

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL EM MUNICÍPIOS**

FERNANDA DA SILVA FERNANDES

**POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: ÁREAS URBANAS x ÁREAS
PROTEGIDAS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

MEDIANEIRA

2018

FERNANDA DA SILVA FERNANDES



**POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: ÁREAS URBANAS x ÁREAS
PROTEGIDAS**

EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista na Pós-Graduação em Gestão Ambiental em Municípios - Polo UAB do Município de Blumenau, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Medianeira.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Rodrigues Blanco

MEDIANEIRA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

Poluição Atmosférica: Áreas Urbanas x Áreas Protegidas

Por

Fernanda da Silva Fernandes

Esta monografia foi apresentada às 12h30 do dia 25 de agosto de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no Curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios - Polo de Blumenau, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Daniel Rodrigues Blanco
UTFPR – Câmpus Medianeira
(orientador)

Prof^a. Dra Eliane Rodrigues dos Santos Gomes.
UTFPR – Câmpus Medianeira

Prof^a. Dra. Dângela Maria Fernandes
UTFPR – Câmpus Medianeira

Prof. Me. Cidmar Ortiz dos Santos.
UTFPR – Câmpus Medianeira

A todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela fé e perseverança para vencer os obstáculos.

Aos meus familiares, que com muito amor e apoio não mediram esforços para que eu alcançasse esta conquista.

Ao meu orientador professor Dr. Daniel Rodrigues Blanco pelas orientações ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço aos professores do curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios, professores da UTFPR, Câmpus Medianeira.

Agradeço aos tutores presenciais e a distância que nos auxiliaram no decorrer da pós-graduação.

Enfim, sou grata a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização desta monografia.

“Andar pra trás... Só se for pra pegar impulso”.

(ABEL BONNARDI)

RESUMO

FERNANDES, Fernanda da Silva. Poluição Atmosférica: Áreas Urbanas x Áreas Protegidas. 2018. 47 páginas. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

Altas concentrações de poluentes atmosféricos, principalmente os encontrados em grandes cidades, representam um risco eminente para a saúde humana e para o bem-estar dos organismos em geral. Os poluentes que geram grande preocupação em nível de saúde pública incluem o material particulado (MP), os óxidos de carbono (CO, CO₂), os óxidos de nitrogênio (NO e NO₂), o ozônio (O₃) e o dióxido de enxofre (SO₂). Áreas altamente urbanizadas potencializam esta exposição. Em contraponto, em áreas rurais ou protegidas por uma Unidade de Conservação, a presença destes contaminantes é normalmente reduzida. Este estudo teve como objetivo a realização de uma revisão bibliográfica sobre os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde pública e as diferentes concentrações destes poluentes entre áreas urbanas e não urbanizadas. Elaboramos uma proposta de cartilha educativa para ser utilizada com alunos do ensino médio abordando o tema poluição atmosférica e saúde pública. Concluindo, os resultados compilados demonstram que altas concentrações de poluentes atmosféricos estão relacionadas à genotoxicidade humana e que áreas protegidas por uma Unidade de Conservação da Natureza e sua zona de amortecimento contribuem para a melhora da qualidade do ar.

Palavras-chave: Poluentes Atmosféricos; Centros Urbanos; Unidades de Conservação.

ABSTRACT

FERNANDES, Fernanda da Silva. Atmospheric Pollution: Urban Areas x Protected Areas. 2018. 47 páginas. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

High concentrations of air pollutants, especially those found in large cities, pose an imminent risk to human health and to the well-being of organisms in general. Pollutants of major public health concern include particulate matter (PM), carbon oxides (CO, CO₂), nitrogen oxides (NO and NO₂), ozone (O₃) and sulfur dioxide (SO₂). Highly urbanized areas enhance this exposure. In contrast, in rural areas or protected by a Conservation Unit, the presence of these contaminants is usually reduced. This study aimed to carry out a literature review on the effects of air pollution on public health and the different concentrations of these pollutants between urban and non-urban areas. We elaborated a proposal of educational booklet to be used with high school students addressing the issue of atmospheric pollution and public health. In conclusion, the compiled results show that high concentrations of air pollutants are related to human genotoxicity and that areas protected by a Nature Conservation Unit and its buffer zone contribute to the improvement of air quality.

Keywords: Atmospheric Pollutants; Urban Centers; Conservation Units.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Representação das áreas de depósito do material particulado de acordo com seu diâmetro..... 14
- Figura 2.** Associação do monóxido de carbono às moléculas de hemoglobina. 15
- Figura 3.** Mecanismo de formação de micronúcleos por dano ao DNA.....21
- Figura 4.** Micronúcleo de célula esfoliada da mucosa oral. Aumento de 1000x.21

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Categorias de Unidades de Conservação da Natureza, de acordo com a Lei Federal nº 9985/2000. | 18 |
| Tabela 2. Padrões de qualidade do ar segundo a Environmental Protection Agency – EPA, EUA..... | 24 |
| Tabela 3. Padrões Nacionais da Qualidade do Ar. Resolução CONAMA nº 03, de 28/06/1990. | 25 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA | 12 |
| 3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 3.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA | 13 |
| 3.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E SAÚDE PÚBLICA | 14 |
| 3.3 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO | 17 |
| 3.4 MONITORAMENTO AMBIENTAL | 19 |
| 3.5 ÁREAS URBANAS x ÁREAS PROTEGIDAS | 23 |
| 3.6 PROPOSTA DE CARTILHA EDUCATIVA SOBRE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA..... | 27 |
| 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 28 |
| REFERÊNCIAS..... | 29 |
| APÊNDICE | 37 |

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é a contaminação do ar com qualquer agente capaz de alterar as características naturais do ambiente. A exposição humana a estes contaminantes sejam eles químicos, físicos ou biológicos é capaz de gerar danos ao organismo, provocando um grande número de doenças e se tornando um problema de saúde pública. Áreas altamente urbanizadas potencializam esta exposição. Em contraponto, em áreas rurais ou protegidas por uma Unidade de Conservação, a presença destes contaminantes é normalmente reduzida.

A preocupação com a poluição atmosférica e suas consequências sobre a saúde humana vêm tomando uma grande importância nos últimos anos, quando passamos a ter um novo olhar sobre nossa relação com o ambiente. Tal mudança de pensamento demanda melhor conhecimento sobre os intoxicantes presentes na atmosfera para a adoção de múltiplas medidas de controle dos mesmos.

A poluição atmosférica é um importante problema de saúde pública visto que representa uma fonte de diversos agentes capazes de promover danos ao DNA. As altas concentrações de poluentes atmosféricos, principalmente os encontrados em grandes cidades, representam um risco iminente para a saúde humana e para o bem-estar dos organismos em geral. As vias aéreas superiores, incluindo a cavidade oral, são as áreas mais expostas do sistema respiratório, e como podem ser facilmente acessadas, se constituem úteis no monitoramento da exposição humana a estes agentes.

Considerando a escassez de dados sobre as contribuições de unidades de conservação da natureza sobre a qualidade do ar de sua zona de amortecimento, e reconhecendo a importância da utilização do biomonitoramento ambiental como uma medida de prevenção aos problemas de Saúde Pública, este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade do ar no entorno de unidades de conservação da natureza pelo uso de uma revisão bibliográfica dos estudos já publicados sobre o tema e compará-los com os dados de poluição atmosférica de áreas urbanas.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

O presente trabalho foi desenvolvido através de uma pesquisa bibliográfica, com caráter descritivo e exploratório, e técnica qualitativa.

As buscas foram realizadas em plataformas de consulta de bases de dados tais como o PubMed, SciELO e Portal de Periódicos CAPES, pelos descritores: poluição atmosférica, unidades de conservação e áreas protegidas. A seleção dos artigos se deu pela disponibilidade do texto completo da publicação, pela relevância e pertinência do estudo ao tema em questão. Com base na bibliografia consultada construímos uma cartilha educativa voltada para educação ambiental no ensino médio.

3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

3.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição do ar é definida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como a contaminação do ambiente por qualquer agente químico, físico ou biológico que modifique as características naturais da atmosfera (WHO, 2017).

Os poluentes que geram grande preocupação em nível de saúde pública incluem o material particulado (MP), os óxidos de carbono (CO, CO₂), os óxidos de nitrogênio (NO e NO₂), o ozônio (O₃) e o dióxido de enxofre (SO₂) (WHO, 2017). A poluição atmosférica é considerada um dos tipos de exposição que mais afeta a saúde humana pela sua potencialidade de causar doenças respiratórias, cardiovasculares e câncer, tendo também já sido associada ao desenvolvimento de diabetes mellitus, problemas reprodutivos e até obesidade (JERRETI *et al.*, 2014; LIMAYE *et al.*, 2014; MEO *et al.*, 2015; NAJAFI *et al.*, 2015; WHO, 2017).

A atmosfera de áreas fortemente urbanizadas, como a cidade de Porto Alegre – Rio Grande do Sul (RS) – é composta por uma mistura de poluentes, dentre os quais diversos deles caracterizam-se por serem mutagênicos e/ou carcinogênicos (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2008). A região metropolitana de Porto Alegre concentra 36% da população do RS e se caracteriza pela presença acentuada de indústrias e pelo intenso fluxo de veículos automotores (BLUME *et al.*, 2014). A presença de áreas com intenso tráfego veicular e a dificuldade de dissipação dos poluentes devido ao arranjo de ruas e edifícios faz com que estes se acumulem na atmosfera levando os indivíduos a uma exposição crônica (BLUME *et al.*, 2014).

Estudos realizados na cidade de Porto Alegre já demonstraram que a alta concentração de poluentes atmosféricos está relacionada com a genotoxicidade, tanto em plantas quanto em humanos, sendo fortemente influenciada pelo gradiente de urbanização (FLECK *et al.*, 2014). Em áreas rurais ou protegidas por uma Unidade de Conservação, onde a ação antrópica é minimizada, a presença destes poluentes é normalmente reduzida (TEIXEIRA & BARBÉRIO, 2012).

3.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E SAÚDE PÚBLICA

O material particulado é uma mistura de substâncias sólidas e líquidas de tamanho e composição variada. Pode ser derivado de emissões de fontes móveis de poluição, como veículos, e também de fontes estacionárias, como indústrias. Em áreas urbanas, sua concentração normalmente é motivo de preocupação (US-EPA, 2003). Dependendo do seu tamanho, as partículas podem se instalar em diferentes regiões do sistema respiratório, conforme pode ser observado na Figura 1.

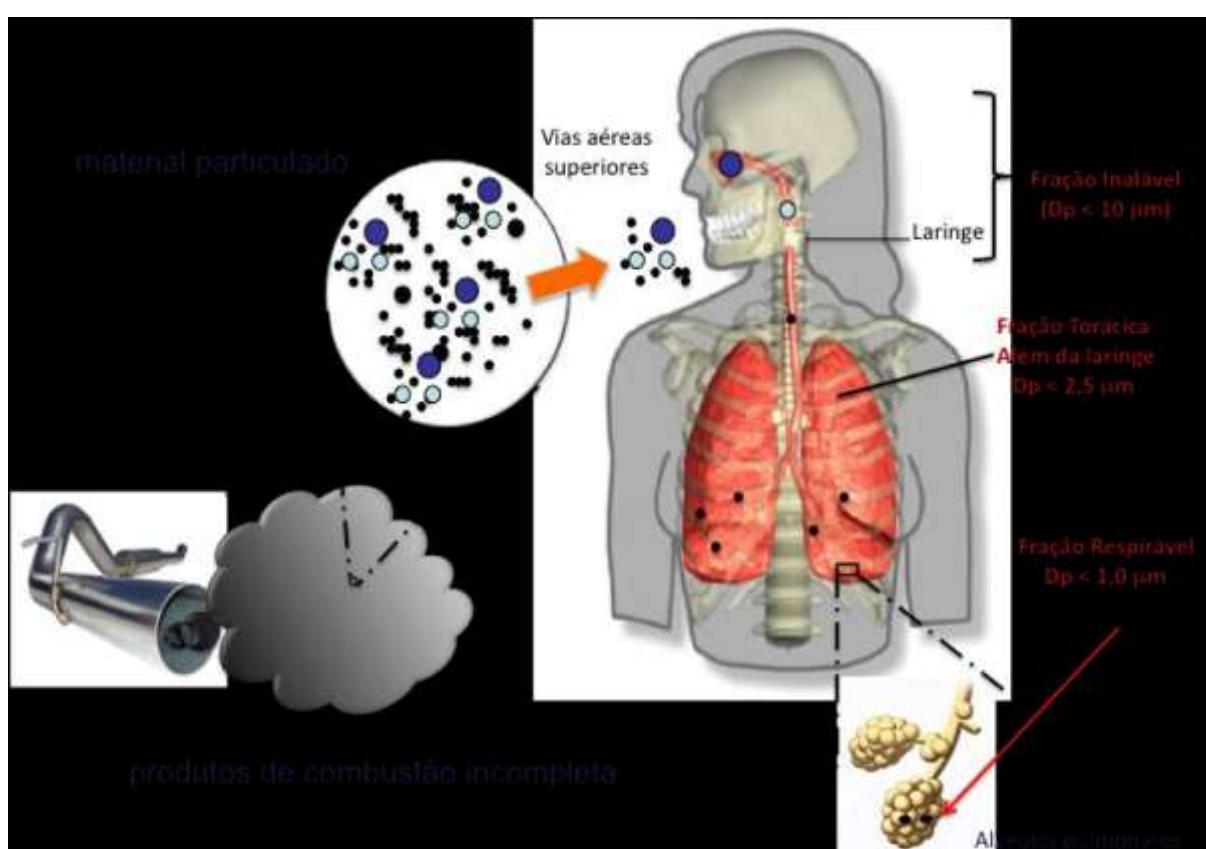


Figura 1. Representação das áreas de depósito do material particulado de acordo com seu diâmetro.

Fonte: <http://qnint.s bq.org.br/novo/index.php?hash=tema.76>

Vários estudos epidemiológicos têm demonstrado uma forte associação entre a exposição aguda e crônica às partículas em suspensão com um diâmetro aerodinâmico $<10 \mu m$ (MP_{10}) ou $<2,5 \mu m$ ($MP_{2,5}$) e doenças cardiovasculares (POPE *et al.*, 2004; BILENKO *et al.*, 2015; FRANKLIN *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2015). A inalação de MP tem sido associada com uma diminuição da função pulmonar e

também ao aparecimento de marcadores de neuroinflamação e degeneração (CALDERÓN-GARCIDUEÑAS *et al.*, 2015; FERRARO *et al.*, 2015).

O dióxido de carbono (CO_2) é essencial à vida no planeta por ser um dos principais compostos utilizados pelos vegetais para a fotossíntese. Por outro lado, vários organismos liberam CO_2 para a atmosfera mediante o processo de respiração. No entanto, o que preocupa não é a presença do dióxido de carbono na atmosfera, mas sim as altas concentrações em que se encontra, por ser um gás do efeito estufa que contribui para o aquecimento global (US-EPA, 2017). A principal atividade humana que emite CO_2 para a atmosfera é a queima de combustíveis fósseis pelos setores industrial e de transporte. Além disso, as alterações no uso do solo (desmatamentos e queimadas) afetam os estoques e reservatórios naturais de carbono (US-EPA, 2017). Já o monóxido de carbono (CO) tem como principais fontes os processos industriais e a combustão incompleta nos veículos automotores. Possui alta afinidade pela hemoglobina – 240 vezes maior que o oxigênio – formando a carboxihemoglobina, e diminuindo a capacidade de transporte de oxigênio, (Figura 2). Até em baixas concentrações, 40 ppm, o CO pode ser suficiente para causar sufocamento devido à diminuição de liberação de O_2 nos tecidos (SILVA, 2007).

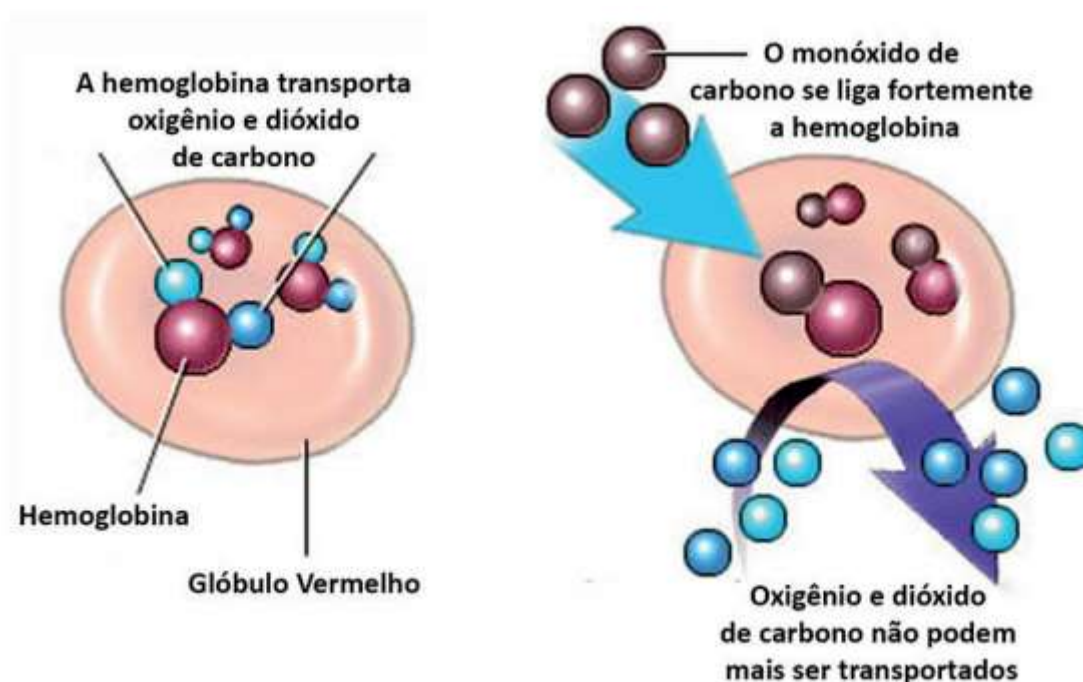


Figura 2. Associação do monóxido de carbono às moléculas de hemoglobina.
Fonte: <http://www.jornaldosportsusa.com/n-2147-alerta-contra-envenenamento-por-monoxido-de-carbono>.

O dióxido de nitrogênio (NO_2) é um gás poluente com ação altamente oxidante, e sua presença na atmosfera é fator chave na formação do ozônio troposférico. Além de efeitos sobre a saúde humana apresenta também efeitos sobre as mudanças climáticas globais. Suas fontes podem ser naturais (vulcanismos, ações bacterianas, descargas elétricas) e antropogênicas (processos de combustão em fontes móveis e fixas). As emissões naturais são em maior escala que as antropogênicas, porém, em razão de sua distribuição sobre o globo terrestre, têm menor impacto sobre as concentrações deste poluente nos centros urbanos. Processos de combustão tendem a emitir baixas concentrações de NO_2 em relação aos valores de monóxido de nitrogênio (NO), mas ao entrar em contato com o oxigênio do ar, as moléculas de NO logo se convertem em NO_2 e, por este motivo, as taxas de emissão são sempre calculadas considerando ambos os compostos como sendo apenas NO_2 (MMA, 2018). Diversos estudos vêm demonstrando a associação entre a concentração diária de exposição ao NO_2 com a mortalidade por doenças cardiovasculares, cerebrovasculares e isquêmicas (SAMOLI *et al.*, 2006; CHIUSOLO *et al.*, 2011; MILLS *et al.*, 2015; LUO *et al.*, 2016).

O ozônio é um componente presente na troposfera e desempenha um papel importante na qualidade do ar, na capacidade oxidante da atmosfera e nas alterações climáticas (WANG *et al.*, 2009). O ozônio é encontrado naturalmente na estratosfera (camada situada entre 15 e 50 km de altitude), onde tem a função positiva de absorver radiação solar, impedindo que grande parte dos raios ultravioletas cheguem à superfície terrestre (MMA, 2018). O ozônio troposférico (camada situada até 15 km de altitude), especialmente em áreas urbanas, é formado principalmente por reações fotoquímicas entre óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV) na presença de luz solar, não sendo emitido diretamente por fontes primárias de poluição (WANG *et al.*, 2009).

Nas últimas décadas, a associação dos acelerados processos de urbanização e industrialização, com sucessivo aumento das emissões antropogênicas de NO_x e COVs levou à maior concentração de ozônio troposférico em diversas regiões do planeta (OLTMANS *et al.*, 2008; KUROKAWA *et al.*, 2009; PARRISH *et al.*, 2009; ZHONG *et al.*, 2013). Exposição ao ozônio foi definitivamente correlacionada a uma série de efeitos adversos para a saúde, incluindo o aumento das taxas de internações e atendimentos de urgência, exacerbação de doenças crônicas e mortalidade (BELL *et al.*, 2005; REN *et al.*, 2008; ATKINSON *et al.*, 2012; HUNOVA *et al.*, 2013). Além

disso, tem sido observado um padrão sazonal na associação entre o ozônio ambiente e a saúde humana. Por exemplo, estudos realizados nos EUA e na Europa encontraram efeitos mais elevados do ozônio na estação quente do que na estação fria (GRYPARIS *et al.*, 2004; ITO *et al.*, 2005; SCHWARTZ, 2005; REN *et al.*, 2008; ZANOBETTI *et al.*, 2008).

Pesquisas demonstraram que elevadas concentrações de NO₂ e O₃ na atmosfera são associadas, intimamente, com alta mortalidade e morbidade, com evidências da exposição a estes poluentes no aumento do risco de desenvolvimento de doenças agudas respiratórias, exacerbação de doenças obstrutivas pulmonares e câncer de pulmão, juntamente com o aumento diário de eventos de hospitalização (WILLIAMS *et al.*, 2014, JI *et al.*, 2015).

O dióxido de enxofre (SO₂) é um gás tóxico e incolor que pode ser emitido por fontes naturais ou por fontes antropogênicas e pode reagir com outros compostos na atmosfera, formando material particulado de diâmetro reduzido. Fontes naturais, como vulcões, contribuem para o aumento das concentrações de SO₂ no ambiente, porém, na maior parte das áreas urbanas, as atividades humanas são as principais fontes emissoras. A emissão antropogênica é causada pela queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre em sua composição. As atividades de geração de energia, uso veicular e aquecimento doméstico são as que apresentam emissões mais significativas (MMA, 2018).

O mecanismo celular comum pelo qual a maioria dos poluentes exerce seu efeito adverso nos seres humanos é a sua habilidade em agir diretamente como pró-oxidantes de lipídios e proteínas ou como geradores de radicais livres, promovendo estresse oxidativo e indução de respostas inflamatórias (MENZEL, 1994; RAHMAN, 2000).

3.3 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Entende-se por Unidade de Conservação o espaço territorial e seus recursos ambientais, legalmente instituídos pelo Poder Público, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (LEI Nº 9985/2000). O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) é constituído pelo conjunto das Unidades de Conservação municipais, estaduais e federais, dividindo-se em dois grupos com

características específicas: Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável (LEI Nº 9985/2000). Cada grupo possui uma série de categorias de Unidades de Conservação, de acordo com seus objetivos e características, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Categorias de Unidades de Conservação da Natureza, de acordo com a Lei Federal nº 9985/2000.

| | | Posse e Domínio | Visitação Pública | Pesquisa | Ocupação Humana |
|--|--|------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|
| Proteção Integral | Estação Ecológica | PU | NÃO ¹ | SIM | NÃO |
| | Reserva Biológica | PU | NÃO ¹ | SIM | NÃO |
| | Parque Nacional | PU | SIM ² | SIM | NÃO |
| | Monumento Natural | PAR PU | SIM ² | SIM | NÃO |
| | Refúgio de Vida Silvestre | PAR PU | SIM ² | SIM | NÃO |
| Uso Sustentável | Área de Proteção Ambiental | PAR PU | SIM ² | SIM | SIM |
| | Área de Relevante Interesse Ecológico | PAR PU | SIM ² | SIM | POUCA |
| | Floresta Nacional | PU | SIM ² | SIM | POPULAÇÕES TRADICIONAIS |
| | Reserva de Fauna | PU | SIM ² | SIM | NÃO |
| | Reserva Extrativista | PU | SIM ² | SIM | POPULAÇÕES TRADICIONAIS |
| | Reserva de Desenvolvimento Sustentável | PU | SIM ² | SIM | POPULAÇÕES TRADICIONAIS |
| | Reserva Particular do Patrimônio Natural | PAR PU | SIM ² | SIM | SIM |
| <p>PU: Público PAR: Particular 1: Visitação pública, exceto aquela com objetivo educacional, de acordo com regulamento específico. 2: A visitação pública está sujeita às normas e restrições estabelecidas no Plano de Manejo da unidade, pelo órgão responsável por sua administração e àquelas previstas em regulamento.</p> | | | | | |

As Unidades de Proteção Integral possuem o objetivo básico de preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais. Já o objetivo básico das Unidades de Uso Sustentável é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais (LEI Nº 9985/2000).

As Unidades de Conservação da Natureza constituem-se como, além de um local para proteção *in situ* da diversidade biológica, também como um aliado à qualidade do ar em suas redondezas devido à diminuição da ação antrópica, incluindo um reduzido fluxo de veículos e fontes fixas de poluição, o que influencia nas condições de saúde e qualidade de vida da população (ENDRES *et al.*, 2015).

3.4 MONITORAMENTO AMBIENTAL

O monitoramento ambiental pode ser realizado por análises químicas, de forma a detectar a concentração dos contaminantes, fornecendo informações quantitativas relevantes sobre a composição da atmosfera. No entanto, os efeitos sobre determinados vegetais e animais, medidos por bioindicadores ou indicadores naturais da qualidade do ambiente, podem ser utilizados para a avaliação qualitativa da contaminação atmosférica. Esta abordagem metodológica denomina-se monitoramento biológico ou biomonitoramento (LUIZ *et al.*, 2005).

Biomonitoramento é definido comumente como o uso de organismos para obter informações de certas características da biosfera. O organismo utilizado é chamado de bioindicador ou monitor biológico. O monitoramento da poluição atmosférica utilizando bioindicadores é uma alternativa potencialmente eficaz e mais econômica para realizar medições indiretas da qualidade do ar, visto que os equipamentos responsáveis pelo monitoramento preciso, de alta tecnologia, são invariavelmente onerosos, impossibilitando, em alguns casos, uma varredura dos poluentes presentes no ar. Dessa forma, o uso de bioindicadores é especialmente relevante para o monitoramento de grandes áreas (CHAKRABORTTY *et al.*, 2006).

Um bioindicador muito utilizado na atualidade são os líquens. A capacidade dos líquens em monitorar a poluição do ar deriva da sensibilidade à contaminação. Pelo seu tamanho, anatomia simples e ausência de cutícula, os líquens têm capacidade de acumular metais pesados em seus tecidos e, adicionalmente a essa

característica, eles toleram longos períodos de seca e colonização de áreas com condições ambientais extremas. Essas propriedades fazem desses organismos importantes biomonitoradores da poluição ambiental (ADAMO *et al.*, 2003).

Entre exemplos de técnicas utilizadas para determinar a qualidade do ar em grandes áreas, destaca-se o uso de bioacumuladores. Estes organismos têm a capacidade de reter elementos tóxicos, como metais, refletindo quantitativamente a concentração destes intoxicantes na atmosfera. A casca das árvores, devido à sua estrutura porosa e capacidade de acúmulo e retenção de partículas de aerossóis, é considerada um bioacumulador promissor no monitoramento da poluição atmosférica em longo prazo (SCHULZ *et al.*, 1999; SCHELLE *et al.*, 2008). Outros bioensaios importantes são os que determinam a genotoxicidade de um organismo ao poluente a que este está sendo exposto. Devido a esta característica de exposição, diz-se que este é um biosensor (bioindicador sensível). Neste tipo de bioensaio, destacam-se o do micronúcleo (SISENANDO *et al.*, 2011) e aborto polínico (CARNEIRO *et al.*, 2011).

O biomonitoramento é uma excelente forma de se avaliar o potencial genotóxico da atmosfera urbana (MAZIVIERO *et al.*, 2011). Genotoxicidade é a capacidade que algumas substâncias possuem de induzir alterações no material genético de organismos expostos. Os diferentes testes genotóxicos detectam mutações gênicas e cromossômicas. Dentre eles, o teste do micronúcleo fornece informações primárias, em nível cromossômico, sobre os danos no DNA causados por agentes químicos e físicos (KOLLING *et al.*, 2008). Esse teste foi primeiro utilizado por Evans *et al.* (1959) em experimentos *in vitro* com raiz de *Vicia faba* (L., 1753), sendo hoje aplicado em outros modelos vegetais como *Allium cepa* L. e *Tradescantia* spp. (Commelinaceae). É amplamente utilizado em pesquisas visando o monitoramento ambiental (MAJER *et al.*, 2001). O uso de bioindicadores pode levar a identificação dos efeitos diretos sobre os organismos sejam eles expressos na morfologia, comportamento ou até mesmo no DNA, sob forma de efeitos genotóxicos e/ou mutagênicos (SILVA, 2005).

Os micronúcleos originam-se de fragmentos cromossômicos acêntricos (efeito clastogênico) ou de cromossomos inteiros que não completam a migração anafásica da divisão celular (efeito aneugênico). Isso significa que o teste do micronúcleo é sensível aos mecanismos clastogênicos e aneugênicos da genotoxicidade.

Na Figura 3 é possível observar o mecanismo de formação de micronúcleos após um dano ao DNA nuclear.

Na Figura 4 é possível visualizar um micronúcleo em célula esfoliada da mucosa oral visível ao microscópio óptico.

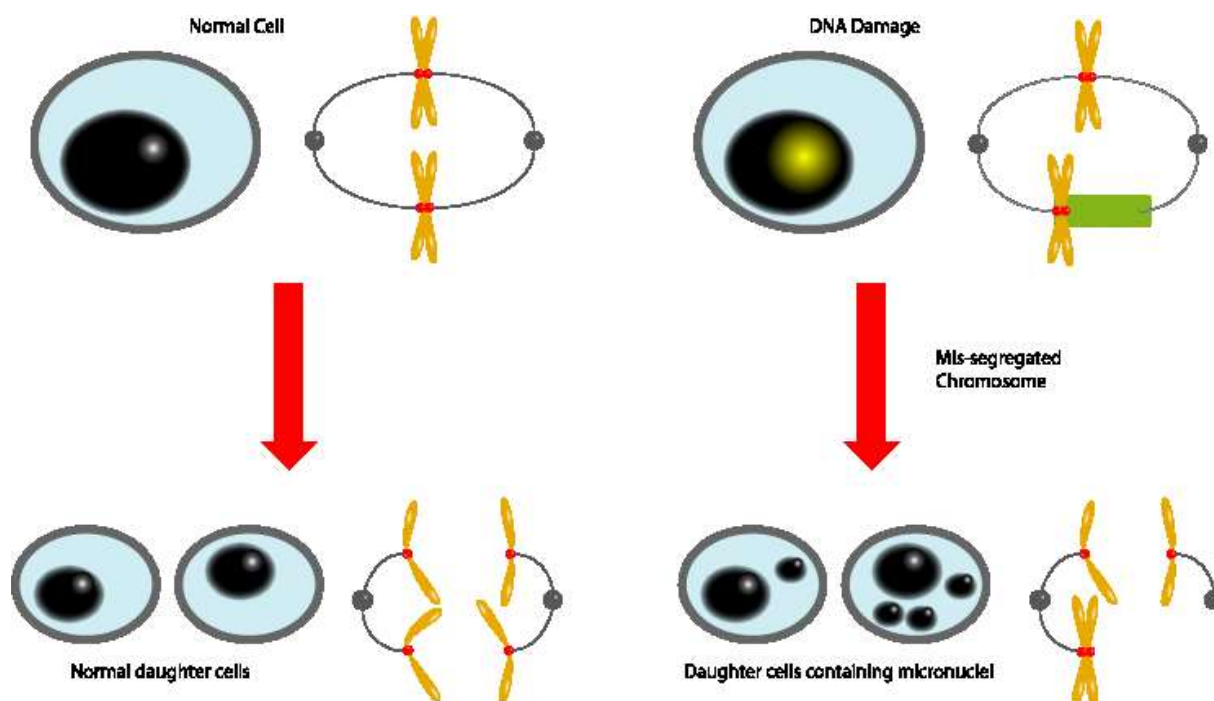


Figura 3. Mecanismo de formação de micronúcleos por dano ao DNA.
Fonte: <http://www.gentronix.co.uk/wp-content/uploads/2012/12/MNT-Diag2.png>

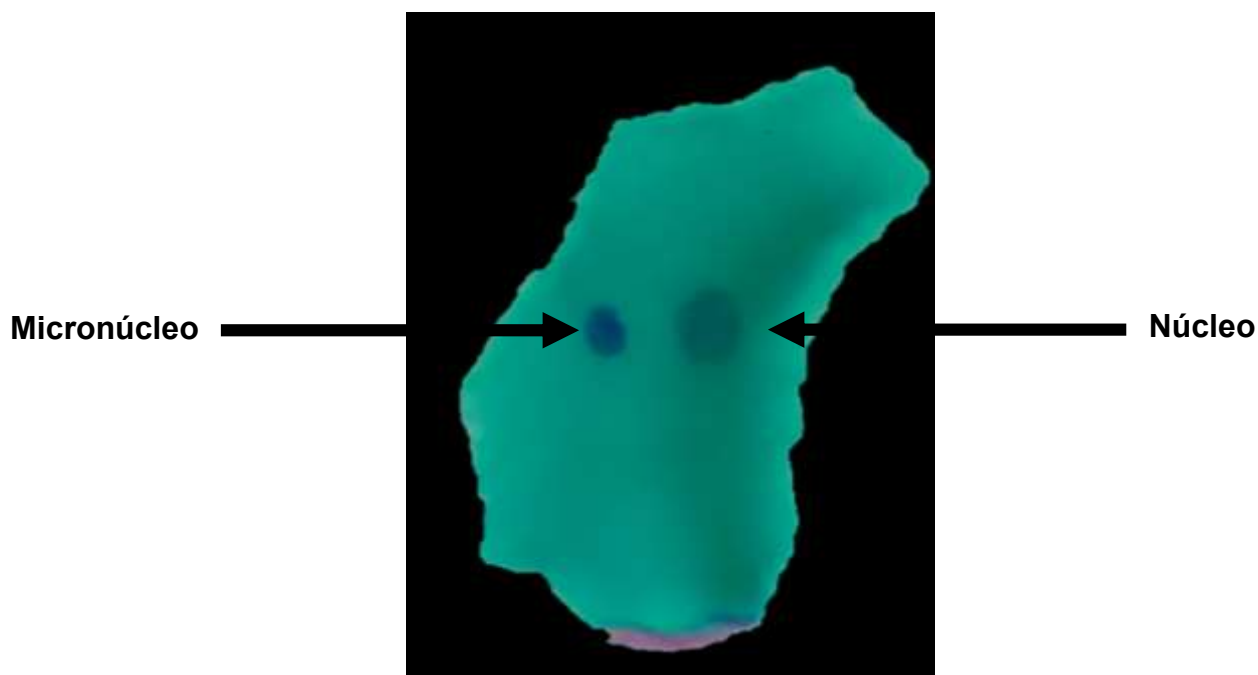


Figura 4. Micronúcleo de célula esfoliada da mucosa oral. Aumento de 1000x.
Fonte: a autora.

O conhecimento do potencial genotóxico de compostos presentes na atmosfera urbana é uma informação essencial no que se refere ao estabelecimento de riscos para o homem e o ambiente (KOLLING *et al.*, 2008).

O interesse na utilização de angiospermas para a detecção de agentes ambientais com potencial mutagênico tem sido crescente. O Teste do Micronúcleo em *Tradescantia pallida* (Trad-MCN) é um dos bioensaios mais utilizados para detecção de efeitos genotóxicos (TEIXEIRA & BARBÉRIO, 2012). Este teste é baseado na formação de micronúcleos resultante de quebra cromossômica na meiose das células-mãe do grão de pólen de inflorescências de *Tradescantia pallida* (SILVA, 2005).

A *Tradescantia pallida* (Rose), conhecida popularmente por trapoeraba-roxa, é uma espécie muito comum, encontrada com facilidade em jardins e canteiros de várias cidades. É uma espécie tetraplóide, extremamente resistente a parasitas e insetos, que brota e cresce facilmente, florescendo o ano inteiro (SUYAMA *et al.*, 2002). Apresenta fácil adaptação em qualquer ambiente e pode se desenvolver durante todo o ano, tanto ao ar livre, nas regiões subtropicais, quanto em estufas, em qualquer parte do mundo. O tamanho, relativamente pequeno, e o cariótipo formado por seis pares de cromossomos relativamente grandes tornaram essa planta um instrumento favorável para estudos citogenéticos (CARVALHO, 2005).

Estudos de biomonitoramento com humanos também vêm utilizando o ensaio do micronúcleo a partir de amostras da mucosa oral e/ou nasal como uma ferramenta de avaliação toxicológica (CORONAS *et al.*, 2012; MERGENER *et al.*, 2014). A mucosa oral representa uma barreira primária a potenciais agentes carcinogênicos inalados ou ingeridos, sendo que quando as células basais da mucosa oral são expostas a estes agentes, podem ocorrer danos genéticos, incluindo a formação de micronúcleos (SILVA, 2013).

O teste do micronúcleo utilizando células de mamíferos foi descrito pela primeira vez por Schimidt W., em 1975. Os micronúcleos se formam pela extrusão de cromossomos inteiros ou seus fragmentos durante a divisão celular, sendo uma porção de cromatina resultante de mitoses aberrantes (REIS *et al.*, 2004). Localizam-se à parte, sendo adicionais ao núcleo principal da célula, não apresentam membrana que os delimite e correspondem ao que se denomina em hematologia de Corpúsculo de Howel-Jolly (JOKSIÉ *et al.*, 2004).

Um aumento de micronúcleos em leucócitos do sangue periférico tem sido observado em pessoas expostas a poluentes urbanos e uma forte correlação da

frequência de MN em células esfoliadas da mucosa oral já foi demonstrada (CEPPI *et al.*, 2010). A análise toxicogenética utilizando células epiteliais esfoliadas da mucosa oral confere diversas vantagens, pois, além de ser alvo primário de exposição, a obtenção minimamente invasiva possibilita o monitoramento de populações expostas a agentes genotóxicos e permite fazer associações entre o estilo de vida e os danos encontrados nesse epitélio (HOLLANDA *et al.*, 2008).

As células epiteliais esfoliadas têm sido utilizadas há mais de duas décadas para a avaliação de danos nas cavidades oral e nasal, brônquios, esôfago, cérvix, bexiga e trato urinário (STICH, 1982). As crianças são um grupo de alto risco em termos de efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde. Alguns estudos sugerem que a exposição durante a infância precoce pode desempenhar um papel importante no desenvolvimento de doenças crônicas na idade adulta: quanto mais cedo a exposição, maior o risco de doenças crônicas (BATESON & SCHWARTZ, 2007).

A exposição do ser humano e do ambiente às mais diversas substâncias químicas propicia a ocorrência de efeitos deletérios que podem variar de danos ao ecossistema a efeitos tóxicos à saúde. A relação entre agentes tóxicos e DNA deu origem à Genética Toxicológica como ciência, uma vez que foram reconhecidos a importância da mutagênese como passo prévio para a carcinogenicidade e os perigos potenciais dos agentes mutagênicos para a população humana e a biosfera (FLORES & YAMAGUCHI, 2008).

3.5 ÁREAS URBANAS x ÁREAS PROTEGIDAS

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), mais de 80% das pessoas que vivem em áreas urbanas que monitoram a poluição do ar estão expostas a concentrações de poluentes que excedem os limites por ela recomendados.

Diferentes países e organizações estabeleceram seus padrões de qualidade do ar, ou seja, os limites máximos tolerados, a partir dos quais, a população exposta sofreria danos à saúde.

Na Tabela 2 é possível observar os padrões adotados pela Agência Americana de Proteção Ambiental.

Tabela 2. Padrões de qualidade do ar segundo a Environmental Protection Agency – EPA, EUA.

| POLUENTES | PADRÕES PRIMÁRIOS | TEMPO MÉDIO |
|--|------------------------------------|-------------------------------|
| Partículas inaláveis (PM ₁₀) | 50 µg/m ³ | Média aritmética anual |
| | 150 µg/m ³ | Nível limite para 24 horas |
| Ozônio (O ₃) | 0,12 ppm (235 µg/m ³) | Média de 1 hora máxima diária |
| Dióxido de enxofre (SO ₂) | 0,03 ppm (80 µg/m ³) | Média aritmética anual |
| | 0,14 ppm (365 µg/m ³) | Nível máximo em 24 horas |
| Monóxido de carbono (CO) | 9 ppm (10 µg/m ³) | Média máxima de 8 horas |
| | 35 ppm (40 µg/m ³) | Nível máximo em 1 hora |
| Dióxido de nitrogênio (NO ₂) | 0,053 ppm (100 µg/m ³) | Média aritmética anual |

Fonte: adaptado de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-37132006000800003

O órgão Brasileiro que estabelece os padrões de qualidade do ar no que diz respeito aos poluentes atmosféricos é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio das Resoluções nº 03/1990 e nº 08/1990. De acordo com esta resolução os padrões de qualidade do ar são divididos em padrões primários e secundários, sendo:

- Padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo.
- Padrões secundários de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e a flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

Os padrões nacionais da qualidade do ar, estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, são os demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3. Padrões Nacionais da Qualidade do Ar. Resolução CONAMA nº 03, de 28/06/1990.

| Poluente | Tempo de Amostragem | Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Método de Medição |
|---|----------------------------|--|--|-------------------------------|
| Partículas Totais em Suspensão – PTS | 24 horas* MGA | 240 80 | 150 60 | Amostrador de grandes volumes |
| Fumaça | 24 horas* MAA | 150 60 | 100 40 | Refletância |
| Partículas inaláveis | 24 horas* MAA | 150 50 | 150 50 | Separação inercial, Filtração |
| Dióxido de enxofre | 24 horas* MAA | 365 80 | 100 40 | Pararosanilina |
| Monóxido de carbono | 1 hora* 8 horas* | 40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm) | 40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm) | Infravermelho não dispersivo |
| Ozônio | 1 hora* | 160 | 160 | Quimiluminescência |
| Dióxido de nitrogênio | 1 hora MAA | 320 100 | 190 100 | Quimiluminescência |
| *Não deve ser excedido mais de uma vez ao ano MGA = média geométrica anual MAA = média aritmética anual | | | | |

Fonte: adaptado de

<http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/tabela%20padroes%20qualidade.pdf>

Como prevê a própria Resolução CONAMA nº 03/1990, a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários requer que o território nacional seja dividido em classes I, II e III conforme o uso pretendido. A mesma resolução prevê ainda que enquanto não for estabelecida a classificação das áreas, os padrões aplicáveis serão os primários.

O Código Estadual de Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul, Lei Estadual nº 11520/2000, em seu Art. 149, estabelece as Classes de Uso pretendidas para o território do Rio Grande do Sul, visando implementar uma política de prevenção de deterioração significativa da qualidade do ar. Esta Lei estabelece como Áreas Classe I todas as áreas de preservação, lazer e turismo, tais como Unidades de Conservação, estâncias hidrominerais e hidrotermais, nacionais, estaduais e

municipais, onde deverá ser mantida a qualidade do ar em nível o mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica. Desta forma, as Unidades de Conservação da Natureza possuem amparo legal para que se mantenha uma boa qualidade do ar em seu interior e redondezas.

As perturbações humanas em série têm sido responsáveis pela destruição de diversos biomas, levando à destruição da paisagem e, com isso, acarretando no desequilíbrio entre as espécies (BEALE & MONAGHAN, 2004). Uma das maneiras de amenizar os riscos potenciais causados pelas atividades humanas que ameaçam a conservação da biodiversidade tem sido a criação de áreas protegidas, estabelecidas em diferentes regiões do mundo para preservar amostras significativas de todos os ecossistemas existentes, assegurando a sobrevivência das espécies e a manutenção dos processos ecológicos. A criação destas áreas protegidas e de suas áreas de amortecimento também reflete na qualidade do ar destes espaços.

Guimarães e colaboradores (2004) utilizaram a análise das mutações nos pelos estaminais de *Tradescantia* para avaliar a toxicidade de material particulado <10 μ na região metropolitana de São Paulo. Dois locais de exposição foram selecionados: o centro de São Paulo e Caucaia do Alto (níveis médios de MP₁₀ de 64 e 14 μ g/m³, respectivamente). A frequência de mutações observada em São Paulo foi significativamente associada ao MP₁₀ ($r = 0,47$, $p = 0,025$), indicando que as partículas urbanas possuem um papel significativo no desenvolvimento de mutações dependentes da poluição.

Da mesma forma, Sisenando *et al.* (2012), demonstrou que a exposição ao material particulado fino gera um aumento na frequência de micronúcleos em células epiteliais orais de escolares. Este estudo foi realizado pela análise da frequência de micronúcleos de crianças residentes em duas áreas teste, Tangará da Serra (MT) e Porto Velho (RO), comparadas a uma área controle, Chapada dos Guimarães (MT). Os resultados obtidos nas áreas teste apresentaram uma frequência de MN de 4,9 vezes maior que a observada na área controle. A concentração de MP_{2,5} foi significativamente maior nas áreas teste do que as encontradas na área controle.

3.6 PROPOSTA DE CARTILHA EDUCATIVA SOBRE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Para a confecção da cartilha, em um primeiro momento, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o tema: poluição atmosférica e saúde pública. Após a compilação do referencial teórico, as informações foram dispostas de forma didática, ilustrada, com linguagem simples de compreensão acessível.

A estruturação da cartilha apresenta os seguintes tópicos:

- ✓ O ar que respiramos
- ✓ Principais poluentes atmosféricos
- ✓ Principais fontes de emissão
- ✓ Material Particulado
- ✓ Monóxido de Carbono (CO)
- ✓ Óxidos de nitrogênio (NO, NO₂)
- ✓ Ozônio (O₃)
- ✓ Dióxido de enxofre (SO₂)
- ✓ Faça a sua parte
- ✓ Referências

A cartilha foi elaborada em folha A4, configuração de paisagem, com o tamanho da página sendo de meia folha, com textos e ilustrações explicativas.

O público alvo ao qual se destina a cartilha é composto por estudantes do ensino médio, população em geral e demais interessados no tema. Esse material didático de difusão é uma importante ferramenta de educação ambiental e de popularização da ciência.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A poluição atmosférica vem se tornando um importante problema de saúde pública. A todo momento novos estudos demonstram a associação da exposição a estes poluentes e inúmeras doenças, bem como o aumento da mortalidade.

Todos os dias, uma quantidade imensa de poluentes é jogada na atmosfera pelas indústrias, pelas queimadas e principalmente pelos automóveis. Nas cidades, os veículos são responsáveis por 40% da poluição do ar.

Áreas altamente urbanizadas potencializam esta exposição. Em contraponto, em áreas rurais ou protegidas por uma Unidade de Conservação, a presença destes contaminantes é normalmente reduzida.

Uma pessoa adulta inspira cerca de 10 mil litros de ar por dia. Ao contrário da água, o ar que respiramos não passa por nenhum tratamento, sendo consumido *in natura*. Por esse motivo é muito importante que a sociedade entenda e respeite as medidas de preservação da qualidade do ar. Essa conscientização deve iniciar o quanto antes na vida do indivíduo, e fazer parte do currículo escolar, de forma transversal às diferentes disciplinas.

A demonstração dos benefícios que Unidades de Conservação da Natureza podem fornecer à saúde dos moradores do entorno, que estão habitualmente expostos a uma atmosfera com menores índices de poluição atmosférica, mesmo que residindo em grandes centros urbanos, é um incentivo para a criação e manutenção destes espaços especialmente protegidos.

Estudos desenvolvidos com objetivo de relacionar à proteção de ecossistemas naturais com a saúde pública da população promovem um novo enfoque para a importância da preservação da biosfera. A proteção e o uso racional dos recursos naturais vão muito além do conceito de sustentabilidade – de garantir que as gerações futuras possuam condições de suprir suas próprias necessidades – mas refletem diretamente sobre a saúde atual da população e na qualidade de vida dos indivíduos.

REFERÊNCIAS

ADAMO, P.; GIORDANO, S.; VINGIANI, S.; COBIANCHI, R. C.; VIOLANTE, P. Trace element accumulation by moss and lichen exposed in bags in the city of Naples (Italy). **Environmental Pollution**, v. 122, n. 1, p. 91-103, 2002.

ANDRADE JÚNIOR et al. Micronúcleos em tétrades de *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt. cv. purpurea Boom: alterações genéticas decorrentes de poluição aérea urbana. **Acta Scientiarum Biological sciences**, v. 30, n. 3, p. 295-301, 2008.

ATKINSON, R. W.; YU, D.; ARMSTRONG, B. G. et al. Concentration-response function for ozone and daily mortality: Results from five urban and five rural U.K. populations. **Environment Health Perspectives**, v. 120, p. 1411-1417, 2012.

BATESON, T. F.; SCHWARTZ, J. Children's response to air pollutants. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, Part A, v. 71, n. 3, p. 238-243, 2007.

BEALE, C. M.; MONAGHAN, P. Human disturbance: people as predation-free predators? **Journal of Applied Ecology**, v. 41, n. 2, p. 335-343, 2004.

BELL, M. L.; DOMINICI, F.; SAMET, J. M. A meta-analysis of time-series studies of ozone and mortality with comparison to the national morbidity, mortality, and air pollution study. **Epidemiology**, v. 16, p. 436-445, 2005.

BILENKO, N.; BRUNEKREEF, B.; BEELEN, R. et al. Associations between particulate matter composition and childhood blood pressure - The PIAMA study. **Environment International**, v. 84, p. 1-6, 2015.

BLUME, K. K. et al. Genotoxicidade do ar em área urbana na região metropolitana de Porto Alegre, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 12, n. 3, p. 158-163, 2014.

CALDERÓN-GARCIDUEÑAS, L.; CALDERÓN-GARCIDUEÑAS, A.; TORRES-JARDÓN, R.; AVILA-RAMÍREZ, J.; KULESZA, R.; ANGIULLI, A. Air pollution and your brain: What do you need to know right now? **Primary Health Care Research & Development**, v. 16, n. 4, p. 329-345, 2015.

CARNEIRO, M. F. H.; GROTTTO, D.; BATISTA, B.L.; RHODEN, C. R.; BARBOSA, F. Background values for essential and toxic elements in children's nails and correlation with hair levels. **Biological Trace Element Research**, v. 144, p. 339-350, 2011.

CARVALHO, H. A. A *Tradescantia* como bioindicador vegetal na monitoração dos efeitos clastogênicos das radiações ionizantes. **Radiologia Brasileira**, v. 38, p. 459-462, 2005.

CEPPI, M.; BIASOTTI, B.; FENECH, M.; BONASSI, S. Human population studies with the exfoliated buccal micronucleus assay: statistical and epidemiological issues. **Mutation Research**, v. 705, n. 1, p. 11-19, 2010.

CHAKRABORTTY, S.; PARATKAR, G. T. Biomonitoring of trace element air pollution using mosses. **Aerosol and Air Quality Research**, v. 6, n. 3, p. 247-258, 2006.

CHIUSOLO, M.; CADUM, E.; STAFOGGIA, M. et al. Short-Term effects of nitrogen dioxide on mortality and susceptibility factors in 10 italian cities: The EpiAir study. **Environmental health perspectives**, v. 119, n. 9, p. 1233-1238, 2011.

CONAMA. Resolução nº 03 de 28 de junho de 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>> Acesso em: 01 fev. 2018.

CONAMA. Resolução nº 08 de 06 de dezembro de 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0890.html>> Acesso em: 01 fev. 2018.

CORONAS, M. V. et al. Ensaio de micronúcleo com células da mucosa oral para biomonitoramento de crianças expostas a poluentes atmosféricos. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA. Porto de Galinhas - PE, 2012.

ENDRES JÚNIOR, D. et al. Biomonitoring of water genotoxicity in a Conservation Unit in the Sinos River Basin, Southern Brazil, using the *Tradescantia* micronucleus bioassay. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 2 (suppl.), p. S91-S97, 2015.

EVANS, H.J.; NEARY, G.J.; WILLIAMSON, F.S. The relative biological efficiency of single doses of fast neutrons and gamma rays in *Vicia faba* roots and effect of oxygen. Part II. Chromosome damage: the production of micronuclei. **International Journal of Radiation Biology**, v. 1, p. 230-240, 1959.

FERRARO, S.; ORONA, N.; VILLALÓN, L.; SALDIVA, P. H. N.; TASAT, D. R.; BERRA, A. Air particulate matter exacerbates lung response on Sjögren's Syndrome animals. **Experimental and Toxicologic Pathology**, v. 67, n. 2, p. 125-131, 2015.

FLECK, A. S. et al. A comparison of the human buccal cell assay and the pollen abortion assay in assessing genotoxicity in an urban-rural gradient. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 11, n. 9, p. 8825-8838, 2014.

FLORES, M.; YAMAGUSHY, M. U. Teste do micronúcleo: uma triagem para avaliação genotóxica. **Revista Saúde e Pesquisa**, v. 1, n. 3, p. 337-340, 2008.

FRANKLIN, B. A.; BROOK, R.; ARDEN POPE, C. Air pollution and cardiovascular disease. **Current Problems Cardiology**, v. 40, p. 207-238, 2015.

GRYPARIS, A.; FORSBERG, B.; KATSOUYANNI, K. et al. Acute Effects of Ozone on Mortality from the "Air Pollution and Health a European Approach" Project. **American Journal Respiratory Critical Care Medicine**, v. 170, p. 1080-1087, 2004.

GUIMARÃES, E. T.; MACCHIONE, M.; LOBO D. J. A.; DOMINGOS, M.; SALDIVA. Evaluation of the mutagenic potential of urban air pollution in São Paulo, Southeastern Brazil, using the Tradescantia stamen-hair assay. **Environmental Toxicology**, v. 19, n. 6, 2004.

HOLLANDA, N. The micronucleus assay in human buccal cells as a tool for biomonitoring DNA damage: The HUMN project perspective on current status and knowledge gaps. **Mutation Research**, v. 659, n.1-2, p. 93-108, 2008.

HUNOVA, I.; MALY, M.; REZACOVA, J. et al. Association between ambient ozone and health outcomes in Prague. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, v. 86, p. 89-97, 2013.

ITO, K.; DE LEON, S.F.; LIPPMANN, M. Associations between ozone and daily mortality: Analysis and meta-analysis. **Epidemiology**, v. 16, p. 446-457, 2005.

JERRETI, M. et al. Traffic-related air pollution and obesity formation in children: a longitudinal, multilevel analysis. **Environmental Health**, v. 13, n. 49, 2014.

JI, X.; HAN, M.; YUN, Y.; LI, G.; SANG, N. Acute nitrogen dioxide (NO₂) exposure enhances airway inflammation via modulating Th1/Th2 differentiation and activating JAK-STAT pathway. **Chemosphere**, v. 120, p. 722-728, 2015.

JOKSIÉ, G.; PETROVIÉ, S.; ILIÉ, Z. Age-related changes in radiation-induced micronuclei among healthy adults. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 37, p. 1111-1117, 2004.

KOLLING, D. J., et al. Padronização in vitro da técnica do micronúcleo em células vero para detecção de genotoxicidade. Anais da 58^a Reunião Anual da SBPC - Florianópolis, SC - julho/2006.

KUROKAWA, J.; OHARA, T.; UNO, I. et al. Influence of meteorological variability on interannual variations of springtime boundary layer ozone over Japan during 1981-2005. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 9, p. 6287-6304, 2009.

Lei Estadual nº 11.520, de 03 de agosto de 2000. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/legiscomp/arquivo.asp?idNorma=11&tipo=pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm>. Acesso em: 26 out. 2017.

LIMAYE, S.; SALVI, S. Obesity and Asthma: The Role of Environmental Pollutants. **Immunology and Allergy Clinics of North America**, v. 34, n. 4, p. 839-855, 2014.

LUIZ, E. J.; LAVENDOWSKI, I. M. F.; OLIVEIRA, G. P.; GUIMARÃES, E. T.; DOMINGOS, M.; SALDIVA, P. H. N. Sentindo a cidade: biomonitoramento da qualidade do ar de Santo André com plantas da espécie *Tradescantia pallida* e a Educação Ambiental. SEMASA: Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André, 2005.

LUO, K.; LI, R.; LI, W. et al. Acute effects of nitrogen dioxide on cardiovascular mortality in Beijing: An exploration of spatial heterogeneity and the district-specific predictors. **Scientific Reports**, v. 6, 2016.

MAJER, B. J.; LAKY, B.; KNASMÜLLER, S.; KASSIE, F. Use of the micronucleus assay with exfoliated epithelial cells as a biomarker for monitoring individuals at elevated risk of genetic damage and in chemoprevention trials. **Mutation Research**, v. 489, p. 147-172, 2001.

MAZIVIERO, G. T. et al. Avaliação da Genotoxicidade do Material Particulado na Cidade de Limeira (SP) Utilizando o Teste de Micronúcleo em *Tradescantia pallida* (TRAD-MCN). **Journal of the Brazilian Society Ecotoxicology**, v. 6, n. 1, p. 53-56, 2011.

MENZEL, D. B. The toxicity of air pollution in experimental animals and humans: the role of oxidative stress. **Toxicology Letters**, v. 72, p. 269-277, 1994.

MEO, S. A. et al. Effect of environmental air pollution on type 2 diabetes mellitus. **European Review for Medical and Pharmacological Sciences**, v. 19, p. 123-128, 2015.

MERGENER, M.; RHODEN, C. R.; AMANTÉA S. L. Nuclear abnormalities in cells from nasal epithelium: a promising assay to evaluate DNA damage related to air pollution in infants. **Jornal de Pediatria**, v. 90, n. 6, p. 632-636, 2014.

MILLS, I. C.; ATKINSON, R. W.; KANG, S. et al. Quantitative systematic review of the associations between short-term exposure to nitrogen dioxide and mortality and hospital admissions. **BMJ Journal**, v. 5, 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Poluentes Atmosféricos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>> Acesso em: 30 abr. 2018.

NAJAFI, T. F. et al. Air Pollution and Quality of Sperm: A Meta-Analysis. **Iranian Red Crescent Medical Journal**, v. 17, n. 4, 2015.

OLTMANS, S. J.; LEFOHN, A. S.; HARRIS, J. M. et al. Background ozone levels of air entering the west coast of the US and assessment of longer-term changes. **Atmospheric Environment**, v. 42, p. 6020-6038, 2008.

PARRISH, D.; MILLET, D.; GOLDSTEIN, A. Increasing ozone in marine boundary layer inflow at the west coasts of North America and Europe. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 9, p. 1303-1323, 2009.

POPE, C. A.; BURNETT, R. T.; THURSTON, G. D. et al. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: Epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. **Circulation**, v. 109, p. 71-77, 2004.

RAHMAN, I.; MACNEE, W. Oxidative stress and regulation of glutathione in lung inflammation. **European Respiratory Journal**, v. 16, n. 3, p. 534-554, 2000.

REIS, S. R. A. et al. Avaliação da presença de micronúcleos em células esfoliadas da língua de indivíduos dependentes químicos de etanol através dos métodos de Feulgen e Papanicolau. **Revista Odonto Ciência**, v. 19, n. 46, p. 367-371, 2004.

REN, C.; WILLIAMS, G. M.; MENGERSEN, K. et al. Does temperature modify short-term effects of ozone on total mortality in 60 large eastern US communities? An assessment using the NMMAPS data. **Environment International**, v. 34, p. 451-458, 2008.

SAMOLI, E.; AGA, E.; TOULOUMI, G. et al. Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality: an analysis within the APHEA project. **European Respiratory Journal**, v. 27, p. 1129-1137, 2006.

SCHELLE, E. et al. Mapping aerial metal deposition in metropolitan areas from tree bark: a case study in Sheffield, England. **Environmental Pollution**, v. 155, n. 1, p. 164-173, 2008.

SCHULZ, H. et al. Biomonitoring of airborne inorganic and organic pollutants by means of pine tree barks. I. Temporal and spatial variations. **Science of the Total Environment**, v. 232, n. 1, p. 49-58, 1999.

SCHWARTZ, J. How sensitive is the association between ozone and daily deaths to control for temperature? **American Journal Respiratory Critical Care Medicine**, v. 171, p. 627-631, 2005.

SILVA, A. L. G. et al. Evaluation of DNA damage in copd patients and its correlation with polymorphisms in repair genes. **BMC Medical Genetics**, v. 14, n. 93, 2013.

SILVA, C. S. Caracterização de área de referência para material particulado inalável (MP 2,5) associado a biomonitoramento genético em crianças. Porto Alegre, Rio Grande do Sul: UFRGS, 2013.

SILVA, J. S. Efeitos genotóxicos em tétrades de *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt var. *purpurea* induzidos por poluentes atmosféricos na cidade de Salvador-BA. Feira de Santana, Bahia: UEFS, 2005.

SILVA, M. F. **Emissão de metais por veículos automotores e seus efeitos à saúde pública**. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2007.

SISENANDO, H. A. et al. Genotoxic potential generated by biomass burning in the Brazilian Legal Amazon by *Tradescantia* micronucleus bioassay: a toxicity assessment study. **Environmental Health**, v. 10, 2011.

SISENANDO, H. A. et al. Micronucleus frequency in children exposed to biomass burning in the Brazilian Legal Amazon region: a control case study. **BMC Oral Health**, v. 12, n. 6, 2012.

STICH, H.F.; STICH, W.; PARIDA, B.B. Elevated frequency of micronucleated cells in the buccal mucosa of individuals at high risk for oral cancer: betel quid chewers. **Cancer Letters**, v. 17, n. 2, p. 125-134, 1982.

SUYAMA, F.; GUIMARÃES, E.; GUIMARÃES, E.T.; LOBO, D. J. A. Pollen mother cells of *Tradescantia* clone 4430 and *Tradescantia pallida* var. *purpurea* are equally sensitive to the clastogenic effects of X-rays. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 34, p. 127-129, 2002.

TEIXEIRA, M. C. V.; BARBÉRIO, A. Biomonitoramento do ar com *Tradescantia pallida* (Rose) D. R. Hunt var. *purpurea* Boom (Commelinaceae). **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 7, n. 3, p. 279-292, 2012.

US-EPA. Guidelines for Developing an Air Quality (Ozone and PM_{2.5}) Forecasting Program. Publication N° EPA-456/R-03-002; U.S. Environmental Protection Agency: Research Triangle Park, NC, USA, 2003.

US-EPA. Greenhouse Gas Emissions - Carbon Dioxide Emission. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases#carbon-dioxide>> Acesso em: 30 jan. 2018.

WANG, T.; WEI, X.; DING, A. et al. Increasing surface ozone concentrations in the background atmosphere of Southern China, 1994-2007. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 9, p. 6217-6227, 2009.

WANG, C.; TU, Y.; YU, Z.; LU, R. PM_{2.5} and cardiovascular diseases in the elderly: An overview. **International Journal Environmental Research and Public Health**, v. 12, p. 8187-8197, 2015.

WILLIAMS, M. L.; ATKINSON, R. W.; ANDERSON, H. R.; KELLY, F. J. Associations between daily mortality in London and combined oxidant capacity, ozone and nitrogen dioxide. **Air Quality, Atmosphere, & Health**, v. 7, n. 4, p. 407-414, 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 2017. Air pollution. Disponível em: <http://www.who.int/topics/air_pollution/en/>. Acesso em: 18 mar. 2018.

ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. Is there adaptation in the ozone-mortality relationship: A multi-city case crossover analysis. **Environmental Health**, v. 7, p. 22-28, 2008.

ZHONG, L.; LOUIE, P. K.; ZHENG, J. et al. Science-policy interplay: Air quality management in the Pearl River Delta region and Hong Kong. **Atmospheric Environment**, v. 76, p. 3-10, 2013.

APÊNDICE

SAÚDE E MEIO AMBIENTE

POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Elaboração:

Fernanda da Silva Fernandes

Prof. Dr. Daniel Rodrigues Blanco



Fonte: <https://es.dreamstime.com/imagen-de-archivo-libre-de-regal%C3%ADas-mundo-contaminado-image8785456>



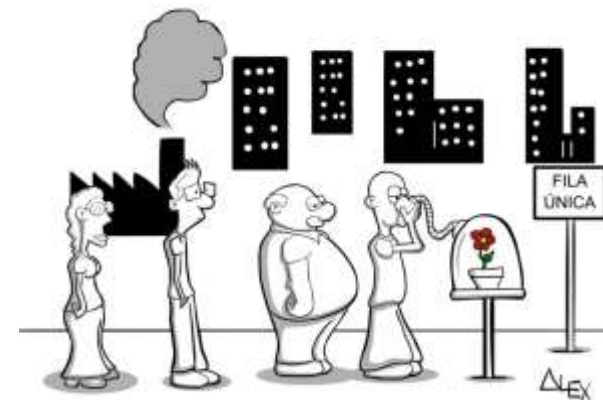
Uma pessoa adulta inspira cerca de 10 mil litros de ar por dia. Ao contrário da água, o ar que respiramos não passa por nenhum tratamento, sendo consumido "in natura". Por esse motivo é muito importante que a sociedade entenda e respeite as medidas de preservação da qualidade do ar.

Todos os dias, uma quantidade imensa de poluentes é jogada na atmosfera pelas indústrias, pelas queimadas e principalmente pelos automóveis. Nas cidades, os veículos são responsáveis por 40% da poluição do ar.

A exposição humana a estes contaminantes, sejam eles químicos, físicos ou biológicos é capaz de gerar danos ao

organismo, provocando um grande número de doenças e se tornando um problema de saúde pública.

Áreas altamente urbanizadas potencializam esta exposição. Em contraponto, em áreas rurais ou protegidas por uma Unidade de Conservação, a presença destes contaminantes é normalmente reduzida.



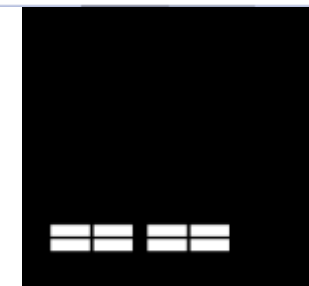
Fonte: <http://www.cidadessustentaveis.org.br/noticias/poluicao-do-ar-mata-mais-de-2-milhoes-de-pessoas-por-ano>



Os poluentes que geram grande preocupação em nível de saúde pública incluem o material particulado (MP), os óxidos de carbono (CO, CO₂), os óxidos de nitrogênio (NO e NO₂), o ozônio (O₃) e o dióxido de enxofre (SO₂).



Fonte: <https://www.educolorir.com/paginas-para-colorir-tossir-i11780.html>



INDÚSTRIA

Fonte: <http://simeb.org.br/index.php/2016/09/14/custos-industriais-tem-primeira-queda-desde-2014/>

VEÍCULOS



Fonte: https://br.freepik.com/icones-gratis/silhueta-de-carros-antigos-de-vista-lateral_740596.htm

QUEIMADAS



Fonte: https://br.freepik.com/icones-gratis/fogo-flamejante-esboco_749065.htm



O material particulado é uma mistura de substâncias sólidas e líquidas de tamanho e composição variada.

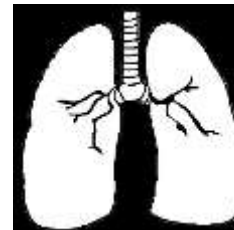
É uma poeira fina de extrema toxicidade. Afeta mais pessoas que qualquer outro poluente.

Pode ser derivado de emissões de fontes móveis de poluição, como veículos, e também de fontes estacionárias, como indústrias.

Principais impactos na saúde:

- ✓ Problemas respiratórios, como asma e tosse.

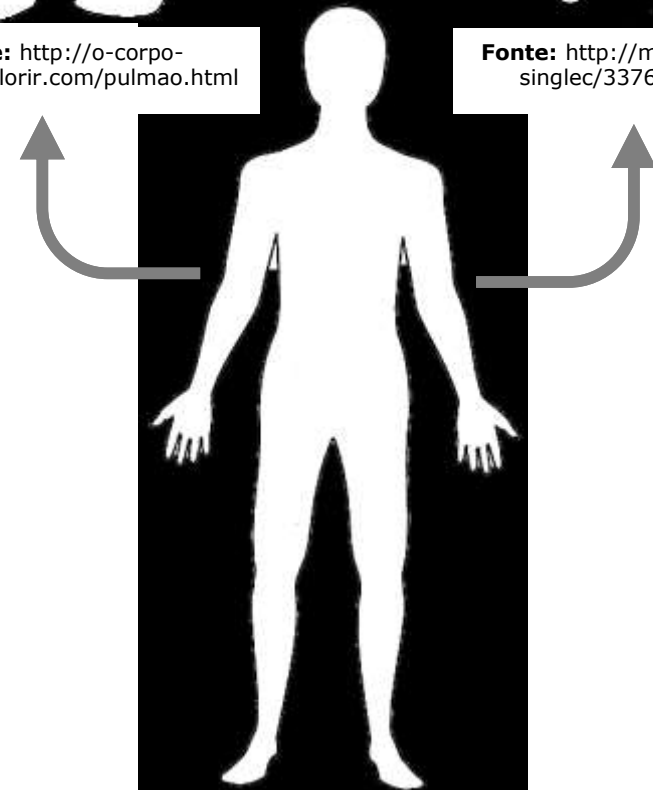
- ✓ Problemas cardíacos, como infarto e arritmias.



Fonte: <http://o-corpo-humano.colorir.com/pulmao.html>



Fonte: <http://mzayat.com/singlec/337614.html>



Fonte: <http://www.colorir.blog.br/desenhos-para-colorir/corpo-humano-para-colorir/7>



É um gás incolor, sem cheiro ou sabor, inflamável e perigoso devido a sua grande toxicidade e por ser um asfixiante químico.

O monóxido de carbono (CO) tem como principais fontes os processos industriais e a combustão incompleta nos veículos automotores.

Principais impactos na saúde:

- ✓ O gás se liga a hemoglobina produzindo carboxihemoglobina, o que afeta o transporte de oxigênio pelo sangue,

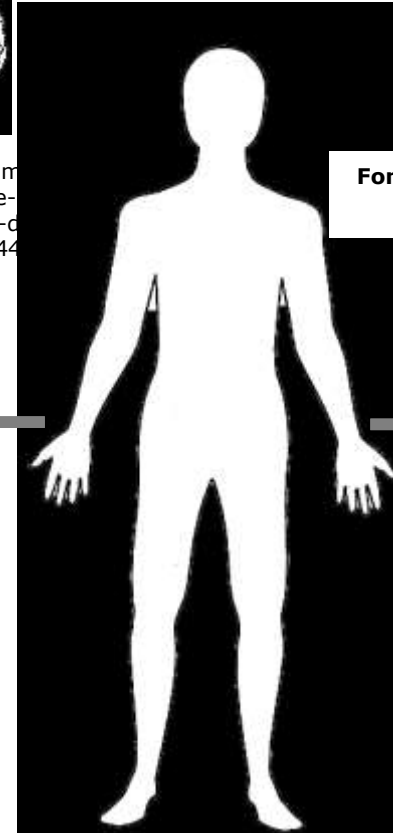
prejudicando principalmente os sistemas cardiovascular e nervoso.



Fonte: <https://pt.dreamstime.com/foto-de-stock-royalty-free-up-do-c%C3%A9rebro-d-desenho-image2367744>



Fonte: <http://mzayat.com/singlec/337614.html>



Fonte: <http://www.colorir.blog.br/desenhos-para-colorir/corpo-humano-para-colorir/7>

Saúde e Meio Ambiente: Poluição Atmosférica



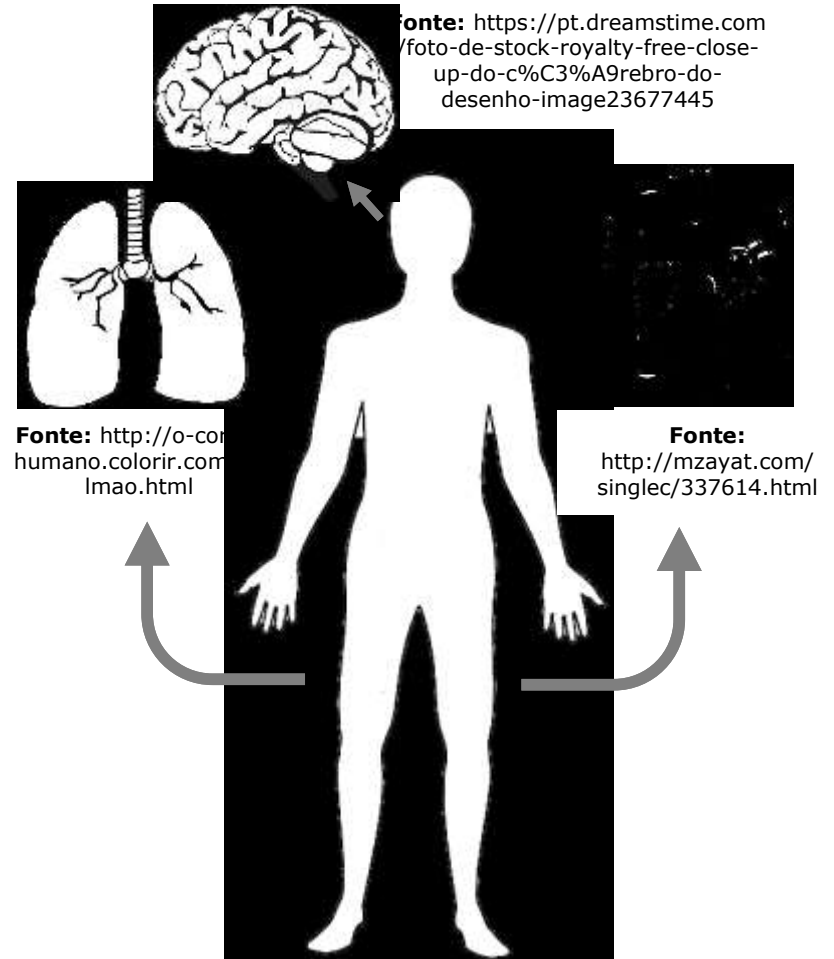
Família de gases prejudiciais à saúde e altamente reativos em compostos químicos. O dióxido de nitrogênio (NO₂) é um gás poluente com ação altamente oxidante.

Suas fontes podem ser naturais (vulcanismos, ações bacterianas, descargas elétricas) e antropogênicas (processos de combustão em fontes móveis e fixas).

Principais impactos na saúde:

- ✓ Problemas respiratórios.

- ✓ Doenças cardiovasculares e cerebrovasculares.



Fonte: <http://www.colorir.blog.br/desenhos-para-colorir/corpo-humano-para-colorir/7>



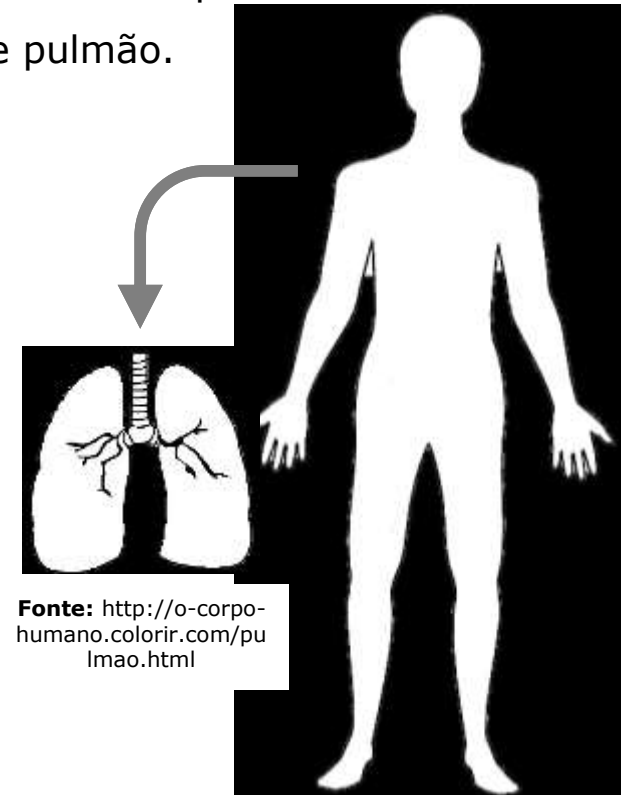
O ozônio troposférico, é formado principalmente por reações fotoquímicas entre óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV) na presença de luz solar, não sendo emitido diretamente por fontes primárias de poluição.

Principais impactos na saúde:

- ✓ Exposição ao ozônio foi correlacionada a uma série de efeitos adversos para a saúde, incluindo o aumento das taxas de internações e atendimentos de

urgência, exacerbação de doenças crônicas e mortalidade.

- ✓ Doenças agudas respiratórias, exacerbação de doenças obstrutivas pulmonares e câncer de pulmão.



Fonte: <http://o-corpo-humano.colorir.com/pu-lmao.html>

Fonte: <http://www.colorir.blog.br/desenhos-para-colorir/corpo-humano-para-colorir/7>

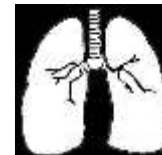


O dióxido de enxofre (SO₂) é um gás tóxico e incolor que pode ser emitido por fontes naturais ou por fontes antropogênicas e pode reagir com outros compostos na atmosfera, formando material particulado de diâmetro reduzido.

Fontes naturais, como vulcões, contribuem para o aumento das concentrações de SO₂ no ambiente, porém, na maior parte das áreas urbanas, as atividades humanas são as principais fontes emissoras. A emissão antropogênica é causada pela queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre em sua composição.

Principais impactos na saúde:

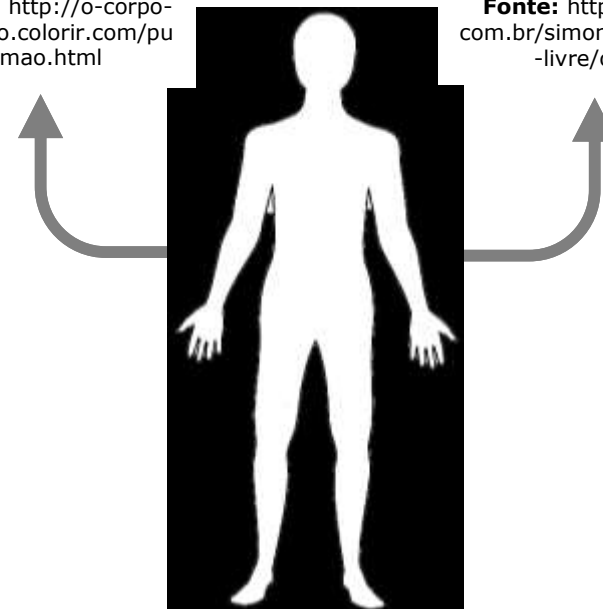
- ✓ Afeta o sistema respiratório, funções pulmonares e causa irritação nos olhos.



Fonte: <http://o-corpo-humano.colorir.com/pu-lmao.html>



Fonte: <https://gartic.com.br/simonetp/desenho-livre/olho-2>



Fonte: <http://www.colorir.blog.br/desenhos-para-colorir/corpo-humano-para-colorir/7>



Não coloque fogo em
resíduos, terrenos, restos de
podas de vegetais.



Faça uso da carona solidária.



Cobre dos órgãos ambientais
a correta fiscalização das
atividades industriais e
denuncie atitudes irregulares
que você presenciar.

***“Podemos permanecer vivos
dois meses sem alimento, três
a quatro dias sem água,
entretanto só quatro minutos
sem ar”***



Cartilhas série Meio Ambiente: Cuidando ele fica inteiro. Disponível em:
http://www.florespi.org.br/wp-content/uploads/2015/08/cartilha_ar.pdf

CETESB. Disponível em:
http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp

Qualidade do ar. Disponível em:
<http://www.mma.gov.br/informma/itemlist/category/63-qualidade-do-ar>

Poluentes atmosféricos. Disponível em:
<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>

Saúde e Meio Ambiente: Pequenas ações podem fazer grande diferença para seu bem-estar. Disponível em:
<http://www.unimedlondrina.com.br/publicacoes/42/pdf.pdf>

World Health Organization (WHO). Air pollution. Disponível em:
http://www.who.int/topics/air_pollution/en/



Fonte: <http://www.mobilize.org.br/noticias/10726/fumantes-passivos-da-poluicao-do-ar.htm>

Saúde e Meio Ambiente: Poluição Atmosférica