas proporções de grau de malignidade das neoplasias entre os sexos dos cães, foi feito o teste QUI- Quadrado (IC 95%), obtendo um p-valor de 0.2141. Com isso ($p > 0,05$), podemos afirmar que não há diferença estatística significativa entre a ocorrência de neoplasias malignas quando comparados machos e fêmeas em cães dentro dessa análise amostral.

Já quando comparada as proporções de ocorrência de neoplasias malignas e o sexo dentro da população de gatos, percebe-se a princípio uma proporção de malignidade discretamente maior em felinos machos conforme explicito no Gráfico 19.

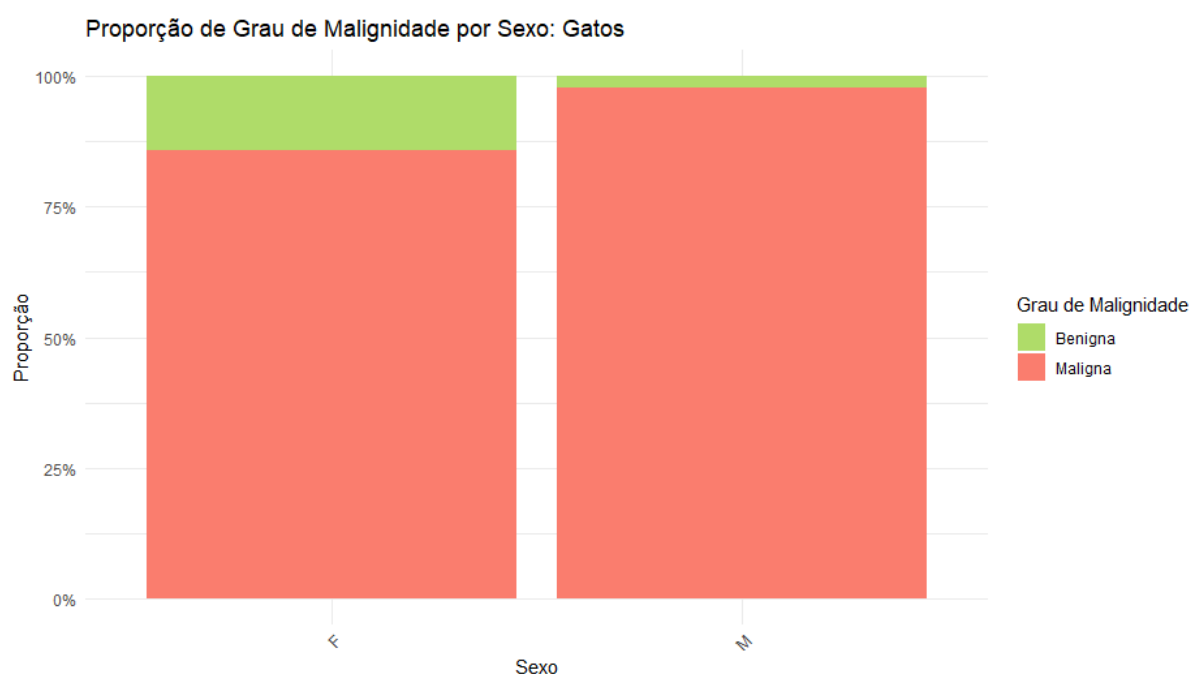


Gráfico 19: Proporção de malignidade por sexo em gatos. Fonte: JARCOVIS, 2024

Para avaliar se há diferença nas proporções de grau de malignidade das neoplasias entre os sexos dos gatos utilizamos o teste exato de Fisher, já que a tabela de valores esperados para o teste qui-quadrado teve valores < 5 . Obtendo um p-valor de 0.05769 ($p > 0.05$) podemos afirmar que não há diferença estatística significativa entre a ocorrência de neoplasias malignas quando comparados machos e fêmeas em gatos dentro dessa análise amostral.

4.2.2 Regiões e Malignidade

O levantamento de cães demonstra uma maior representatividade de indivíduos nas regiões oeste e sul, com ocorrência de neoplasias benignas e malignas em todas as regiões analisadas. A distribuição de neoplasias de cães do município de São Paulo podem ser verificadas na tabela 4 a seguir.

	Neoplasias benignas	Neoplasias malignas	Total
Centro	3	9	12
Norte	3	5	8
Sul	38	44	82
Leste	3	16	19
Oeste	87	89	176

Tabela 4: Distribuição das neoplasias em cães por região de São Paulo. Fonte: JARCOVIS, 2024

Quando comparadas as proporções de ocorrência de neoplasias malignas entre as regiões de São Paulo (centro, norte, sul, leste e oeste) dentro da população de cães, percebe-se a princípio uma proporção de malignidade discretamente maior na região leste no Gráfico 20.

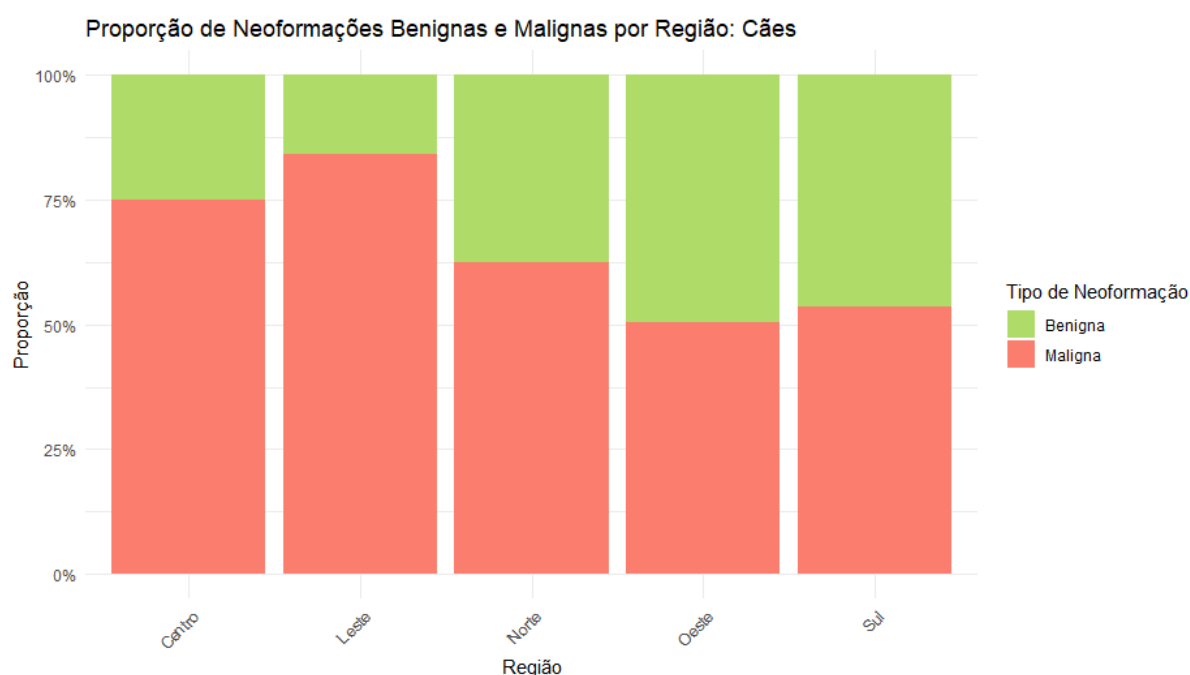


Gráfico 20: Proporção de malignidade por região em cães. Fonte: JARCOVIS, 2024

Para avaliar a existência de diferenças nas proporções de graus de malignidade das neoplasias em cães entre as regiões, foi realizado o teste exato de Fisher (IC 95%), obtendo-se um p-valor de 0,03259. Esse resultado ($p < 0,05$) levou à rejeição da hipótese nula, indicando uma possível diferença nas proporções de malignidade entre as regiões analisadas.

Para identificar a origem dessa diferença, foi aplicado o teste de Fisher pareado com ajuste de Bonferroni, comparando as regiões duas a duas. Contudo, nenhuma comparação apresentou significância estatística (todos os p-valores $> 0,05$). Assim, não foi possível confirmar diferenças significativas entre pares específicos de regiões.

De forma geral, os resultados sugerem uma tendência de variação entre as regiões (por exemplo, diferenças entre as regiões Centro e Leste em comparação com Oeste e Sul). No entanto, essas diferenças não foram consideradas estatisticamente relevantes ou importantes do ponto de vista prático.

O levantamento de felinos também demonstra uma maior representatividade de indivíduos nas regiões oeste e sul, porém sem ocorrência de neoplasias benignas nas regiões central, norte e leste. A distribuição de neoplasias de gatos entre as regiões do município de São Paulo podem ser verificadas na tabela 5 a seguir.

	Neoplasias benignas	Neoplasias malignas	Total
Centro	0	2	2
Norte	0	4	4
Sul	1	23	24
Leste	0	7	7
Oeste	6	42	148

Tabela 5: Distribuição das neoplasias em gatos por região de São Paulo. Fonte: JARCOVIS, 2024

Ao comparar as proporções de ocorrência de neoplasias malignas entre as regiões de São Paulo (Centro, Norte, Sul, Leste e Oeste) na população de gatos, observa-se inicialmente uma similaridade nas proporções de malignidade entre as regiões, conforme ilustrado no gráfico 21.

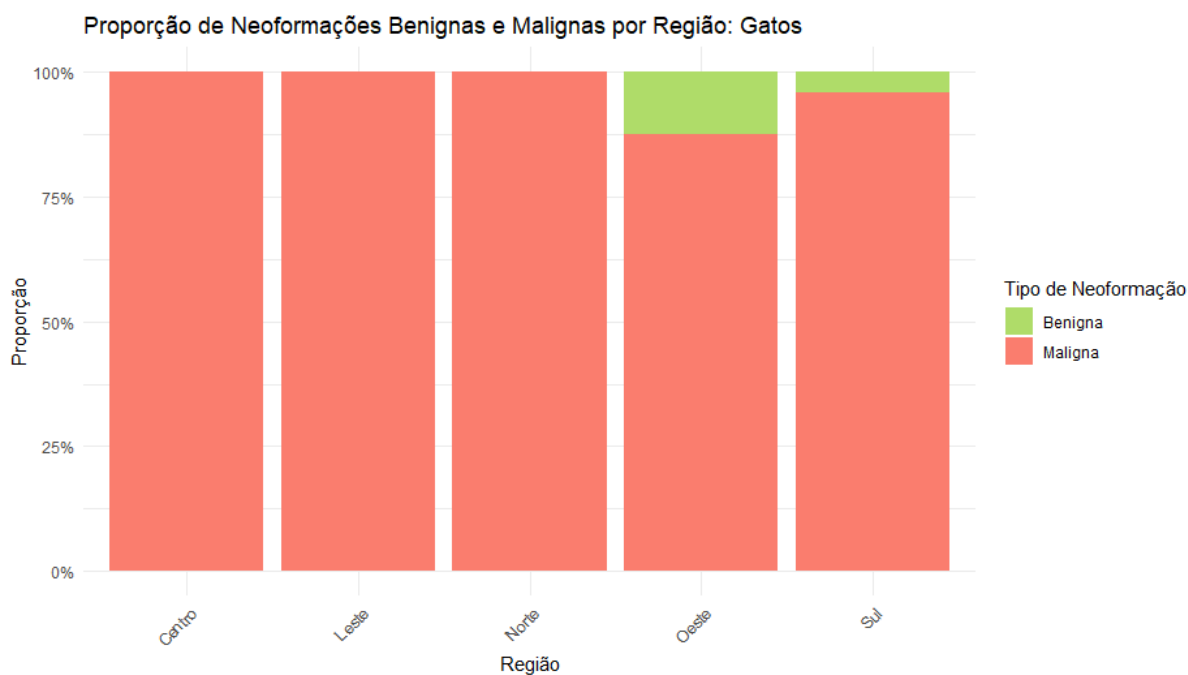


Gráfico 21: Proporção de malignidade por região em cães. Fonte: JARCOVIS, 2024

Para avaliar estatisticamente a existência de diferenças nas proporções de grau de malignidade das neoformações entre as regiões, foi aplicado o teste exato de Fisher (IC 95%), resultando em um p-valor de 0,7483. Como o valor obtido ($p > 0,05$) não indica significância estatística, aceita-se a hipótese nula, ou seja, conclui-se que não há diferenças significativas nas proporções de malignidade entre as regiões analisadas.

5. Discussão

5.1 Casuística

O objetivo deste estudo foi realizar uma análise epidemiológica espacial das neoplasias diagnosticadas em cães e gatos atendidos no HOVET/FMVZ-USP no período 1º de agosto de 2023 a 31 de julho de 2024, com foco na identificação de áreas de maior concentração de casos na cidade de São Paulo. A pesquisa visou correlacionar a distribuição geográfica das neoplasias com fatores ambientais do município, analisando a evolução das concentrações de poluentes atmosféricos à luz das Diretrizes de Qualidade do Ar (DQA) da Organização Mundial da Saúde (OMS) e dos dados de monitoramento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

No presente estudo a faixa etária de cães mais acometida por neoplasias é entre nove e doze anos de idade, nos felinos essa faixa é entre oito e dez anos de idade. Essa tendência destaca o aumento da vulnerabilidade de animais mais velhos a vários tipos de tumores, particularmente os malignos. Semelhante aos nossos resultados, muitos estudos retrospectivos relataram que os tumores em cães tinham uma idade média de 9,2 a 10 anos. (Rissi et al., 2024) (Fonti et al., 2024). Esse mesmo estudo observou que Gatos diagnosticados com neoplasias têm idade média de 9,7 anos (Rissi et al., 2024)

Não foi observada diferença estatisticamente significativa entre fêmeas e machos nesta análise. Esse achado contrasta com a literatura científica, que aponta o sexo como um fator relevante na prevalência de neoplasias, com diferenças notáveis entre as espécies. Em cães, fêmeas apresentam maior risco de desenvolver tumores malignos em comparação aos machos, especialmente em raças como Pointers e Poodles, onde há alta prevalência de tumores mamários (Pinello et al., 2022; MacVean et al., 1978). Em contrapartida, em gatos, o sexo não parece influenciar significativamente o risco geral de malignidade, embora fêmeas sejam diagnosticadas com maior frequência para alguns tipos específicos de tumores (Vascellari et al., 2009).

O mastocitoma cutâneo foi a neoplasia maligna com maior prevalência na população de cães analisada, especialmente em animais sem raça definida (SRD). Contudo, outros estudos indicam que a neoplasia maligna mais comum em cães SRD são os tumores mamários, que apresentam alta incidência, particularmente entre cadelas. Estima-se que esses

tumores representem aproximadamente 35,9% de todas as neoplasias malignas em caninos (Samoiliuk, 2020). Além disso, os sarcomas de tecidos moles, que incluem fibrossarcomas e lipossarcomas, também apresentam relevância epidemiológica, embora sejam menos comuns que os tumores mamários (Silveira et al., 2014).

Os mastocitomas cutâneos em cães demonstram predisposição significativa em raças específicas. Pesquisas apontam o Shar-Pei como a raça mais frequentemente afetada, seguido por outras raças predispostas, como Boxers, American Staffordshire Terriers e Labrador Retrievers (Śmiech et al., 2019).

Entre os felinos analisados, a neoplasia maligna mais recorrente foi o carcinoma de células escamosas (CCE), em concordância com dados da literatura científica. O CCE é a neoplasia maligna mais comum em gatos, afetando principalmente a pele e a cavidade oral, com prevalência notável em determinadas raças e colorações. Esse tumor representa aproximadamente 11,4% a 15% de todos os tumores de pele em felinos (Mrcvs, 2009).

Gatos de coloração branca são particularmente suscetíveis, apresentando um risco 13,4 vezes maior de desenvolver CCE em comparação com indivíduos de outras colorações (Mrcvs, 2009). O tumor geralmente se manifesta em áreas menos pigmentadas e mais expostas, como o plano nasal, pálpebras e cavidade oral. Seu desenvolvimento está fortemente associado a fatores ambientais, especialmente à exposição aos raios ultravioleta (UV), o que explica a maior incidência em regiões sem pelos ou com baixa pigmentação (Kabak et al., 2020).

No presente estudo, embora tenha sido observada uma maior frequência absoluta de casos de neoplasias nas regiões oeste e sul em comparação com as demais, a análise de frequência relativa não revelou diferenças estatísticas significativas entre as regiões. Os cães e gatos atendidos no HOVET-FMVZ-USP eram provenientes de todas as regiões (norte, sul, leste, oeste e centro) de São Paulo, incluindo áreas administrativas e distritos distantes do hospital veterinário.

Os casos da região oeste mostraram-se mais representativos, possivelmente devido à proximidade com o hospital. Além disso, os animais da zona sul apresentaram uma distribuição mais concentrada na região sudoeste, embora ainda possam ser classificados como pertencentes ao limite sul. Contudo, todas as regiões do município foram representadas, sendo que as mais distantes do hospital muitas vezes não apresentaram cães ou gatos com

neoplasias benignas. Esse padrão pode sugerir que, nos casos de neoplasias malignas, os proprietários tendem a procurar atendimento especializado, mesmo que o hospital esteja distante de seu local de origem.

Há uma escassez de dados publicados sobre casos de neoplasias em cães e gatos com foco na distribuição regional na cidade de São Paulo. O único estudo com essa abordagem foi conduzido por Kimura et al. (2015), o que destaca a importância e a relevância do monitoramento contínuo desses dados.

O uso de Informações Geográficas Espaciais (GIS) para estudar a distribuição de neoplasias na epidemiologia de animais de companhia é uma ferramenta recente, mas de grande importância na oncologia veterinária. O georreferenciamento desempenha um papel crucial no monitoramento do câncer, permitindo a análise de padrões espaciais na incidência, sobrevivência e fatores genômicos relacionados à doença. Essa abordagem possibilita a identificação de disparidades geográficas nos resultados do câncer e a adaptação de intervenções específicas para cada área. O georreferenciamento também facilita a análise espacial da sobrevivência, estimando curvas de sobrevivência regionalizadas para pacientes com câncer e fornecendo informações para medidas de controle de doenças mais eficazes (Fisher & Lawson, 2020).

Ao investigar as variações geográficas, os pesquisadores podem identificar regiões com menores taxas de sobrevivência, o que justifica a implementação de intervenções localizadas. Além disso, os dados geográficos são fundamentais para entender a interação entre fatores genéticos e influências ambientais na incidência de câncer (Cordo et al., 2019).

É importante ressaltar que a presente investigação foi realizada com dados provenientes de apenas um hospital veterinário durante um período de um ano. Essa limitação temporal e geográfica restringe a representatividade da amostra, o que pode comprometer a generalização dos resultados para toda a população de cães e gatos na cidade de São Paulo. Além disso, a ocorrência de neoplasias em animais é influenciada por uma série de fatores multifacetados, incluindo variáveis genéticas, ambientais, socioeconômicas e comportamentais, que não foram completamente explorados no escopo deste estudo.

Dessa forma, sugere-se que futuras pesquisas adotem uma abordagem mais abrangente, envolvendo múltiplos hospitais, clínicas e laboratórios veterinários, a fim de fornecer uma visão mais ampla e precisa sobre a distribuição de neoplasias na cidade. A

ampliação da amostra e o aumento do período de investigação seriam fundamentais para capturar as variações sazonais e regionais da incidência de tumores, além de possibilitar o aprofundamento na análise dos fatores associados ao desenvolvimento dessas condições.

Essa ampliação da base de dados pode contribuir significativamente para o entendimento das tendências epidemiológicas, permitindo a elaboração de estratégias mais eficazes para prevenção, diagnóstico e tratamento das neoplasias em cães.

5.2 Avanços e Desafios na Gestão da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo

O Decreto Estadual nº 59.113/2013, inspirado nas Diretrizes de Qualidade do Ar da Organização Mundial da Saúde (OMS) de 2005, estabeleceu padrões finais e metas intermediárias para a qualidade do ar no estado de São Paulo, além de determinar a classificação dos municípios com base no cumprimento dessas metas. Em 2021, a CETESB elaborou um estudo técnico recomendando a transição da primeira para a segunda meta intermediária, proposta que foi aprovada pelo CONSEMA e implementada em janeiro de 2022. Com isso, São Paulo tornou-se o primeiro estado brasileiro a avançar nessa etapa de controle, alinhando-se aos parâmetros definidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018.

No nível municipal, destacam-se iniciativas como a Política de Mudança do Clima da cidade de São Paulo, que prevê a eliminação gradual das emissões de material particulado (MP) e óxidos de nitrogênio (NOx) pelos ônibus urbanos até 2038. Complementarmente, ações voltadas à mobilidade urbana, como a promoção do transporte coletivo e de modais ativos, podem reduzir significativamente as emissões de poluentes.

O controle do material particulado apresenta desafios adicionais, como as emissões geradas pelo desgaste de pneus, freios e pavimentos, que triplicam as emissões totais de MP em relação às provenientes apenas da combustão. Em São Paulo, ônibus e caminhões são responsáveis por 47% e 42% das emissões de MP por combustão, respectivamente, enquanto automóveis e motocicletas respondem por 11%. Contudo, ao considerar as emissões não-combustíveis, os automóveis passam a representar cerca de 50% do total. Outro fator relevante é a ressuspensão de partículas depositadas no solo, intensificada pelo tráfego veicular.

O ozônio (O_3) segue como um problema crítico de qualidade do ar, com poucos avanços significativos nos últimos 22 anos. A mitigação desse poluente requer a redução das emissões de NO_x e compostos orgânicos voláteis (COV), principalmente de fontes móveis. No entanto, devido à complexidade da formação do O_3 e à influência de poluentes transportados de outras regiões, um diagnóstico aprofundado é indispensável.

As novas Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS, publicadas em 2021, reforçam a necessidade de padrões mais rigorosos para proteger a saúde pública. Segundo o relatório da CETESB (2019), embora os padrões estaduais para NO_2 e SO_2 tenham sido atendidos no município de São Paulo, os níveis de MP e O_3 permanecem acima dos limites seguros. Quando avaliados à luz das novas diretrizes da OMS, até mesmo as concentrações de NO_2 excedem os valores recomendados.

Diante desses desafios, é essencial ampliar e aprimorar a rede de monitoramento da qualidade do ar, atualmente limitada a 10 estados e ao Distrito Federal, e implementar planos abrangentes para a redução de emissões. O progresso exige não apenas a atualização dos padrões nacionais, mas também uma gestão eficiente, faseada e fundamentada no conhecimento científico mais recente.

6. Conclusão

A análise epidemiológica espacial das neoplasias em cães e gatos atendidos no HOVET/FMVZ-USP revela a complexidade da interação entre fatores ambientais e a saúde animal, especialmente em um contexto urbano como o da cidade de São Paulo. Os dados obtidos indicam uma prevalência significativa de neoplasias em animais mais velhos, sugerindo que a idade é um fator crítico na vulnerabilidade a essas condições. Essa informação é crucial para veterinários e pesquisadores, pois destaca a necessidade de monitoramento contínuo e de intervenções direcionadas para a saúde de animais de estimação, especialmente em populações mais idosas.

Além disso, a correlação entre a distribuição geográfica das neoplasias e as concentrações de poluentes atmosféricos, conforme as Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS, enfatiza a importância de considerar os fatores ambientais na epidemiologia veterinária. A escassez de dados sobre a incidência de neoplasias em animais de companhia na cidade de São Paulo ressalta a necessidade de uma abordagem mais abrangente e sistemática para o monitoramento e a pesquisa. A implementação de estudos que integrem múltiplas fontes de dados e que considerem variáveis socioeconômicas e comportamentais pode proporcionar uma compreensão mais profunda das causas e consequências das neoplasias em cães e gatos.

Por fim, este estudo não apenas contribui para o conhecimento acadêmico sobre a epidemiologia das neoplasias em animais de companhia, mas também serve como um alerta para a necessidade de políticas públicas que visem a melhoria da qualidade do ar e a saúde ambiental. A promoção de um ambiente mais saudável pode ter um impacto positivo não apenas na saúde dos animais, mas também na saúde pública em geral. Portanto, futuras pesquisas devem continuar a explorar essa inter-relação, buscando soluções que beneficiem tanto os animais quanto as comunidades em que vivem.

7. Referências

1. SUNDAS, A.; CONTRERAS, I.; MUJAHID, O.; BENEYTO, A.; VEHI, J. Os Efeitos dos Fatores Ambientais na Saúde Humana: Uma Revisão de Escopo. *Healthcare*, v. 12, n. 2123, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/healthcare12212123>
2. PATIL, Abhinandan; SINGH, Neha. Rising Cancer Impact and Pollution as Hazards. *Preprints 2023*, 2023090236. <https://doi.org/10.20944/preprints202309.0236.v1>
3. LELIEVELD, Johannes et al. The Contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, v. 525, p. 367–371, 2015. <https://doi.org/10.1038/nature15371>
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Saúde Brasil 2018 uma análise de situação de saúde e das doenças e agravos crônicos: desafios e perspectivas. Brasília: Ministério da Saúde, 2019. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saude_2018_analise_situacao_saude_doencas_agravos_cronicos_desafios_perspectivas.pdf.
5. CURADO, Ana Luísa; SANTOS, Carla Eloísa Diniz dos; ANHÊ, Ana Carolina Borella Marfil; TAKAYANAGUI, Angela Maria Magosso; SENHUK, Ana Paula Milla dos Santos. Impactos da exposição à poluição ambiental sobre a saúde dos brasileiros: uma revisão sistemática. *Ensino Saúde e Ambiente*, v. 15, n. 2, p. 282-302, maio-ago. 2022. ISSN 1983-7011.
6. DAPPER, Steffani Nikoli; SPOHR, Caroline; ZANINI, Roselaine Ruviaro. Poluição atmosférica e saúde: uma revisão sistemática. *Estudos Avançados*, v. 30, n. 86, p. 95-116, 2016.
7. SILVA, Denise Bousfield da; PIANOVSKI, Mara Albonei Dudeque; CARVALHO FILHO, Neviçolino Pereira de. Poluição ambiental e câncer. *Jornal de Pediatria*, [S.l.]
8. MOORE, Antony S. Causas ambientais de câncer em animais de estimação. In: WSAVA 2007. Disponível em: <https://www.vin.com/doc/?id=3860738>.
9. WITHROW AND MACEWEN'S. Small animal clinical oncology. 6a Edição. St. Louis, Missouri. 2019.
10. SMITH, Natalie; LUETHCKE, Kristofer Ross; CRAUN, Kaitlyn; TREPANIER, Lauren. Risk of bladder cancer and lymphoma in dogs is associated with pollution indices by county of residence. *Veterinary and Comparative Oncology*, v. 1, p. 1-10, 2021. DOI: 10.1111/vco.12771.

11. HEGEDUS, Cristina; ANDRONIE, Luisa; UIUIU, Paul; JURCO, Eugen; LAZAR, Eva Andrea; POPESCU, Silvana. Pets, genuine tools of environmental pollutant detection. *Animals*, v. 13, n. 2923, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani13182923>.
12. KIMURA, K. C.; ZANINI, D. A.; NISHIYA, A. T.; DAGLI, M. L. Z. Domestic animals as sentinels for environmental carcinogenic agents. *BMC Proceedings*, v. 7, supl. 2, p. K13, 2013. Disponível em: <http://www.biomedcentral.com/1753-6561/7/S2/K13>.
13. BREEN, M.; STAPLETON, H. M. Canine on the Couch: The New Canary in the Coal Mine for Environmental Health Research. *Environmental Health*, v. 2, p. 517-529, 2024. DOI: 10.1021/envhealth.4c00029.
14. PAL, Vineet Kumar; KANNAN, Kurunthachalam. Assessment of exposure to volatile organic compounds through urinary concentrations of their metabolites in pet dogs and cats from the United States. *Environmental Pollution*, v. 316, p. 120576, 2023.
15. YAVUZ, O.; ARSLAN, H. H.; TOKUR, O.; MARANGOZ, O.; OZTURK, Z. N.; MUSHTAQ, S. Monitoring of environmental persistent organic pollutants in hair samples of cats and dogs. *Science of the Total Environment*, v. 933, p. 173020, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173020>.
16. BERINGUI, K.; GOMES, M. V. R.; MELLO, F. D.; GODOY, J. M.; SAINT'PIERRE, T. D.; HAUSER-DAVIS, R. A.; GIODA, A. Ecotoxicological assessments of atmospheric biomonitors exposed to urban pollution in a Brazilian metropolis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 278, p. 116421, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv>.
17. BUKOWSKI, J.; WARTENBERG, D. Pets as sentinels of environmental cancer risk. *Environmental Health Perspectives*, v. 105, p. 1312-1319, 1997. Disponível em: <http://fehknine.nih.gov>.
18. De Nardi, A. B., de Oliveira Massoco Salles Gomes, C., Fonseca-Alves, C. E., de Paiva, F. N., Linhares, L. C. M., Carra, G. J. U., dos Santos Horta, R., Ruiz Sueiro, F. A., Jark, P. C., Nishiya, A. T., & outros. (2023). Diagnosis, Prognosis, and Treatment of Canine Hemangiosarcoma: A Review Based on a Consensus Organized by the Brazilian Association of Veterinary Oncology, ABROVET. *Cancers*, 15(7), 2025. <https://doi.org/10.3390/cancers15072025>
19. WHO. World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon

- monoxide. 2021. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.
20. CETESB. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2023**. São Paulo: CETESB, 2024. 162 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>.
 21. **INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA)**. Nota técnica sobre a qualidade do ar em São Paulo. São Paulo, 2022.
 22. PINELLO, K C ., Irina, Amorim., Isabel, Pires., Ana, Canadas-Sousa., José, Catarino., Pedro, Faísca., Sandra, Branco., Maria, C., Peleteiro., Daniela, Silva., Milton, Severo., J., Niza-Ribeiro. 1. Vet-OncoNet: Malignancy Analysis of Neoplasms in Dogs and Cats. *Veterinary sciences*, (2022). doi: 10.3390/vetsci9100535
 23. PATNAIK A., K., S., K., Liu., A., I., Hurvitz., A., J., McClelland. 3. Nonhematopoietic neoplasms in cats.. *Journal of the National Cancer Institute*, (1975). doi: 10.1093/JNCI/54.4.855
 24. VASCELLARIi., Elisa, Baioni., Giuseppe, Ru., Antonio, Carminato., Franco, Mutinelli. 5. Animal tumour registry of two provinces in northern Italy: incidence of spontaneous tumours in dogs and cats. *BMC Veterinary Research*, (2009). doi: 10.1186/1746-6148-5-39
 25. RISSI Daniel, R., Andrew, D., Miller., Heather, Daverio., Elena, A., Demeter., Molly, E., Church., Tim, Donovan. 1. Rostral cranial fossa and sinonasal neoplasms with cribriform plate involvement in 32 dogs and 17 cats.. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, (2024). doi: 10.1177/10406387241267899
 26. FONTI., Francesca, Parisi., Alessio, Lachi., E., S., Dhein., F., Guscetti., Alessandro, Poli., Francesca, Millanta. 2. Age at Tumor Diagnosis in 14,636 Canine Cases from the Pathology-Based UNIPi Animal Cancer Registry, Italy: One Size Doesn't Fit All. *Veterinary Sciences*, (2024). doi: 10.3390/vetsci11100485
 27. SMIECH., Wojciech, Łopuszyński., Brygida, Ślaska., Kamila, Bulak., Agnieszka, Jasik. 1. Occurrence and Distribution of Canine Cutaneous Mast Cell Tumour Characteristics Among Predisposed Breeds.. *Journal of Veterinary Research*, (2019). doi: 10.2478/JVETRES-2019-0002
 28. SAMOILIUK S. Prevalence of tumor pathology of dogs in the metropolis. (2020). doi: 10.32819/2021.92016
 29. SILVEIRA., Josiane, Bonel., Simone, Machado, Pereira., Cristina, Gevehr, Fernandes. 2. Sarcomas de tecidos moles em caninos e felinos: aspectos epidemiológicos e patológicos. (2014). doi: 10.7213/ACADEMICA.12.03.AO01

30. KABAK., Mahmut, Sözmen., Alparslan, Kadir, Devrim., Mert, Sudagidan., Funda, Yildirim., Tolga, Guvenc., Murat, Yarim., Yavuz, Gulbahar., Ishtiaq, Ahmed., Efe, Karaca., Sinem, Inal. 2. Expression levels of angiogenic growth factors in feline squamous cell carcinoma.. *Acta Veterinaria Hungarica*, (2020). doi: 10.1556/004.2020.00005
31. DEBBIE Gow, Bvm, S, Vn, Mrcvs. 5. Feline squamous cell carcinoma. *Companion Animal*, (2009). doi: 10.1111/J.2044-3862.2009.TB00416.X
32. KIMURA et. al.(2015). 4. Cartografia das neoplasias em cães das diferentes regiões da cidade de São Paulo, SP, Brasil: um levantamento (2002-2003) dos dados do Hospital Veterinário da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Pesquisa Veterinária e Zootecnia*, doi: 10.11606/ISSN.1678-4456.V52I3P257-265
33. FISHER ., Andrew, B., Lawson. 1. Bayesian modeling of georeferenced cancer survival. (2020). doi: 10.21037/ACE-19-32
34. CORDO., Paula, Carrio, Cordo., Elise, Acheson., Michael, Baudis., Michael, Baudis. 2. Geographic assessment of cancer genome profiling studies. *bioRxiv*, (2019). doi: 10.1101/827683