

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE DESPORTOS  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO FÍSICA

**GABRIEL MORESCO VIEIRA**

**A BICICLETA COMO MEIO DE TRANSPORTE: O paradoxo da poluição  
atmosférica para homens e mulheres**

Florianópolis

2022

Gabriel Moresco Vieira

**A BICICLETA COMO MEIO DE TRANSPORTE: O PARADOXO DA POLUIÇÃO  
ATMOSFÉRICA PARA HOMENS E MULHERES**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Educação Física – Bacharelado do Centro de Desportos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharelado em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Ramon Cruz,

Florianópolis

2022

### Ficha de identificação da obra

Vieira, Gabriel Moresco  
A BICICLETA COMO MEIO DE TRANSPORTE : O paradoxo da  
poluição atmosférica para homens e mulheres / Gabriel  
Moresco Vieira ; orientador, Ramon Cruz, 2022.  
53 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de  
Desportos, Graduação em Educação Física, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Educação Física. 2. Material Particulado. 3.  
Transporte Ativo. 4. Deposição de Partículas. 5. Exercício  
Aeróbico. I. Cruz, Ramon. II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Educação Física. III. Título.

Gabriel Moresco Vieira

**A BICICLETA COMO MEIO DE TRANSPORTE: O PARADOXO DA POLUIÇÃO  
ATMOSFÉRICA PARA HOMENS E MULHERES**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Educação Física” e aprovado em sua forma final pelo Centro de Desportos da Universidade Federal de Santa Catarina, com a nota 9,3

Local, 22 de Dezembro de 2022.

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Ramon Cruz, Dr.  
Orientador  
Instituição UFSC

---

Prof. Ricardo Dantas, Dr.  
Avaliador  
Instituição UFSC

---

Prof. Cassiano Rech, Dr.  
Avaliador  
Instituição UFSC

Este trabalho é dedicado à Universidade Pública, Gratuita e de Qualidade e a seus defensores.

## AGRADECIMENTOS

Quando Ernesto “Che” Guevara aludiu a frase: “O conhecimento nos torna responsáveis”. Ele não falava somente a ele próprio e seus pares que só eles eram responsáveis por uma luta revolucionária, tão atual hoje quando outrora, mas que aqueles que conheciam a situação sofrida do trabalhador e do camponês e se recusavam a de fato ver os horrores escondidos por baixo das propagandas do capital eram tão responsáveis quanto seus opressores em pessoa. Quando comecei a pesquisar sobre os assuntos que cercam o conteúdo desse TCC, provocado pelo professor Ramon, via muito distante uma função social para o conteúdo que preenchia as vazias páginas que ansiavam para serem escritas. Agora com o trabalho concluído vejo muito claramente quão necessária é a discussão desse recorte que focaliza uma engrenagem tão íntima de nossas cidades, a mobilidade urbana, com uma necessidade tão latente nos dias atuais vividos atrás das telinhas, que é o movimento humano e tudo isso analisado a partir do interior do nosso trato respiratório. Nossos pulmões, respiram o ar e carregam com sigilo uma pequena parte da poluição que produzimos. Não vivemos sem poluir e se poluir não viveremos, que bela ironia que criamos. Digo isso também como um alerta a você caro leitor, o primeiro a quem agradeço: “O conhecimento nos torna responsáveis”.

Não vejo razão em escrever ou até mesmo em agradecer aqueles que foram fundamentais em minha trajetória se não será lido, então enfatizo: muito obrigado a quem lê.

Agradeço aos meus Pais, irmão, madrinha e avó, muito obrigado pelo apoio nesse período. Minha trajetória acadêmica na UFSC não começou na Educação Física. Entre 2015 e 2017 fui aluno do CTC no curso de Engenharia Eletrônica. Durante esses três anos não me faltou apoio e carinho da minha família, mesmo quando decidi abdicar do curso e adentrar em um campo totalmente diferente daquele que estava inserido. A confiança de saber que vocês estariam sempre ao meu lado foi fundamental e fui, sou e serei eternamente grato a vocês por trilharem esse caminho comigo, nos momentos fáceis, nos difíceis e nos que pareciam impossíveis.

A migração do CTC para o CDS me possibilitou conhecer a pessoa que hoje tenho o privilégio de chamar de “companheira”, companheira de estudos, companheira de lutas sociais, companheira de vida. Andreza, muito obrigados pelos anos que estamos juntos e por todo apoio nesse período de graduação.

A Olga, minha filha, agradeço por ser o raio de sol que me acorda todas as manhãs, enchendo de energia e alegria nossa casa. Não consigo imaginar um mundo sem você.

Aos meus colegas de curso e professores, obrigado por me ajudar a lapidar o acadêmico e o profissional de educação física que existia em mim.

Aos meus amigos, Davi, Jhonata e Thiago, meus parceiros de vida, por estarem sempre a uma mensagem de distância, para o que der e vier.

Ao meu orientador, Ramon Cruz, meus sinceros agradecimentos pela exemplar postura e ampla disponibilidade ao longo do ano que trabalhamos juntos, foi um prazer aprender e construir conhecimento com o professor.

Aos colegas do grupo de pesquisa liderado pelo professor Ramon, pela constante troca de conteúdo e experiências.

Agradeço também aos colegas com que dividi espaço no CAEF e no PEF-EF, a riqueza de experiências dividida nesses espaços vai muito além de qualquer currículo.

Por fim, agradeço a UFSC por me receber de braços abertos desde 2003, quando ingressei no Colégio de Aplicação até os dias atuais. Sinto muito orgulho por ter feito parte dessa instituição gigantesca que é a UFSC e por ter lutado em seu favor em tantas oportunidades. Me entristeci ver a velocidade que avança o desmonte da educação pública nesse país e a desvalorização dessas instituições perante a sociedade, tal qual a descrença sobre a ciência. Se finalizo o ciclo de estudante com esse TCC, saiba que não abduco da luta pela universidade necessária, pública, gratuita, de qualidade e universal.

*“Vamos caminando. Aquí estamos de pie” (América Latina - Calle 13, 2010)*

*Xote Ecológico*

*Não posso respirar,  
não posso mais nadar  
A terra está morrendo,  
não dá mais pra plantar  
E se plantar não nasce,  
se nascer não dá  
Até pinga da boa é difícil de encontrar*

*Cadê a flor que estava aqui?  
Poluição comeu  
E o peixe que é do mar?  
Poluição comeu  
E o verde onde é que está?  
Poluição comeu  
Nem o Chico Mendes sobreviveu*

*(Composição: BATISTA, Aguinaldo, 1989*

*Interpretado por: GONZAGA)*



## RESUMO

A qualidade do ar em centros urbanos é afetada pela grande emissão de Material Particulado (MP), principalmente de veículos automotores. Dentre esses particulados, que afetam diretamente aqueles que utilizam a bicicleta para se deslocar pela cidade, se destacam as partículas com tamanho igual ou inferior a  $2,5\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2,5}$ ), pela sua capacidade de atingir regiões profundas do sistema respiratório. Homens e mulheres vivenciam e desempenham o exercício de formas diferentes. Pressupõe-se que exista diferença significativa no *locu* de deposição de  $\text{MP}_{2,5}$  no trato respiratório de homens e mulheres durante a prática de ciclismo como meio de transporte. Por isso, essa pesquisa se propõe a descrever a deposição de partículas entre os sexos durante a prática de ciclismo como modal de transporte em ambiente urbano poluído, através de modelagem matemática para estimar a deposição pulmonar de MP em diferentes níveis do trato respiratório: região extratorácica, região brônquica, região bronquiolar e região alvéolo-intersticial. Os resultados foram apresentados em dois cenários, o primeiro foi considerado dados de ventilação minuto (VE) para homens e mulheres de um artigo da área que estudou a bicicleta como meio de transporte em ambiente urbano e o segundo cenário fixou os valores de VE em um único intervalo para ambos os sexos. Os dois cenários foram arquitetados usando como base um trajeto real na cidade de Florianópolis que liga a região central da cidade ao campus Trindade da Universidade Federal de Santa Catarina. O trajeto de 9,3km tem tempo estimado de 30 minutos e margeia uma rodovia de trânsito intenso da capital Catarinense. A concentração média de  $\text{MP}_{2,5}$  foi  $\sim 30\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  nos cenários 1 e 2 para ambos os sexos. Os dados de concentração de  $\text{MP}_{2,5}$  foram baseados em medições de satélite. Ambos os cenários mostraram que as mulheres apresentam maior deposição de partículas (6,7% e 0,6%,  $p < 0,001$ ). No cenário 1 as mulheres depositaram mais partículas nos níveis ET1 (+17%), ET2<sub>Nasal</sub> (+20%) e bb (+9%) e menos no nível AI (-2%). No cenário 2, que os valores de VE ficaram no mesmo intervalo, a deposição de partícula em bb (+0,7%) e AI (+0,8%) foi maior entre as mulheres. A maior deposição de  $\text{MP}_{2,5}$  para mulheres foi observada em ambos os cenários, porém a diferença entre eles foi menor no cenário 2 (apesar de estatisticamente significativa). Tal resultado, provavelmente, foi influenciado pelo grande número de amostras geradas (10 000). Ao considerar os dois cenários, sugerimos que a VE ainda tem participação importante para a deposição de  $\text{MP}_{2,5}$ , e é possível discriminar anatomicamente as regiões de deposição no trato respiratório de homens e mulheres, sendo que, nos dois primeiros e dois últimos níveis essas diferenças se apresentam com diferença estatisticamente significativa.

**Palavras chave:** Material Particulado; Transporte Ativo; Deposição de Partículas, Exercício Aeróbio.

## ABSTRACT

The air quality in urban centers is affected by the large emission of particulate matter (PM), mainly from motor vehicles. Among these particulates, which directly affect those who use bicycles to move around the city, stand out particles with a size equal to or less than  $2.5\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) by their capability to reach deep regions of the respiratory system. Men and women experience and perform exercises in different ways. It is assumed that there is a significant difference in the *locu* of  $\text{PM}_{2.5}$  deposition in the respiratory tract of men and women during cycling as a means of transportation. Therefore, this research proposes to describe the deposition of particles between the sexes during the practice of cycling as a form of transport in a polluted urban environment, through mathematical modeling to estimate the pulmonary deposition of PM at different levels of the respiratory tract: extra thoracic region, bronchial region, bronchiolar region, alveolar-interstitial region. The results were presented in two scenarios, in the first was considered minute ventilation (VE) data for men and women from an article in the area that researched the bicycle as a means of transportation in an urban environment and the second scenario fixed the VE values in a single interval for both sexes. The two scenarios were designed using as basis a real trajectory of the city of Florianópolis that connects the central region of the city to the Trindade campus of the Federal University of Santa Catarina. The 9.3km route takes an estimated time of 30 minutes and borders a highway with intense traffic in the capital of Santa Catarina. The average concentration of  $\text{PM}_{2.5}$  was  $\sim 30\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  in scenarios 1 and 2 for both sexes.  $\text{PM}_{2.5}$  concentration data were based on satellite measurements. Both scenarios showed that women have higher particle deposition (6,7% e 0,6%,  $p < 0,001$ ). In scenario 1, women deposited more particles at levels ET1 (+17%), ET2<sub>Nasal</sub> (+20%) and bb (+9%) and less at the level AI (-2%). In scenario 2, in which the VE values were in the same range, the particle deposition in bb (+0,7%) e AI (+0,8%) was higher among women. The highest  $\text{PM}_{2.5}$  deposition for women was observed in both scenarios, but the difference between them was smaller in scenario 2 (although statistically significant). This result was probably influenced by the large number of samples generated (10 000). When considering the two scenarios, we suggest that the VE still plays an important role in the deposition of  $\text{PM}_{2.5}$ , and it is possible to anatomically discriminate the deposition regions in the respiratory tract of men and women, and in the first two and last two levels these differences are presented with a statistically significant difference.

**Keywords:** Particulate Matter. Active Transportation. Particle Deposition. Aerobic Exercise.

## LISTA DE FUGURAS

Figura 1 - Mapas do percurso utilizado como referência para o tempo de deslocamento. ....	26
Figura 2 - Código usado para a geração aleatória de valores para VE feminina e masculina..	27
Figura 3 - Código usado para a geração aleatória de valores para concentração de MP2,5.....	28
Figura 4 - Código usado para a geração aleatória de valores para VV .....	28
Figura 5 - Fluxograma do caminho do ar durante a inspiração e expiração.....	29
Figura 6 - Códigos já com valores para a modelagem matemática referente a capacidade do VM e a CFR.....	30
Figura 7 - Entrada de Vi e Pré-filtro.....	30
Figura 8 - Inalação e Estágio 1 - ET1 .....	31
Figura 9 - Estágio 2 - ET2Nasal e ET2Oral .....	31
Figura 10 - Estágio 3 - BB e Estágio 4 bb .....	32
Figura 11 - Estágio 5 - AI e Estágio 6 bb (saída) .....	32
Figura 12 - Estágio 7 – BB (saída) e Estágio 8 - ET2Nasal (saída) .....	33
Figura 13 - Estágio 8 - ET2Oral (saída) e Estágio 9 - ET1(saída) .....	33
Figura 14 - Taxa de deposição de Material Particulado 2,5 em cada nível do trato respiratório de homens (□) e mulheres (■) no cenário 1.....	35
Figura 15 - Taxa de deposição de Material Particulado 2,5 em cada nível do trato respiratório de homens (□) e mulheres (■) para o cenário 2.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Regiões do trato respiratório.....	25
Tabela 2 - Variáveis ambientais, ventilação e deposição total de MP2,5 para o cenário 1.....	34
Tabela 3 - Variáveis ambientais, ventilação e deposição total de MP2,5 para o cenário 2.....	36
Tabela 4 – Dados gerais cenário 1.....	49
Tabela 5 – Dados de deposição cenário 1.....	49
Tabela 6 - Dados gerais cenário 2. ....	50
Tabela 7 – Dados de deposição cenário 2.....	50

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS .....	14
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>14</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>15</b>
1.2	JUSTIFICATIVA .....	15
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>17</b>
2.1	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	17
2.2	EXERCÍCIO AERÓBIO EM AMBIENTE POLUÍDO.....	18
2.3	BICICLETA COMO MEIO DE TRANSPORTE .....	22
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	25
3.2	LOCAL DA PESQUISA .....	25
3.3	DELINEAMENTO DE ESTUDO.....	26
3.3.1	<b>Ventilação minuto.....</b>	<b>27</b>
3.3.2	<b>Concentração de mp<sub>2,5</sub>.....</b>	<b>27</b>
3.3.3	<b>Velocidade do vento.....</b>	<b>28</b>
3.3.4	<b>Altura e idade.....</b>	<b>28</b>
3.3.5	<b>Equações .....</b>	<b>29</b>
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
4.1	ORGANIZAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS.....	34
4.2	CENÁRIO 1.....	34
4.3	CENÁRIO 2.....	35
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
5.1	CICLISMO COMO MEIO DE TRANSPORTE EM CENTRO URBANO .....	38

5.2	DEPOSIÇÃO DE PARTÍCULAS NO TRATO RESPIRATÓRIO EM HOMENS E MULHERES .....	40
<b>6</b>	<b>Conclusão e Perspectivas .....</b>	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>45</b>
	<b>APÊNDICE A – Estatística descritiva .....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Bicicleta como meio de transporte é uma alternativa viável para promoção de qualidade de vida, diminuição do tráfego de autos em ambientes urbanos e colabora com a preservação do meio-ambiente (COLE-HUNTER; MORAWSKA; SOLOMON, 2015). Apesar dos benefícios a saúde, as pessoas que utilizam a bicicleta como modal de transporte em grandes centros urbanos (*e.g.* Florianópolis) aumentam a sua exposição à poluição atmosférica, pois durante a transição e a manutenção de um estado de esforço ocorre uma série de adaptações fisiológicas, promovendo mudanças no padrão respiratório que passa a ser mais oral do que nasal, aumento da frequência respiratória e aumento na ventilação minuto (VE) e portanto, maior volume de ar poluído inalado (CRUZ et al., 2020; GILES; KOEHLE, 2014; NYHAN; MCNABOLA; MISSTEAR, 2014; ZUURBIER et al., 2009)

Dentre os poluentes mais comuns em grandes cidades, destaca-se o material particulado (MP). O MP com diâmetro igual ou inferior a 2,5  $\mu\text{g}$  (MP<sub>2,5</sub>) tem sido indicado com um dos mais nocivos à saúde humana, pois pode atingir a via aérea inferior do trato respiratório e se depositar na região onde ocorre a permuta gasosa (CUTRUFELLO; SMOLIGA; RUNDELL, 2012). Esse poluente se encontra em concentrações acima do indicado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para 92% da população mundial (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021). De fato, alguns estudos indicaram que a presença desse poluente pode mitigar o efeito hipotensor após exercício intervalado de alta intensidade (bicicleta) em ambiente urbano poluído (CRUZ et al., 2021a), estimular a inflamação sistêmica durante exercício de baixa intensidade, pedalando por 90 minutos (PASQUA et al., 2020) e também promover alterações na percepção de esforço e VE durante exercício em bicicleta por 30 minutos (GILES; KOEHLE, 2014). Embora os resultados supracitados tenham colaborado para nossa compreensão acerca dos efeitos do MP<sub>2,5</sub> para os sistemas fisiológicos, ainda não se sabe com precisão em quais etapas do trato respiratório há maior deposição do poluente, de acordo com a sua concentração e características do exercício (intensidade e duração). E principalmente, os resultados reportados ainda carecem de informações sobre os possíveis desfechos para as mulheres, apesar de indicarem que mulheres apresentam a maior prevalência de sintomas respiratórios em relação aos homens (MORICI et al., 2020).

Por exemplo, estudos apontam que exista diferenças significativas entre o sistema respiratório feminino, resultando em diferentes respostas ventilatórias ao exercício físico (GUENETTE et al., 2007; KILBRIDE et al., 2003) que podem explicar esse maior

acometimento. Quando investigado o uso da bicicleta como meio de transporte, as mulheres apresentaram VE média superior a dos homens, indicando uma maior inalação de partículas no trato respiratório (ZUURBIER et al., 2009). Por mais que existam pressupostos robustos do efeito da poluição atmosférica quando relacionada com exercício físico, não sabemos ao certo o como a poluição se dispersa ao longo das vias respiratórias, onde se deposita em maior quantidade e se a quantidade de poluentes que chegam à região onde ocorre a permuta gasosa é, de fato, relevante. Desse modo uma saída viável para tal problema seja a estimativa de deposição por meio de modelos matemáticos. A Comissão Internacional de Proteção Radiológica (*ICRP* em sua sigla em inglês), por meio de equações que descrevem o trato respiratório humano, fornece embasamento para simular o quanto de poluente se depositaria nos diferentes níveis das vias aéreas superiores e inferiores (ICRP, 1994). É necessário também, variáveis que descrevem o exercício praticado (VE e tempo de prática), o espaço (concentração de poluentes, velocidade do vento) e características da população (altura e idade).

Os efeitos, agudos e crônicos, da poluição atmosférica em indivíduos que utilizam da bicicleta como meio de transporte nos centros urbanos ainda precisam ser mais e melhor elucidados, principalmente quando relacionado a diferenciação da deposição de partículas no trato respiratório masculino e feminino, fato que poderia apresentar o por que as mulheres tendem a sofrer mais com a poluição atmosférica. O que torna relevante o objetivo desta pesquisa que busca: Descrever a deposição de partículas no trato respiratório de homens e mulheres durante a prática de ciclismo como modal de transporte em ambiente urbano poluído. A hipótese é que exista uma diferença significativa no *locu* de deposição de MPs entre os sexos durante a prática de ciclismo como modal de transporte em ambiente urbano poluído.

## 1.1 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste Trabalho de conclusão de curso (TCC).

### 1.1.1 Objetivo Geral



Estimar a deposição de partículas no trato respiratório de homens e mulheres durante a prática de ciclismo como modal de transporte em ambiente urbano poluído, através de uma simulação matemática.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Comparar a deposição total de partículas entre homens e mulheres.
- Verificar se há diferenças nas regiões anatômicas com relação à deposição de partículas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

De forma pessoal o tema abordado neste TCC se assemelha a uma biografia do autor, devido a história de vida e a sua relação com a cidade em que nasceu e vive até os dias atuais: Florianópolis. Capital do estado de Santa Catarina, Florianópolis, passou por um rápido adensamento populacional partindo de cerca de 270 mil habitantes em 1991 para 350 mil nos anos 2000, em 2010 a cidade chegou a ter 421 mil habitantes e tendo estimado 516 mil habitantes em 2021 IBGE (1991; 2000; 2010; 2021). Por ser uma ilha e ter em sua topografia morros e manguezais a questão da moradia e da mobilidade urbana sempre foram tópicos latentes na sociedade Florianopolitana, que mantém um constante diálogo com prefeitura e órgãos ambientais em uma tentativa de frear a forte especulação imobiliária e avanço do interesse privado em áreas de preservação. Apesar de toda organização popular, Florianópolis não conseguiu fugir de um crescimento acelerado sem um real planejamento de cidade. Esse espaço em constante mudança e adensamento populacional foi a cidade que o autor viu nos seus 26 anos de vida. Nativo do Campeche, bairro localizado no sul da ilha, e desde dos 7 anos de idade estudante da UFSC, primeiramente no Colégio de Aplicação e posteriormente em cursos de graduação, proporcionou que desde muito pequeno a realização de viagens de transporte coletivo entre casa-UFSC e UFSC-casa, sendo muito marcante a longa demora para realizar um trajeto de aproximadamente 12 quilômetros. Com o passar do tempo e da diminuição de horários na UFSC, o ônibus deu lugar a bicicleta que hoje é o principal meio de transporte do autor, responsável pela ida e vinda da universidade, trabalho, creche da filha e momentos de recreação. As ciclovias na cidade são raras, obrigando o ciclista a dividir espaço com veículos automotores, estes que por sua vez já enfrentam recorrentes problemas com congestionamento,

má qualidade do asfalto e falta de padrão nas sinalizações de trânsito. Tudo isso já oferece um grande risco ao ciclista que vence verdadeiras batalhas ao se deslocar pela cidade. Fora os perigos mecânicos os ciclistas ainda são expostos a MP que causam diferentes tipos de efeitos negativos no organismo, tópico de discussão do grupo de estudos liderado pelo Prof. Ramon Cruz.

O entendimento dos efeitos da poluição atmosférica no organismo durante a prática de exercício físico e atividade física em diferentes demandas fisiológicas precisa ser assimilado por completo para se unir a recomendações da OMS com objetivo de proteger os praticantes e aprimorar protocolos de treino, buscando afetar o mínimo possível o organismo do atleta que precisa se expor durante suas sessões de treino, analogamente a obrigatoriedade de quem usa a bicicleta como meio de transporte, que se expõem para arcar com suas obrigações diárias.

Devido a necessidade da mobilidade urbana, do aumento da poluição e suas consequências ao meio ambiente, e a promoção da saúde por meio da prática de ciclismo como modal de transporte, o uso da bicicleta em cidades está cada vez maior. Por tanto, se faz relevante a averiguação, articulando a literatura com cálculos matemáticos, dos efeitos da exposição aos poluentes atmosféricos em ambos os sexos durante o exercício físico, uma vez que este é um problema em relação a saúde reconhecido por órgãos nacionais e internacionais e amplamente debatido no âmbito político em eventos como a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP) e o Grupo dos 20 (G20). Sendo assim, se torna uma demanda, também social, resultante do crescimento e superlotação das áreas urbanas.

## 2 DESENVOLVIMENTO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso sistematiza os dizeres da literatura em torno de três capítulos: Poluição Atmosférica; Exercício Físico e Bicicleta como Meio de Transporte. Foi dado prioridade para o uso da base de dados *PUBMED* para pesquisar os artigos pertinentes a pesquisa e dado preferência para artigos de periódicos científicos em inglês, graças a maior profundidade do assunto nas publicações, publicado entre o 1997 e 2022. A plataforma alternativa ao *PUBMED* foram o *GOOGLE SCHOLAR* e *SCIELO*, utilizados para assuntos secundários e relatórios técnicos.

### 2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) define Poluente Atmosférico como:

(...) toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação. Além disso, tornam ou podem tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Para RIBEIRO; RODELLA; HOINASKI (2021) no Brasil, em aspectos de legalidade, as normativas de controle de poluentes oriundos do TRAP estão cumprindo o seu papel, com exceção ao índice de Ozônio ( $O_3$ ) e  $MP_{2,5}$ . Com a poluição se limitando a questões legais em relação a norma vigente, é possível afirmar que o ar no Brasil segue dentro do esperado nos pontos de controle existentes. Segundo a OMS as  $MP_{2,5}$  devem assumir valores  $\leq 15 \mu g.m^{-3}$ ,  $10 \mu g.m^{-3}$  a menos do que a legislação Brasileira considera “bom”. Sendo assim, mesmo quando os índices de  $MP_{2,5}$  estão “bons”, ainda pode trazer riscos para quem frequenta esses espaços, afetando negativamente o sistema respiratório e sistema cardiovascular, e inflamação sistêmica (CRUZ et al., 2021b).

Segundo a OMS (2021) 4,2 Milhões de pessoas perecem no mundo por influência da poluição atmosférica em ambientes externos enquanto 3,8 Milhões de pessoas são fatalmente afetadas a exposição à fumaça de fogões e combustíveis em ambientes domiciliar. A OMS também afirma que 9 em cada 10 pessoas vive em ambiente que excedem as diretrizes da organização, o que revela que apesar do alto número de fatalidades decorrentes a exposição a

poluição do ar, uma larga parcela da população mundial vive acometidas aos seus efeitos de maneira crônica, estando incluídos os MP<sub>2,5</sub> que estão presentes em concentrações acima do indicado para 92% da população mundial.

O MP<sub>2,5</sub> é composto por partículas sólidas e/ou líquidas em suspensão, menores do que 2,5µm, que podem ter origem da atividade humana através da queima de combustíveis fósseis, por exemplo, e também através de processos naturais como erosão do solo (SANTOS et al., 2019). A maior fonte de MP<sub>2,5</sub> são as queimadas, que apesar de serem, também, uma grande fonte de CO<sub>2</sub> a queima de biomassa ocorre por muitos processos de combustão incompleta, formando partículas finas (MATAVELI et al., 2018). Essas partículas, penetram até regiões profundas do trato respiratório até a região bronquiolar, onde ocorre o processo da respiração (GILES; KOEHLE, 2014). Os efeitos desse acometimento influenciam não só o sistema respiratório, mas resultam em respostas sistêmicas para a saúde humana, com destaque para inflamação sistêmica, alteração do balanço autonômica e até mesmo influência na percepção de esforço (GILES; KOEHLE, 2014). Dentro dos centros urbanos, as principais fontes do MP<sub>2,5</sub> são as atividades fabris e o fluxo automotivo, tornando as proximidades do sistema viário um local de grande concentração (SANTOS et al., 2019).

Portanto, além da relevância científica pelo risco que traz à saúde humana, as partículas finas também podem ser medidas e extrapoladas para regiões adjacentes do ponto de medição, diferentes de outros poluentes, como por exemplo o monóxido de carbono (CO) (LIANG et al., 2018). Considerando que o exercício físico (*e. g.* ciclismo) pode potencializar a exposição ao MP<sub>2,5</sub>, compreender como o deslocamento por meio da bicicleta em vias próximas ao tráfego de autos acomete os praticantes é essencial para ampliar a compreensão das relações entre deposição de poluentes para homens e mulheres, e os possíveis desfechos para a saúde.

## 2.2 EXERCÍCIO AERÓBIO EM AMBIENTE POLUÍDO

O exercício aeróbio pode trazer diversos benefícios para a saúde física e mental, prevenir doenças e amenizar sintomas de doenças crônicas (GARBER et al., 2011). Segundo o Colégio Americano de Medicina Esportiva (ACSM, na língua inglesa), adultos devem praticar ao menos 30 minutos de atividade física moderada por dia em ao menos 5 dias da semana, totalizando uma quantidade mínima de 150 minutos de atividade física moderada, ou

treinamento cardiorrespiratório por 20 minutos em ao menos 3 dias da semana, esse último em intensidade vigorosa. A alternância entre as intensidades também são benéficas, desde que sobrepassem um limiar energético de 500-1000 metabolismos na semana (GARBER et al., 2011).

Os benefícios do exercício à saúde se estendem a homens e mulheres, que apesar de passarem por processos de adaptação ao exercício de forma semelhante, o vivenciam e desempenham de forma distinta. Comparando a composição corporal em ambos os sexos, nota-se uma diferença significativa, enquanto homens apresentam um maior percentual de massa muscular as mulheres apresentam maior percentual de gordura corporal. Quando analisada as fibras musculares, mulheres e homens tem volumes similares de fibras tipo I e tipo II. De maneira geral a relação entre tônus muscular e massa lipídica fornece uma menor potência e capacidade aeróbia a mulheres, quando comparado a homens (LEITÃO et al., 2000). Ainda no exercício aeróbio é observada um menor  $VO_2\text{max}$  em mulheres, a Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte (SBME) em seu artigo “Posicionamento oficial da Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte: atividade física e saúde na mulher” (2000), defende que o principal fator que colabora para esse menor  $VO_2\text{max}$  é um menor débito cardíaco, oriundo de um menor volume sistólico, que pode ser explicada pela menor massa e volume ventricular no órgão cardíaco feminino.

Outro fator apontado é uma capacidade de transporte de oxigênio dificultada por um nível baixo de hemoglobina devido as recorrentes menstruações. O Ciclo Menstrual (CM) pode ainda ter outros efeitos sobre o exercício, afetando Temperatura Corporal (TC), respostas cardiorrespiratórias e a Percepção de Esforço (PE) da praticante. A alteração de TC tem seu cerne na Fase Folicular (FF) onde o organismo sofre uma alteração entre 0,3 e 0,5°C (JANSE DE JONGE et al., 2012). A FF caracteriza-se por picos de estrógeno (TORNERO-AGUILERA et al., 2022) e compreende o início do CM, terminando com o início da ovulação. A fase seguinte é a Fase Lútea (FL) que começa após a ovulação e tem seu fim com a menstruação, o hormônio predominante nessa fase é a progesterona (PRADO, 2020). Durante a FL se concentram as alterações de PE e as respostas cardiorrespiratórias. Em relação a PE é apontado que o aumento de cortisol no organismo pode ser responsável pela resposta negativa ao exercício, principalmente em intensidade moderada/alta (PRADO et al., 2021). As respostas cardiorrespiratórias tem apresentado resultados que vão de encontro, podendo apresentar ou não alteração durante o CM. Ao estudar o impacto do CM no exercício em 21 mulheres jovens amenorreicas não treinadas, REDMAN; SCROOP; NORMAN, 2003 constataram que o CM

não afeta o exercício de forma global, mantendo Frequência Cardíaca Máxima e valores de Frequência Ventilatória (fV),  $VO_2$ pico e VE.

Em seu artigo intitulado de “*Exercise  $V_e$  and physical performance at altitude are not affected by menstrual cycle phase*” BEIDLEMAN et al. (1999) constatou que mesmo quando comparado o exercício praticado ao nível do mar com o mesmo programa em altitude a fase FL do CM não afetou a VE, mesmo apontando em seu artigo que essa possibilidade poderia ser plausível uma vez que hormônios como o estradiol e a progesterona causam impacto na VE em repouso em mulheres eumenorreicas, dado também observado em mulheres grávidas, já que durante a gestação a progesterona se mantém em níveis elevados. Por outro lado (SMEKAL et al., 2007) encontrou variação no *drive* ventilatório quando observado em contexto de repouso e em exaustão, assim como nos limiares aeróbicos, tendo variação significativa entre as fases do CM de VE/ $VO_2$  e VE/ $VCO_2$ , mas não interferindo na VE das participantes da pesquisa. A VE pode sofrer alteração por meio de dois mecanismos adaptativos ao sair do repouso para o exercício, sendo elas a Frequência Ventilatória (fV) e o Volume Corrente (VC), sendo essa última participante quando iniciado um exercício de intensidade leve, quando o exercício atinge nível próximo ou superior ao moderado o VC atinge um platô e a fV acaba sendo determinante para a ampliação da VM (LOPES; BRITO; PEREIRA, 2005).

Por mais que existam diferentes respostas do organismo masculino ou feminino ao exercício físico, e que a prática de exercício seja um caminho para a manutenção da saúde, em ambos os sexos, quando realizado próximo ao tráfego de veículos ele pode ter efeitos negativos para com o organismo devido a taxa de poluentes que o indivíduo é exposto em consequência da ação mecânica dos automóveis, que suspende partículas no ar, e da emissão de gases nocivos oriundos da combustão (CRUZ et al., 2021a). Olhando especificamente para o processo ventilatório, ambos atravessam o mesmo mecanismo de resposta ao aumento da intensidade de exercício. Essa resposta é desencadeada, inicialmente, por uma necessidade de levar mais  $O_2$  para as células e mais  $CO_2$  para fora do organismo, resultando em uma ventilação aumentada, que por sua vez possibilita um aumento a exposição de poluentes. O aumento da intensidade de exercício também provoca crescimento da ventilação pulmonar, devido a profundidade e frequência da inspiração e uma ventilação predominantemente oral, que burla um mecanismo de filtração presente na cavidade nasal. Esse conjunto de adaptações do organismo ao exercício é responsável por um grande aumento de ingestão de poluentes, de forma que um atleta de

maratona correndo a 70% do  $VO_2\text{max}$ , inala ao longo de uma prova uma quantidade análoga de poluentes que uma pessoa sedentária levaria dois dias para consumir (MARR; ELY, 2010).

A intensidade do exercício é relevante uma vez que além de um compensação na fV, que resulta em um VE maior, também interfere na broncodilatação através da produção de catecolaminas que estimulam receptores Beta2-adrenérgicos da epinefrina, essa adaptação a intensidades medias e altas de exercício é afetada pela exposição a poluentes (MORICI et al., 2020) a inibição desses receptores proporcionam um risco aumentado a pacientes com doenças cardiovasculares. O aumento de fluxo sanguíneo dentro dos vasos estimula a produção do agente vasodilatador, que desencadeia a inibição da agregação de plaquetas, relaxamento vascular, efeitos benéficos que previnem doenças como a hipertensão arterial e aterosclerose. Essa inibição aos receptores de Beta2-adrenérgicos afeta diretamente o metabolismo da Arginina (SILVA; ZANESCO, 2010). Ainda sobre o metabolismo, o exercício físico realizado em vias adjacentes a grande fluxo de automóveis pode interferir também no metabolismo da Glicina e Serina; Prolina; e Glicose, dependendo do tempo de prática, como apresenta (CRUZ et al., 2021b), que investigou os efeitos da poluição em um estudo realizado nas margens de uma via do centro da cidade de São Paulo em intervalos de 30, 60 e 90 minutos, respectivamente.

Quando realizado sob condição de TRAP (sigla em inglês para poluição atmosférica relacionada ao tráfego), o exercício pode afetar o desempenho, como apontam MARR; ELY (2010). Por exemplo, o  $MP_{10}$  interferiu no desempenho de atletas de maratonas, mesmo quando realizadas em horários com pouca incidência de veículos, afetando em particular o desempenho apenas das mulheres. Esse alto consumo de particulado tóxico proporcionado pelo exercício em alta intensidade, unido a uma particularidade anatômica no tamanho da faringe e laringe é apontado por MARR; ELY (2010) como um provável responsável pela perda de rendimento de atletas femininas em maratonas. Os autores apresentam que o aumento de  $10 \text{ Kgmj}^3$  de  $PM_{10}$  diminui o desempenho em atletas femininas em 1,4% e que o mesmo efeito não foi observado em atletas masculinos. O esforço subjetivo também pode ser afetado pelo depósito de tóxicos no trato respiratório, dificultando aspectos da realização e preparação de programas de treinamentos.

Por mais que o exercício físico tenha uma grande relevância como promotor da saúde e qualidade de vida do praticante, é imprescindível atentar-se as possíveis diferenças entre homens e mulheres quando se exercitam em ambientes poluídos para evitar possíveis efeitos adversos em decorrência da poluição suspensa na atmosfera em formato de MP. Por mais que pressupostos teóricos apontem uma maior sensibilidade das mulheres aos poluentes, ainda é

escasso o número de investigações que conseguiram demonstrar tal efeito, principalmente em contextos não competitivos.

### 2.3 BICICLETA COMO MEIO DE TRANSPORTE

A Federação Europeia de Ciclismo, compilou um estudo sobre o uso da bicicleta no contexto europeu demonstrando que o andar de bicicleta é extremamente íntimo com questões econômicas, climáticas, de saúde e sociais. O maior emprego do uso da bicicleta como meio de transporte em centros urbanos promove uma série de mudanças na cidade em si (EUROPEAN CYCLISTS FEDERATION, 2018)

Todos esses tópicos se interligam, já que fazem parte de uma estrutura maior do que a opção político-social de usar a bicicleta como modal de transporte (SOUZA, 2021). A emissão de gases nocivos ao ser humano e ao meio ambiente, assim como a de partículas tóxicas, pode ser reduzida. O uso de bicicleta na União Europeia (EU) ao longo de um ano economiza 16 milhões de toneladas de equivalentes de CO<sub>2</sub>, quantidade análoga ao que a Croácia emite por ano. Influenciando positivamente na redução de um indicador que é associado com 400 000 mortes ao ano na EU. O ciclismo por si só é apontado como um redutor de mortalidade e morbidade da população, evitando por ano 18 440 mortes e prevenindo e amenizando doenças como: câncer, diabetes, alzheimer e hipertensão, gerando economia ao sistema público de saúde (EUROPEAN CYCLISTS FEDERATION, 2018)

O principal fator que estimula o uso da bicicleta como meio de transporte em ambiente urbano é a estrutura física que a cidade apresenta (HANDY, 2020; MÖLENBERG et al., 2019; VALENZUELA, 2022). As instituições governamentais e suas parcerias privadas tem forte resistência a incentivar o uso de bicicleta, em especial nos países de baixa media-renda (MATTIOLI et al., 2020; SOUZA, 2021), mesmo com o já conhecido benefício da pratica de atividade física para a saúde da população e a associação positiva entre o uso de bicicleta e a preservação do meio ambiente e de bem estar coletivo, impulsionada pela redução de poluentes oriundos da combustão de combustíveis fósseis e a redução da poluição sonora (HANDY, 2020; ZHAO et al., 2020). Um estudo realizado em 2005 na cidade Estado Unidense de Lincoln, no estado de Nebraska, apontou que a cada US\$ 1,00 investido em estrutura física para o uso da bicicleta retorna US\$ 2,94 em benefício direto a saúde (WANG et al., 2005). No mesmo ano de 2005 foi estimado que 44 789 Estado-Unidenses morrerem por não ter acesso a plano de saúde



em um país em que não existe sistema de saúde pública (WILPER et al., 2009). Para o Brasil, esse investimento em infraestrutura cicloviária seria um retorno aos próprios cofres públicos, economizando gastos em ambientes intra-hospitalares e ambulatoriais do Sistema Único de Saúde e potencializando a atenção primária (VASCONCELOS et al., 2021). A infraestrutura fomentada a partir de um planejamento de cidade pró-carro e a falta de políticas públicas que ofereçam uma campanha de conscientização e valorização voltada a meios de transportes alternativos aos automotores, é ditada por um lobby econômico que compreende as empresas do petróleo, vidro, aço e as indústria automotiva em si, que retroalimentam o mercado das multinacionais (MATTIOLI et al., 2020). Em contra partida o uso da bicicleta é visto por 85% dos representantes dos distritos Londrinos como um fomentador da economia local, pela facilidade de acesso dos clientes aos comércios (ALDRED; SHARKEY, 2018). Proporcionando, também uma reorganização imparcial das formas de uso do espaço da cidade e democratizando o acesso e as oportunidades que a cidade oferece (SOUZA, 2021).

No Brasil, um estudo realizado em 10 cidades, em diferentes regiões do país, apontou a infraestrutura como a principal razão que estimula as pessoas a pedalar, com 55,6% das respostas, seguido por segurança no trânsito, com 26,8%. No total, mais de 82% dos participantes da pesquisa relacionam a estrutura física e sinalização com estímulos para pedalar, uma vez que a segurança no trânsito está fortemente ligada a infraestrutura cicloviária. Quando perguntado em relação ao destino, 75,4% utilizam para ir ao trabalho e 15,4% para faculdade/escola, 63,6% apontaram também que utilizam a bicicleta para Social/Lazer e 50,6% para Compras. O tempo de trajeto é majoritariamente menor que 45 minutos, contemplando 82,6% dos participantes, a faixa com maior incidência de uso é de 15 a 30 minutos, com 38,9%. Em relação a renda, 59,4% dos participantes da pesquisa recebem entre 0 e 3 salários mínimos. A faixa etária que mais pedala são adultos de 20 a 29 anos (28,3%), seguidos de perto por adultos de 30 a 39 anos (24,7%). Por fim, 46,4% dos participantes aviam ensino médio completo (“Pesquisa Nacional Perfil Ciclista 2021”, 2021).

Observando o uso de bicicleta e o sexo dos praticantes, um estudo que buscou avaliar a qualidade da rede cicloviária e o perfil dos praticantes em Florianópolis, no Estado de Santa Catarina aponta que em 2020 existe um predomínio de homens adultos utilizando os 54km de ciclovia que existem na cidade. A quantidade de mulheres nesse espaço varia entre 21,5% nas ciclovias de qualidade de uso “Insuficiente”, 24,1% nas ciclovias de qualidade “Suficiente” e 26,9% nas ciclovias consideradas “Boa/Ótima”. A capital catarinense apresenta 49,3% da sua malha cicloviária com qualidade “Suficiente” para prática e 37,4% em condições “Boa”, porém,

segmentada de forma irregular pela cidade. O nível de intensidade predominante na prática foi no domínio “Moderado” (VALENZUELA, 2022).

Os estudos no Brasil a respeito do deslocamento de bicicleta mostram que faltam investimentos para viabilizar o uso de bicicleta como modal de transporte, apesar de já serem utilizadas para tal fim, mas ainda não atingem por igual todas as faixas etárias. a qualidade da estrutura física da malha cicloviária e a falta de segurança no trânsito são fatores de constrangimento a prática, que uma vez incentivada pode trazer muitos benefícios a população e a cidade.

O uso de bicicletas é uma realidade nas grandes cidades do brasil do mundo. Seu incentivo pode ser benéfico para diferentes níveis organizacionais do ser humano, assim como para o planeta em si. Porém o uso de bicicleta em ambientes poluídos traz efeitos adversos para seus praticantes, podendo acometer de intensidades diferentes homens e mulheres exigindo cuidado ao ser recomendado como estratégia de promoção de saúde e de qualidade de vida.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa teve delineamento experimental, e de natureza básica uma vez que se baseia na comparação de variáveis obtidas por meio de modelagem matemática. Quanto a abordagem do problema, a pesquisa caracteriza-se como quantitativa e em relação aos objetivos é uma pesquisa explicativa (GIL, 2009), que estima a deposição de MP nos distintos níveis do trato respiratório de homens e mulheres, as divisões e os componentes de cada nível são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Regiões do trato respiratório

<b>Região</b>	<b>Composição</b>
<b>Extratorácica (ET)</b>	Nariz Anterior, Fossas Nasais Posteriores, Laringe, Faringe e Boca.
<b>Brônquica (BB)</b>	Traqueia e Brônquios
<b>Bronquiolar (bb)</b>	Bronquíolos e Bronquíolos Terminais
<b>Alvéolo-intersticial (AI)</b>	Bronquíolos Respiratórios, Ductos e Sacos Alveolares Com Seus Alvéolos e o Tecido Conjuntivo Intersticial

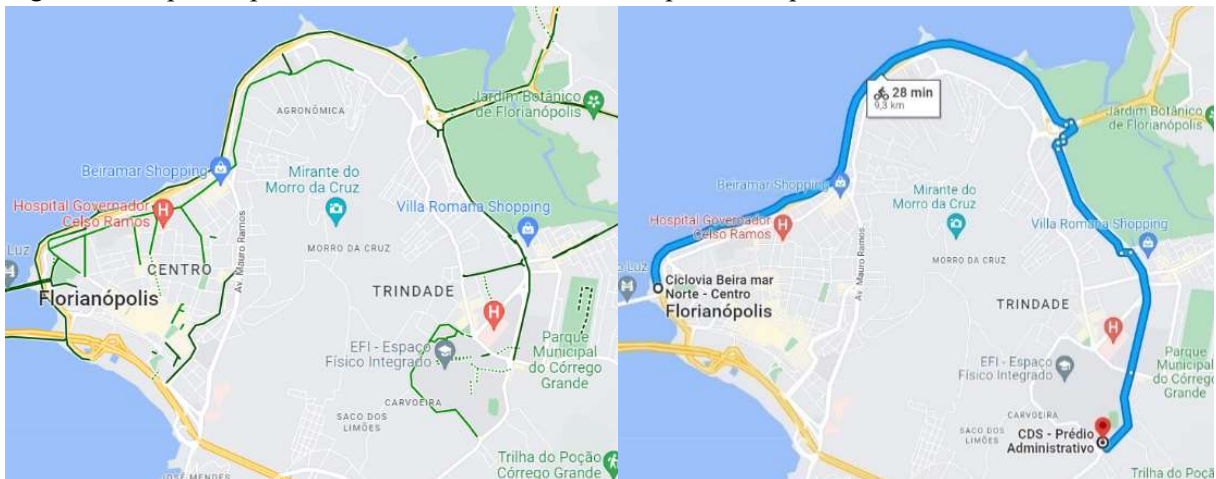
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

#### 3.2 LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada em Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina, situado na região sul do Brasil. A cidade de 674,844 km<sup>2</sup>, é dividida pelo mar, tendo 2,73% de seu território ligado ao continente e 97,23 % de área insular. Segundo estimativa do IBGE, a população de Florianópolis é de 516.524 habitantes, com densidade demográfica de 765,40 hab/km. Para o desenvolvimento da pesquisa, foi selecionado um trecho de ciclovia na região central da cidade que recebe um grande número de frequentadores, que utilizam do espaço com fins de deslocamento, treinamento e/ou recreativo. Essa ciclovia acompanha a Avenida Beiramar Norte, situada no bairro Centro, onde aproximadamente 112 850 veículos percorrem seus 5,91 quilômetros todos os dias (FERNANDES, 2014), sendo que a frota doméstica da cidade é de 380 139 veículos (DETRAN, 2022). Localizada entre o Elevado do SIC e o aterro da Prainha, essa avenida contorna os bairros Centro e Agrônômica e comporta moradias de alto padrão,

comércio e serviços, como clínicas, academias e restaurantes. O percurso total do presente trabalho compreendeu 9,3 quilômetros, partindo da cabeceira da ponte Hercílio Luz, até o bloco administrativo no Centro de Desportos (CDS), que está localizado na R. Dep. Antônio Edu segundo a plataforma *GoogleMaps* é de aproximadamente 30 minutos, variando ao longo do dia de acordo com o fluxo de pessoas e tempo de semáforos.

Figura 1 - Mapas do percurso utilizado como referência para o tempo de deslocamento.



Fonte: Google Maps (2022).

A mesma plataforma mostra a estrutura cicloviária da região. Observando a figura tal, é possível visualizar que apenas um curto trecho não apresenta espaço próprio para o uso de bicicleta como meio de transporte. Essa etapa do percurso tem 1 km e compreende a 10,75% do trajeto total.

Essa região, além de abrigar a prática de ciclismo como meio de transporte, também abriga uma ampla gama de práticas de exercício físico ao ar livre, como por exemplo corrida de rua, ciclismo, skateboard e canoagem. Esses esportes também estariam expostos a situações análogas aos praticantes de ciclismo como modal de transporte pela proximidade ao trânsito de veículos automotores.

### 3.3 DELINEAMENTO DE ESTUDO

O método de modelagem matemática foi estabelecido através de um relatório da Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) e aplicado assim como em estudos anteriores (CRUZ et al., 2021a; NYHAN; MCNABOLA; MISSTEAR, 2014). O ICRP preconiza que seu modelo possa explicar: limiares para doses recebidas por membros

individuais da população; prever montante de ingestão; quantificar a influência do tabagismo, poluição atmosférica e doenças do trato respiratório e por fim, ser igualmente aplicável para radiação do ar, como para partículas (ICRP, 1994). As variáveis foram geradas aleatoriamente de acordo com o Método de Monte Carlo, que foi formalizado em 1949, por meio do artigo intitulado “Monte Carlo Method”, publicado por John Von Neumann e Stanislaw Ulam nos EEUU, a partir de intervalos predefinidos. Foi utilizado o programa *spyder 4.2.1 para windows 11* onde foi aplicada uma rotina em linguagem *python 3.10*, responsável por gerar os valores aleatórios e por aplicar as fórmulas pertinentes aos objetivos da pesquisa. O computador utilizado para gerar os dados da pesquisa foi um *Dell G5 5590* com: *Windows 11 Pro x64*, processador *Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz*, 16,0 GB de RAM Instalada e placa de vídeo *GEFORCE GTX 1660ti 2GB*.

### 3.3.1 Ventilação Minuto

Os valores de VE foram baseados no artigo (ZUURBIER et al., 2009), que encontrou o intervalo de 11,6 a 47,7 e 11,7 a 29,5  $Lmin^{-1}$  para mulheres e homens, respectivamente. No estudo citado, uma amostra de 34 participantes de ambos os sexos retornou dados de VE a partir do deslocamento de bicicleta como meio de transporte. Com o intervalo definido, foram gerados 10 000 valores aleatórios para homens e mulheres, como mostra a figura 2.

Figura 2 - Código usado para a geração aleatória de valores para VE feminina e masculina

```
#intervalo feminino
maxf = 47.7
minf = 11.7
#intervalo masculino
max = 29.5
min = 11.6
#random Ve male and female
vef = np.random.rand(10000)*(maxf - minf) + minf
ve = np.random.rand(10000)*(max - min) + min
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

### 3.3.2 Concentração de MP<sub>2,5</sub>

Através da plataforma *Plume Labs* que possui informações online de poluentes de todas as regiões do planeta, foi selecionado o intervalo utilizado na modelagem matemática.

Foi observado quais níveis de qualidade apareciam no relatório anual e selecionado seus limites superiores para servirem de parâmetros (imagem abaixo). Ao longo do último ano, foi constatado níveis “Excelente”, “Razoável” e “Ruim”, variando de 10 a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Figura 3 - Código usado para a geração aleatória de valores para concentração de MP<sub>2,5</sub>

```
# -----Concentration data-----
MPmin = 10
MPmax = 50
conc = np.random.rand(10000)*(MPmax - MPmin) + MPmax
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

### 3.3.3 Velocidade do Vento

A Velocidade do Vento (VV) foi avaliada através do sítio *Windy.APP*, plataforma que alimenta banco de dados com valores desde 2012. Em 2021, os valores ficaram entre 0 a 10 nós com picos isolados superando esse intervalo. Os valores que superaram 10 m/s foram 20% dos dias dos meses, em todos os 12 meses de 2021, desse modo, foi optado pelo intervalo mais regular, levando em conta que as condições de ventos mais intensos costumam acompanhado de condição de chuva, desestimulando a prática da modalidade estudada.

Figura 4 - Código usado para a geração aleatória de valores para VV

```
# -----Wind speed-----
uref = np.random.rand(10000)*(10 - 0) + 0
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

### 3.3.4 Altura e Idade

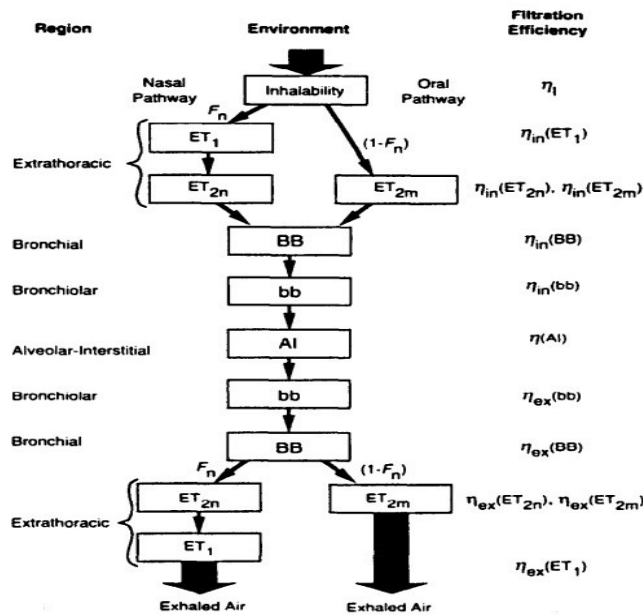
A altura masculina foi baseada na média de amostra do artigo (CRUZ et al., 2021b), e a média feminina foi retirada do (BEIDLEMAN et al., 1999). Essas variáveis foram tomadas como fixas, sem a geração de valores aleatórios. A idade também seguiu a linha utilizada pela altura e foi fixada em 30 anos. Segundo (VALENZUELA, 2022) a faixa etária mais presente nas ciclovias da cidade de Florianópolis são adultos e a escolha do valor seguiu uma pesquisa anterior que também utilizou de modelagem matemática para quantificar a deposição de MP<sub>2,5</sub> no trato respiratório em relação a diferentes demandas de exercício (CRUZ et al., 2021a).

### 3.3.5 Equações

As equações retiradas da publicação *Human Respiratory Tract Model For Radiological Protection* (ICRP, 1994) possibilitaram quantificar o quanto ficou depositado em cada nível do trato respiratório do  $MP_{2.5}$  inalado. A rotina para o modelo matemático foi baseado no utilizado no artigo *Exercising under particulate matter exposure: Providing theoretical support for lung deposition and its relationship with COVID-19* (CRUZ et al., 2021a) com algumas alterações para se adaptar aos objetivos do presente trabalho, realizada pelo autor do mesmo. Foi utilizada a linguagem *Python 3.10* através da ferramenta de programação *spyder 4.2.1*.

O fluxograma presente na figura TAL representa cada um dos estágios que foram descritos em equações utilizadas para a modelagem.

Figura 5 - Fluxograma do caminho do ar durante a inspiração e expiração



Fonte: (ICRP, 1994)

Antes da entrada de dados nas equações dos estágios é preciso definir uma série de valores que descrevem capacidades específicas, como o Volume Morto (VM) e a Capacidade Funcional Residual CFR, Volume Inalado ( $V_i$ ) e eficiência e pré-filtragem, como na figura abaixo

Figura 6 - Códigos já com valores para a modelagem matemática referente a capacidade do VM e a CFR

```
# -----Lung dead spaces -----
vdBB = 49*10**(-3) # Liters
vdBBf = 40*10**(-3) # Liters

vdbb = 47*10**(-3) # Liters
vdbbf = 44*10**(-3) # Liters

vdET = 50*10**(-3) # Liters
vdETf = 40*10**(-3) # Liters

# -----FRC - functional residual capacity -----
age = 30 # person age
H = 1.74 # Male height
frc = 2.34*H +0.009*age -1.09 # functional residual capacity MALE
frcf = 2.24*H +0.001*age -1 #

# Time forrconduction of airrthrough the trachea and bronchi
tb = (vdBB/ve)*(1 + 0.5*vTMod/frc)
# Time forrconduction of airrthrough bronchioles
tb = (vdBB/ve)*(1 + 0.5*vTMod/frc)
# Time forrconduction of airrthrough alveolar-interstitial
tA = (vTMod-vdET - (vdBB + vdbb)*(1+vTMod/frc))/ve
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na figura 7, vemos o  $V_i$ , denominada de “qPmod” e a correção de eficiência da pré-filtragem, “efp”.

Figura 7 - Entrada de  $V_i$  e Pré-filtro

```
# -----Lung deposition-----
# intake from the environment
# Moderate
qPmod = (conc*ve/1000)*dtMod
qPmodf = (conc*vef/1000)*dtMod

# Efficiency
# Prefiltration
efp = 1 - 0.5*(1-(7.6*10**(-4)*(daero**2.8)+1)**(-1)) +\
10**(-5)*uref**(2.75)*np.exp(0.055*daero)
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A partir desse momento ocorre a entrada de fato no organismo, começando pelo inalado e deposição no nariz (ET1), como mostra a figura 8.



Figura 8 - Inalação e Estágio 1 - ET1

```

# "inhalability" orrintake efficiency
ef0 = (1-efp)
remStg0 = (qPmod)*ef0
qStg1_nose = qPmod*fModNose - remStg0 # Effective pollutant

#++++++ Nose deposition - Stage 1
# Aerodynamic
a = 3*10**(-4)
p=1
sf = 1
rr= ve*fModNose*(daero**(2))*sf**3
ef1Aero = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Thermodynamic
a = 18
p=1/2
sf = 1
rr= D*(ve*fModNose)**(-1/4)
ef1Thermo = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Final deposition
ef1_nose = (ef1Aero**2 + ef1Thermo**2)**(1/2)
remStg1_nose = qStg1_nose*ef1_nose
qStg2_nose = qStg1_nose - remStg1_nose

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os valores que sobrepassam ao primeiro estágio de deposição atingem um segundo estágio ainda na narina, denominado de ET2<sub>Nasal</sub> e apresentado na figura 9, junto aos poluentes que adentram ao sistema respiratório pela boca, denominado de ET2<sub>Oral</sub>.

Figura 9 - Estágio 2 - ET2<sub>Nasal</sub> e ET2<sub>Oral</sub>

```

#++++++ Nose deposition - Stage 2
# Aerodynamic
a = 5.5*10**(-5)
p=1.17
sf = 1
rr= ve*fModNose*(daero**(2))*sf**3
ef2Aero = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Thermodynamic
a = 15.1
p=0.538
sf = 1
rr= D*(ve*fModNose)**(-1/4)
ef2Thermo = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Final deposition
ef2_nose = (ef2Aero**2 + ef2Thermo**2)**(1/2)
remStg2_nose = qStg2_nose*ef2_nose
qStg3_nose = qStg2_nose - remStg2_nose

#++++++ Mouth deposition - Stage 2
# Aerodynamic
a = 1.1*10**(-4)
p=1.4
sf = 1
rr= (daero**2)*((ve*sf**3)**0.6)*(vTMod*sf**2)**(-0.2)
ef2Aero = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Thermodynamic
a = 9
p=1/2
sf = 1
rr= D*(ve*sf)**(-1/4)
ef2Thermo = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Final deposition
ef2_mouth = (ef2Aero**2 + ef2Thermo**2)**(1/2)
qStg2_mouth = qPmod*(1-fModNose) - remStg0
remStg2_mouth = qStg2_mouth*ef2_mouth
qStg3_mouth = qStg2_mouth - remStg2_mouth
qStg3 = qStg3_mouth + qStg3_nose

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Após passar por ET2<sub>Nasal</sub> e ET2 boca o montante inalado passa para a região da Traqueia e Brônquios (BB), no terceiro estágio, como mostra a figura 10.

Figura 10 - Estágio 3 - BB e Estágio 4 bb

```

##### deposition - Stage 3
# Aerodynamic
a = 4.08*10**(-6)
p=1.152
sf = 1
rr= ve*fModNose*(daero**(2))*sf**2.3
ef3Aero = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Thermodynamic
p=0.6391
sf = 1
phi = 1 + 100*np.exp(-(np.log10(100+10/(dth**0.9)))**2)
a = 22.02*(sf**(1.24))*phi
rr= D*tb
ef3Thermo = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Final deposition
ef3 = (ef3Aero**2 + ef3Thermo**2)**(1/2)
remStg3 = qStg3*ef3
qStg4 = qStg3 - remStg3

##### deposition - Stage 4
# Aerodynamic
a = 0.1147
p=1.173
sf = 1
rr= (0.056+(tb**1.5))*daero*tb**(-0.25)
ef4Aero = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Thermodynamic
p=0.5676
sf = 1
a = -76.8 + 167*sf**0.65
rr= D*tb
ef4Thermo = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Final deposition
ef4 = (ef4Aero**2 + ef4Thermo**2)**(1/2)
remStg4 = qStg4*ef4
qStg5 = qStg4 - remStg4

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O quarto estágio compreende a região já no interior do pulmão acessando alguns Brônquios e Bronquíolos não respiratório (bb), como vemos na figura 10 acima. Na sequencia o quinto e ultimo estágio, apresentado na figura 11, compreende os bronquíolos respiratórios, e os ductos e sacos alveolares (AI), região do pulmão onde ocorre a permuta gasosa.

Figura 11 - Estágio 5 - AI e Estágio 6 bb (saída)

```

##### deposition - Stage 5
# Aerodynamic
sf = 1
a = 0.146*sf**0.98
p=0.6495
rr= (daero**2)*tA
ef5Aero = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Thermodynamic
p=0.6101
sf = 1
a = 170 + 103*sf**2.13
rr= D*tA
ef5Thermo = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Final deposition
ef5 = (ef5Aero**2 + ef5Thermo**2)**(1/2)
remStg5 = qStg5*ef5
qStg6 = qStg5 - remStg5

##### deposition - Stage 6
# Aerodynamic
sf = 1
a = 0.1147
p=1.173
rr= (0.056 + tb**1.5)*daero*tb**(-0.25)
ef6Aero = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Thermodynamic
p=0.5676
sf = 1
a = -78.8 + 167*sf**0.65
rr= D*tb
ef6Thermo = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Final deposition
ef6 = (ef6Aero**2 + ef6Thermo**2)**(1/2)
remStg6 = qStg6*ef6
qStg7 = qStg6 - remStg6

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O caminho inverso também é quantificado, já que o ar atravessa os mesmos filtros para retornar a atmosfera, no estágio seis, representado na figura 11 acima. O sétimo e oitavo estágio que são o retorno do ar pelo BB e ET<sub>2</sub>Nasal, como mostra a figura 12.

Figura 12 - Estágio 7 – BB (saída) e Estágio 8 - ET2Nasal (saída)

```

##### Nose deposition - Stage 7
# Aerodynamic
a = 2.04*10**(-6)
p=1.152
sf = 1
rr= ve*(daero**(2))*sf**2.3
ef7Aero = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Thermodynamic
p=0.6391
sf = 1
phi = 1 + 100*np.exp(-(np.log10(100+10/(dth**0.9))))**2)
a = 22.02*(sf**(1.24))*phi
rr= D*tB
ef7Thermo = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Final deposition
ef7 = (ef7Aero**2 + ef7Thermo**2)**(1/2)
remStg7 = qStg7*ef7
qStg8 = qStg7 - remStg7

##### Nose deposition - Stage 8
# Aerodynamic
a = 5.5*10**(-5)
p=1.17
sf = 1
rr= ve*fModNose*(daero**(2))*sf**3
ef8Aero = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Thermodynamic
a = 15.1
p=0.538
sf = 1
rr= D*(ve*fModNose)**(-1/4)
ef8Thermo = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Final deposition
ef8_nose = (ef8Aero**2 + ef8Thermo**2)**(1/2)
remStg8_nose = fModNose*qStg8*ef8_nose
qStg9_nose = fModNose*qStg8 - remStg8_nose

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

e por fim, o ET2<sub>Oral</sub> e o nono estágio, que quantifica a passagem final pela narina na região ET1, pode ser observado na figura 13.

Figura 13 - Estágio 8 - ET2Oral (saída) e Estágio 9 - ET1(saída)

```

##### Mouth deposition - Stage 8
# Aerodynamic
a = 1.1*10**(-4)
p=1.4
sf = 1
rr= (daero**2)*((ve*sf**3)**0.6)*(vTMod*sf**2)**(-0.2)
ef2Aero = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Thermodynamic
a = 9
p=1/2
sf = 1
rr= D*(ve*sf)**(-1/4)
ef2Thermo = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Final deposition
ef8_mouth = (ef2Aero**2 + ef2Thermo**2)**(1/2)
remStg8_mouth = qStg8*(1-fModNose)*ef8_mouth
qStg9_mouth = qStg8*(1-fModNose) - remStg8_mouth

##### Nose deposition - Stage 9
# Aerodynamic
a = 3*10**(-4)
p=1
sf = 1
rr= ve*fModNose*(daero**(2))*sf**3
ef9Aero = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Thermodynamic
a = 18
p=1/2
sf = 1
rr= D*(ve*fModNose)**(-1/4)
ef9Thermo = 1-np.exp(-(a*rr)**(p))
# Final deposition
ef9_nose = (ef9Aero**2 + ef9Thermo**2)**(1/2)
remStg9_nose = qStg9_nose*ef9_nose
qStg9OUT = qStg9_nose - remStg9_nose + qStg9_mouth

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram apresentados como média e desvio padrão e nos materiais suplementares os valores de intervalo de confiança 95%, mínimos e máximos de cada uma das variáveis investigadas. Para comparar as variáveis concentração de MP<sub>2,5</sub>, velocidade do vento, VE e deposição total entre homens e mulheres o teste T independente foi realizado. Para comparar a deposição nos diferentes níveis do trato respiratório de homens e mulheres uma análise de variância ANOVA com dois caminhos foi realizada (sexo vs nível de deposição). Quando necessário, o *post hoc* de Tukey foi realizado para identificar as diferenças estatisticamente significativas. O tamanho do efeito ETA<sup>2</sup> ( $\eta^2$ ) foi descrito para a ANOVA, sendo classificado como: pequeno 0,01 – 0,05, médio 0,06 – 0,13 médio, e grande > 0,14. O programa estatístico Statistica (versão 13.0, StataSoft Inc., Tulsa, OK, USA) foi utilizado para análises, com nível de significância de  $p < 0,05$ .

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ORGANIZAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS

Os resultados foram apresentados para dois cenários distintos, no primeiro, foi considerado a VE observada em estudo prévio, conduzido por (ZUURBIER et al., 2009). Como houve diferença significativa para a VE de homens e mulheres, um segundo cenário foi considerado. Nesse, uma nova rodada de estimativas da deposição de MP foi conduzida, porém, com o mesmo intervalo de VE para homens e mulheres ( $30,0 - 40 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ), portanto sem diferença estatisticamente significativa entre os sexos.

### 4.2 CENÁRIO 1

A tabela 1 apresenta os dados referentes ao ambiente, VE e deposição total para homens e mulheres. Após geração dos dados via modelagem matemática, comparando homens e mulheres, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ) para as variáveis concentração do  $\text{MP}_{2,5}$  ( $p = 0,82$ ) e velocidade do vento ( $p = 0,79$ ). É importante notar que, em média, a concentração de  $\text{MP}_{2,5}$  do presente trabalho ficou acima do que é recomendado pela Organização Mundial de Saúde para exposição diária anual ( $\sim 30,0$  vs  $15,0 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ). Para a VE e a deposição total de  $\text{MP}_{2,5}$  foram observados valores superiores para elas, sendo que, em média, a deposição foi 6,7% maior para mulheres.

**Tabela 2** - Variáveis ambientais, ventilação e deposição total de  $\text{MP}_{2,5}$  para o cenário 1

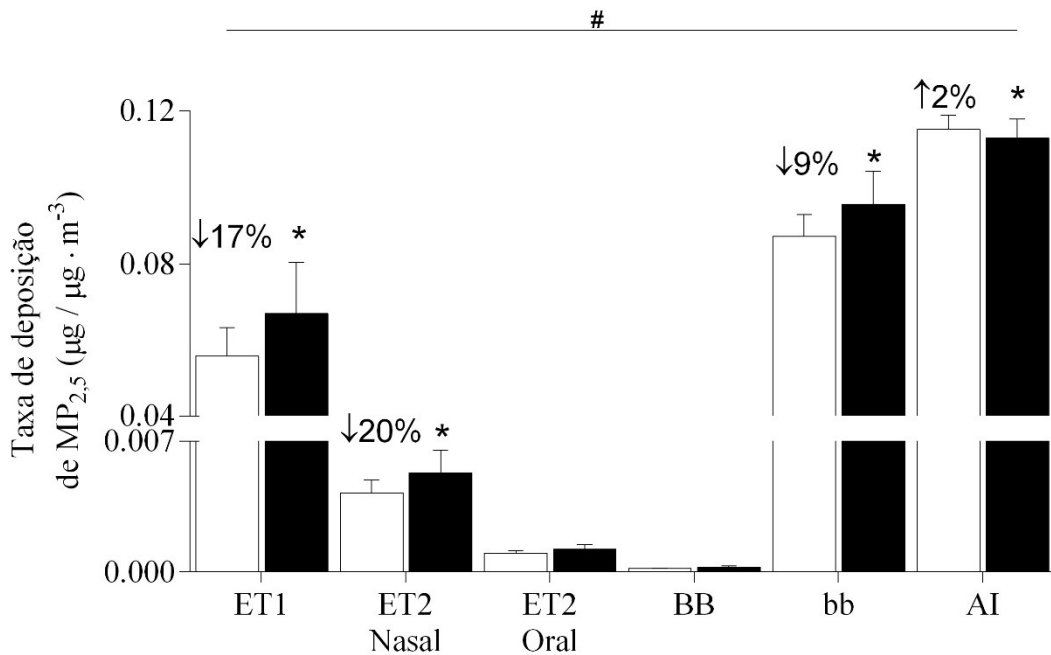
Variáveis	Homens	Mulheres	<i>p</i>
	Média ± DP	Média ± DP	
<b><math>\text{MP}_{2,5}</math> (<math>\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}</math>)</b>	30,11 ± 11,58	30,07 ± 11,62	NS
<b>Vento (<math>\text{m}\cdot\text{seg}^{-1}</math>)</b>	5,03 ± 2,87	5,02 ± 2,87	NS
<b>VE (<math>\text{L}\cdot\text{min}^{-1}</math>)</b>	20,68 ± 5,16	29,66 ± 10,35	< 0,01
<b>Deposição total (<math>\mu\text{g} / \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}</math>)</b>	0,2636 ± 0,0107	0,2824 ± 0,0188	< 0,01

Dados apresentados como média e desvio padrão. *p* valor para comparação de médias (teste t independente). NS = não significativa ( $p > 0,05$ ).  $\text{MP}_{2,5}$ : Material particulado de 2,5 $\mu$ . VE: Ventilação minuto.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A figura 1 apresenta os valores de deposição (média  $\pm$  DP) em cada um dos seis níveis do trato respiratório, para homens e mulheres. A ANOVA realizada indicou interação estatisticamente significativa ( $F_{(5, 49)} = 4797,8; p < 0,001; \eta^2 = 0,32$ ), ou seja, de acordo com o sexo há diferença na deposição do  $MP_{2,5}$  nos níveis do trato respiratório. Os testes *post hoc* de Tuckey indicaram que nos dois primeiros e nos dois últimos níveis houve diferenças estatisticamente significativas entre os sexos. Sendo que, apenas no nível AI a deposição das mulheres não foi superior à dos homens. Ao analisar a deposição exclusivamente para homens ou para mulheres, foram observadas diferenças estatisticamente significativas na entre todos os níveis.

Figura 14 - Taxa de deposição de Material Particulado 2,5 em cada nível do trato respiratório de homens ( $\square$ ) e mulheres ( $\blacksquare$ ) no cenário 1.



#Diferença significativa entre os níveis para homens e para mulheres. \*Diferença significativa dos homens. ↓Menor ou ↑Maior % de deposição

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### 4.3 CENÁRIO 2

Para o cenário 2 os intervalos de  $MP_{2,5}$  e velocidade do vento foram mantidos e também não houve diferença comparando os sexos ( $p = 0,54$  e  $0,65$ , respectivamente).

Considerando o mesmo intervalo de VE para homens e mulheres ( $30,0 - 40 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ), não foram observadas diferenças estatisticamente significativas ( $p = 0,73$ ). Ao comparar a deposição total, novamente houve maior valor para elas ( $p < 0,001$ ), todavia, com variação de  $\sim 0,6\%$ . No cenário 1, a deposição total para elas havia sido  $6,7\%$  maior. A tabela 2 descreve média e  $\pm$  DP dessas variáveis.

**Tabela 3** - Variáveis ambientais, ventilação e deposição total de MP<sub>2,5</sub> para o cenário 2

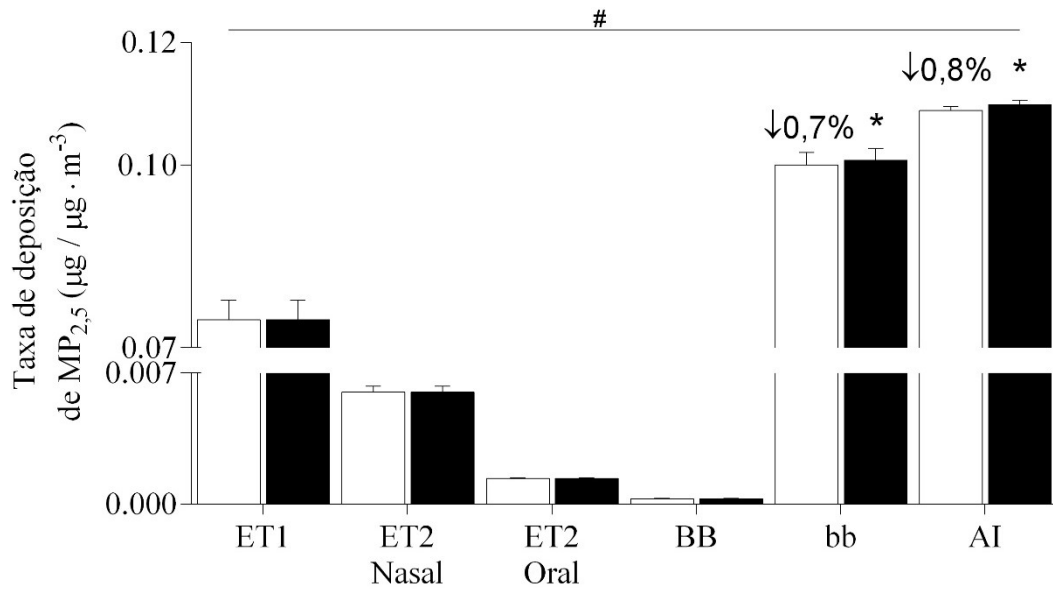
	<b>Homens</b>	<b>Mulheres</b>	<b><i>p</i></b>
	Média $\pm$ DP	Média $\pm$ DP	
<b>MP<sub>2,5</sub> (<math>\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}</math>)</b>	30,05 $\pm$ 11,59	29,95 $\pm$ 11,56	NS
<b>Vento (<math>\text{m}\cdot\text{seg}^{-1}</math>)</b>	5,00 $\pm$ 2,87	4,98 $\pm$ 2,88	NS
<b>VE (<math>\text{L}\cdot\text{min}^{-1}</math>)</b>	35,01 $\pm$ 2,9	35,02 $\pm$ 2,87	NS
<b>Deposição total (<math>\mu\text{g} / \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}</math>)</b>	0,2912 $\pm$ 0,0051	0,2929 $\pm$ 0,0049	< 0,01

Dados apresentados como média e desvio padrão. *p* valor para comparação de médias (teste t independente). NS = não significativa ( $p > 0,05$ ). MP<sub>2,5</sub>: Material particulado de  $2,5\mu$ . VE: Ventilação minuto.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Apesar da menor diferença proporcional na deposição total para homens e mulheres no cenário 2, ao considerar a deposição nos seis níveis do trato respiratório foi observada interação estatisticamente significativa ( $F_{(5, 49)} = 403,9$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,04$ ). Os testes *post hoc* de Tuckey indicaram diferenças entre os sexos apenas nos dois últimos níveis, sendo que para os homens há  $0,7$  e  $0,8\%$  menos deposição nos níveis bb e AI do que para mulheres, respectivamente. Ao comparar exclusivamente a deposição nos diferentes níveis para homens ou para mulheres, há diferenças para todos os níveis. Nessa última, é interessante notar as maiores taxas de deposição são observadas nos dois primeiros e nos dois últimos níveis de homens e mulheres (figura 2).

Figura 15 - Taxa de deposição de Material Particulado 2,5 em cada nível do trato respiratório de homens (□) e mulheres (■) para o cenário 2.



#Diferença significativa entre os níveis para homens e para mulheres. \*Diferença significativa dos homens. ↓Menor % de deposição do que para mulheres.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

## 5 DISCUSSÃO

Os principais achados do presente trabalho foram que em condições mais próximas a realidade de uso da bicicleta como meio de transporte em grandes centros urbanos há maior deposição total de MP<sub>2,5</sub> para elas do que para eles (+ 6,7%). Essa maior deposição é atribuída por uma maior VE das mulheres ao se deslocar de bicicleta como meio de transporte. E independente do sexo, nota-se que nos níveis superior e inferior há maior deposição das partículas (ET1, ET2<sub>nasal</sub> e bb, AI, respectivamente). Curiosamente, quando os intervalos de VE foram os mesmos para homens e mulheres, a deposição total para elas permaneceu ligeiramente maior (+ 0,6%), apesar de ter demonstrado. Em conjunto, os resultados suportam a premissa de que haveria maior deposição de partículas para mulheres, porém, percebeu-se que a taxa de deposição sofre influência importante da VE. A prática de atividade física em ambiente poluído com MP<sub>2,5</sub> deve ser cuidadosamente sistematizada, com objetivo de potencializar os efeitos positivos à saúde do praticante, uma vez que as partículas de diâmetros menor a 2,5 microns podem atingir os níveis mais profundos do trato respiratório.

### 5.1 CICLISMO COMO MEIO DE TRANSPORTE EM CENTRO URBANO

A Educação Física, assim como outras áreas de estudo da saúde, vem utilizando da mudança de comportamento como uma forte estratégia para diminuir o sedentarismo e iniciar e manter a prática de atividade e exercício físico. A utilização da bicicleta como meio de transporte no dia a dia no lugar do deslocamento em veículos, poderia ajudar ao indivíduo a atingir as recomendações da ACSM, que preconiza a realização de 30 minutos de atividades físicas moderadas ou intensas por cinco dias na semana (GARBER et al., 2011). O deslocamento de 30 minutos de exercício foi justamente o abordado no presente trabalho, equivalendo aproximadamente 9,3 quilômetros, segundo a plataforma *Google Maps*. A prática de atividade física pode trazer uma série de benefícios para a saúde, prevenindo e/ou controlando doenças cardiorrespiratórias, musculoesqueléticas e psíquicas (GARBER et al., 2011). A redução do sedentarismo e de comorbidades da população podem levar a uma série de economias ao sistema de saúde pública, com a redução de procedimentos de alto custo (VASCONCELOS et al., 2021). A economia gerada pela prática de ciclismo como modal de transporte vai muito além do âmbito da saúde. A não utilização de combustíveis fósseis faz da



bicicleta um meio de transporte barato, com baixo custo de manutenção de equipamentos e de estrutura para uso. Além da viabilidade econômica também proporciona diminuição dos congestionamentos na estrutura rodoviária e da poluição sonora e do meio ambiente (EUROPEAN CYCLISTS FEDERATION, 2018)

A atmosfera dos centros urbanos estão em constante contaminação dos subprodutos da ação humana, o  $MP_{2,5}$  é um desses subprodutos e é amplamente estudado quando relacionado a exposição durante a prática de atividade física (COLE-HUNTER; MORAWSKA; SOLOMON, 2015; CRUZ et al., 2021a, 2021b; GILES; KOEHLE, 2014; MORICI et al., 2020). A OMS preconiza que os níveis diários de  $MP_{2,5}$  devam ser  $< 15 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021), fato poucas vezes observados na cidade de São Paulo, centro urbano mais populoso do Brasil, mesmo com a classificação “boa” sendo encontrada em 86,75% dos dias do ano de 2021, já que esta classificação aceita valores superiores aos  $15\mu\text{g cm}^{-3}$  tomados como ideais para OMS, desde que sejam  $<25\mu\text{g cm}^{-3}$ . Nos outros 13,75% dos dias a cidade de São Paulo teve sua média diária atingindo valores máximos que a CETESB considera “Muito Ruim” ( $>75 - 125\mu\text{g cm}^{-3}$ ) e “péssimo” ( $>125\mu\text{g cm}^{-3}$ ).

Além da média diária é importante ressaltar que o valor diário pode sofrer alteração de acordo com o tráfego, assim tendo meio intensidade nos horários com maior trânsito de veículos automotores. Ao menos 37% do  $MP_{2,5}$  na cidade de São Paulo é oriundo da queima de combustíveis em automóveis e 5% em decorrência de resuspensão, que ocorre com a ação mecânica dos mesmos. A combustão de biomassa é um fator pouco expressivo na capital paulista, com apenas 7%. Em regiões como a do bioma cerrado e bioma amazônico as concentrações de  $MP_{2,5}$  chegam a milhões de toneladas por ano potencializados pela expansão da fronteira agrícola (MATAVELI et al., 2018). Em Florianópolis os valores de MP também sofrem forte influência do trânsito de veículos, tornando os espaços próximo a vias movimentadas com concentrações que superam os valores considerados ideais pela OMS e chegando a picos próximos a  $50\mu\text{g cm}^{-3}$ . Essas variações corroboram com uma pesquisa realizada em Campos Novos, que ao medir a concentração por três meses em uma via movimentada encontrou oscilações entre 10 a  $80\mu\text{g cm}^{-3}$ . Essa concentração aumentada em relação ao padrão estabelecido pela OMS e os picos encontrados próximos a vias movimentadas faz necessário o entendimento da deposição de partículas no trato respiratório, já que as calçadas e ciclovias acompanham as vias destinadas a veículos automotores.

Em síntese, além da bicicleta ser um potencial agente promotor positivo para índices relacionados à saúde humana (e. g. controle da composição corporal, saúde cardiovascular,

metabólica e estresse mental), ela pode ainda contribuir para redução da emissão de poluentes, com destaque especial para o  $MP_{2,5}$ . De forma controversa, as pessoas que tendem a contribuir menos para a baixa qualidade do ar, tendem a ser as que mais sofrem com os malefícios causadas poluição do ar. E paradoxalmente, os efeitos positivos do exercício físico, usando a bicicleta como meio de transporte - talvez - sejam mitigados pela poluição atmosférica. Uma vez que quanto maior a VE, maiores devem ser os índices de deposição do MP.

## 5.2 DEPOSIÇÃO DE PARTÍCULAS NO TRATO RESPIRATÓRIO EM HOMENS E MULHERES

Com o aumento da intensidade do esforço físico o corpo se adapta alterando a frequência respiratória e transitando de uma ventilação predominantemente nasal, para uma ventilação nasal e oral, aumentando o VE e assim suprindo a demanda necessária para o exercício. Esse aumento de ar levado aos pulmões amplifica a exposição a poluição atmosférica, incluindo a exposição ao  $MP_{2,5}$ . Como observado na tabela 1, que representa o cenário 1, a VE das mulheres foi significativamente superior à dos homens ( $p < 0,01$ ). De forma intuitiva leva a pensar que as mulheres terão valores maiores de deposição que os homens e que serão mais expostas a poluição, por estarem entrando em contato com um maior fluxo de ar poluído. De fato, foi observado uma maior deposição total no trato respiratório feminino (6,7%,  $p < 0,01$ ).

É importante considerar que o cenário 1 foi baseado em estudo prévio com homens e mulheres, que reportou os valores de VE ao se usar a bicicleta como meio de transporte (ZUURBIER et al., 2009). Todavia, a diferença estatisticamente significativa da VE, não é possível afirmar que, de fato, a deposição no trato respiratório femininos seja maior ou menor. Por isso um segundo cenário foi montado equiparando os valores de VE, dando as mulheres e aos homens o mesmo intervalo, como observado na tabela 3. Nessa situação foi observado, também, diferença estatisticamente significativa entre os valores de deposição total, com as mulheres, também, depositando mais do que os homens (0,6% maior,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2$  pequena). Porém, desta vez a magnitude da diferença não foi tão pronunciada (6,7% vs 0,6%). Considerando que os valores de VE do presente estudo foram gerados a partir de 10 000 dados, assumimos que o tamanho amostral potencializou a diferença estatística observada. E de fato,

os estudos desse campo de investigação não tendem a ter amostras dessa proporção. Por exemplo, ZUURBIER et al. (2009) considerou 34 pessoas (24 homens e 10 mulheres).

Ao considerar os diferentes níveis do trato respiratório, ET1 e ET2<sub>Nasal</sub>, existe uma maior deposição de partículas para elas, 17 e 22%, respectivamente. Os seguintes dois níveis, ET2<sub>Oral</sub> e BB não apresentam diferenças significativas para deposição de MP<sub>2,5</sub>, e apresentam baixos níveis de deposição, indicando que são pontos anatômicos de baixa eficiência de filtração. Nos últimos dois níveis é novamente observado diferença entre os sexos, com 9% a mais de partículas depositadas no bb feminino em relação ao masculino. Curiosamente, no AI há 2% menos deposição para elas do que para eles, mesmo com a VE superior das mulheres, o que pode indicar uma particularidade fisiológica do último nível trato respiratório, principalmente se comparado ao cenário 2, onde as mulheres tiveram uma deposição maior (+0,8%) sem diferença estatística entre a VE para os sexos. Os dois últimos níveis, para homens e mulheres, foram os que mais depositaram partículas (comparativamente aos demais,  $p < 0,01$ ). Em acordo com o pressuposto teórico, tem sido assumido que a deposição das partículas pode estimular uma ação oxidativa no trato respiratório, causadora de reações inflamatórias no sistema vascular através de vias enzimáticas (BOURDREL et al., 2017) (em especial nesses dois níveis), ao mesmo tempo não reter as partículas até a parte inferior do trato pode ter ações ainda mais nocivas à saúde humana (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006). Tem sido indicado que as partículas com diâmetro igual ou inferior a 2,5 $\mu$ m podem chegar até a corrente sanguínea, assim, as eventuais respostas negativas seriam ainda mais potencializadas, aumentando o risco associado a infarto do miocárdio, acidente vascular cerebral, arritmia e insuficiência cardíaca (BROOK et al., 2010).

Para o cenário 2 é possível observar que somente os dois níveis mais profundos (bb e AI) apresentaram diferença entre as deposições de 0,7 e 0,8%, respectivamente. Ambos com maior deposição no trato respiratório feminino. Esse cenário ajuda a visualizar que a VE é determinante para a variação das partículas dentro dos níveis mais profundos do trato respiratório. Ao considerar os dois cenários observados é possível afirmar que a VE tem influência no nível e na quantidade de deposição, uma vez que os valores se aproximaram em todos os níveis passando a apresentar diferença estatística em dois níveis, em vez de quatro como no cenário 1. Importante ressaltar que no cenário 1 não houve diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,01$ ) para MP<sub>2,5</sub> e para Velocidade do Vento, fato que se repetiu no cenário 2, que teve ainda os valores de VE de homens e mulheres também não apresentando diferença estatística.

As diferentes concentrações de poluente depositada no cenário 1, mostram que com um valor de VE superior, elas depositam mais poluentes do que eles, menos quando observado os poluentes que atingem o nível mais profundo do trato respiratório, AI, onde as mulheres acabam sofrendo menor deposição de poluentes. Essa descoberta pode estar relacionada com a predisposição das mulheres a sofrer de forma mais acentuada com a poluição atmosférica. O AI compreende os bronquíolos respiratórios e dutos e sacos alveolares, região onde de fato ocorre a respiração. Quando usado o mesmo intervalo para VE de homens e mulheres, vemos que a deposição nas regiões da via aérea superior do trato respiratório masculino apresenta concentrações similares que no feminino de  $MP_{2,5}$ . Nesse caso somente as regiões profundas (bb e AI) apresentaram diferença e em ambos com homens depositando menos  $MP_{2,5}$ . Isso indica que a VE é determinante para o como as partículas se aprofundam no trato respiratório de homens e mulheres.

A simulação matemática mostrou de fato uma maior deposição no trato respiratório feminino em situações mais próximas da realidade, como foi apresentado no cenário 1. Mesmo com essa diferença homens e mulheres são afetados pelo  $MP_{2,5}$  que atinge os níveis bb e AI. A atividade física ainda deve ser igualmente estimulada para ambos os sexos, porém é indicado buscar estratégias para otimizar os benefícios a saúde, como evitar a prática próximo a regiões de grande fluxo de veículos. As estratégias que podem ser adotadas pelos profissionais da área de educação física devem passar a configurar os guias nacionais e internacionais de exercício, servindo de conscientização e de posicionamento dos próprios profissionais perante a constante presença de poluentes na atmosfera. Com o objetivo de buscar melhor saúde e qualidade de vida ao praticante.

Por fim, o estudo apresenta algumas limitações que são pertinentes e devem ser levadas em consideração. Apesar de usar estudos prévios para extrair intervalos de variáveis deve-se tomar cuidado ao extrapolar para diferentes tipos de poluentes, mesmo sendo MP de diferentes tamanhos, como por exemplo  $MP_{1,0}$  e  $MP_{10}$ . Cada poluente precisaria de um tratamento de dado e entrada específica a rotina de simulação. Também é preciso tomar cuidado ao considerar diferentes demandas de exercício, por mais que este trabalho de conclusão de curso tenha indicado que a VE seja determinante para o como o  $MP_{2,5}$  afetará o trato respiratório e que intervalos de VE sejam já conhecidos para exercícios de demanda leve e vigorosa, pois a oralação da ventilação precisaria, também, ser levada em conta. Os aspectos fisiológicos da amostra também devem ser observados, já que a rotina conta com entradas fixas de altura e

idade, o que influencia também na fisiologia do trato respiratório. Para ambos os apontamentos uma simulação específica para cada situação deve ser realizada. As eventuais respostas fisiológicas negativas que as mulheres poderiam perceber em diferente magnitude do que homens precisam ser testada, por isso a presente investigação se ateve a quantificar e verificar as possíveis diferenças da deposição para eles e para elas. Assim, a intenção foi apresentar subsídio teórico para compreender como o sexo e a região anatômica do trato respiratório influenciam na deposição de  $MP_{2,5}$ , servindo como parâmetro para futuros estudos experimentais.

## 6 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Nesse TCC, foi apresentada a deposição de partículas no trato respiratório de homens e mulheres durante a prática de ciclismo como modal de transporte em ambiente urbano poluído através de uma modelagem matemática. Ao usar a bicicleta como modal de transporte, em um cenário de poluição atmosférica, a deposição de  $MP_{2,5}$  foi maior para as mulheres (6,7%). Em cenário de equidade de VE, as mulheres ainda depositaram mais que homens (0,6%), apesar de ter diminuído drasticamente a diferença. A VE tem papel essencial na quantidade de  $MP_{2,5}$  depositada no trato ventilatório de homens e mulheres. O resultado com relação a deposição total também é observado ao analisar os diferentes níveis do trato respiratório, destacando que há maior deposição nos níveis bronquiolar (bb) e alvéolo-intersticial (AI), e mais uma vez, maiores taxas de deposição são observadas para elas. No cenário 1 foi observada diferença em 4 dos 6 níveis do trato respiratório (ET1, ET2<sub>Nasal</sub>, bb e AI,  $p < 0,01$ ), enquanto no cenário 2 foi observado em 2 níveis (bb e AI,  $p < 0,01$ ). Os níveis que apresentaram menor deposição foram ET2<sub>Oral</sub> e BB, que em ambos os cenários não apresentaram diferença significativa de deposição entre os mulheres e homens.

Em perspectiva, seria importante que estudos experimentais que viessem a coletar, principalmente, VE, VV e concentração de poluentes aproximando os dados da realidade, seriam relevantes para atestar a confiabilidade desta simulação matemática e servir de parâmetro para eventuais novas investigações. Os efeitos da poluição durante o exercício físico e como ela interfere no organismo precisam ser investigados para servir de embasamento não só para discutir protocolos de treinamento, mas o que é necessário a uma cidade. Existe a necessidade de políticas públicas voltadas aos meios alternativos de transporte, em especial destinada aqueles que se deslocam de bicicleta, fugindo da cruel gentileza de reservar espaços a margem de vias movimentadas para seus adeptos, que sofrem do paradoxo de serem os que menos poluem e os mais afetados pela poluição de outrem.

## REFERÊNCIAS

ALDRED, R.; SHARKEY, R. **Healthy Streets: a Business View**. Londres, UK: [s.n.]. Disponível em: <<https://tfl.gov.uk/corporate/about-tfl/how-we-work/planning-for-the-future/healthy-streets>>. Acesso em: 19 nov. 2022.

BEIDLEMAN, B. A. et al. Exercise V<sup>o</sup> E and physical performance at altitude are not affected by menstrual cycle phase. **Journal of Applied Physiology**, v. 86, n. 5, p. 1519–1526, 1 maio 1999.

BOURDREL, T. et al. Cardiovascular effects of air pollution. **Archives of Cardiovascular Diseases**, v. 110, n. 11, p. 634–642, nov. 2017.

BROOK, R. D. et al. Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease: An Update to the Scientific Statement From the American Heart Association. **Circulation**, v. 121, n. 21, p. 2331–2378, jun. 2010.

COLE-HUNTER, T.; MORAWSKA, L.; SOLOMON, C. Bicycle Commuting and Exposure to Air Pollution: A Questionnaire-Based Investigation of Perceptions, Symptoms, and Risk Management Strategies. **Journal of Physical Activity and Health**, v. 12, n. 4, p. 490–499, abr. 2015.

CRUZ, R. et al. Estimation of minute ventilation by heart rate for field exercise studies. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1423, dez. 2020.

CRUZ, R. et al. Exercising under particulate matter exposure: Providing theoretical support for lung deposition and its relationship with COVID-19. **Environmental Research**, v. 202, p. 111755, nov. 2021a.

CRUZ, R. et al. Traffic-related air pollution and endurance exercise: Characterizing non-targeted serum metabolomics profiling. **Environmental Pollution**, v. 291, p. 118204, dez. 2021b.

CUTRUFELLO, P. T.; SMOLIGA, J. M.; RUNDELL, K. W. Small Things Make a Big Difference: Particulate Matter and Exercise. **Sports Medicine**, v. 42, n. 12, p. 1041–1058, dez. 2012.

DETRAN. **Veículos em Circulação em Santa Catarina (Quantidade por Município)**. DETRAN Santa Catarina, 4 jun. 2022. Disponível em: <<https://www.detran.sc.gov.br/transparencia/estatisticas/veiculos-2/>>. Acesso em: 4 jun. 2022

EUROPEAN CYCLISTS FEDERATION. **The benefits of cycling: Unlocking their potential for Europe**. EFC, , dez. 2018. Disponível em: <<https://ecf.com/resources/cycling-facts-and-figures>>. Acesso em: 19 nov. 2022

FERNANDES, M. C. **Estimativa das Emissões Veiculares para CO, HC e NOx na Avenida Beira Mar Norte em Florianópolis/SC**. TCC—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

- GARBER, C. E. et al. Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory, Musculoskeletal, and Neuromotor Fitness in Apparently Healthy Adults: Guidance for Prescribing Exercise. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 43, n. 7, p. 1334–1359, jul. 2011.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- GILES, L. V.; KOEHLE, M. S. The Health Effects of Exercising in Air Pollution. **Sports Medicine**, v. 44, n. 2, p. 223–249, fev. 2014.
- GUENETTE, J. A. et al. Respiratory mechanics during exercise in endurance-trained men and women: Respiratory mechanics. **The Journal of Physiology**, v. 581, n. 3, p. 1309–1322, 15 jun. 2007.
- HANDY, S. Making US cities pedestrian- and bicycle-friendly. Em: **Transportation, Land Use, and Environmental Planning**. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 169–187.
- ICRP. **Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection**. [s.l.] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, 1994.
- JANSE DE JONGE, X. A. K. et al. Exercise Performance over the Menstrual Cycle in Temperate and Hot, Humid Conditions. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 44, n. 11, p. 2190–2198, nov. 2012.
- KILBRIDE, E. et al. Do gender differences exist in the ventilatory response to progressive exercise in males and females of average fitness? **European Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 6, p. 595–602, 1 ago. 2003.
- LEITÃO, M. B. et al. Posicionamento oficial da Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte: atividade física e saúde na mulher. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 6, n. 6, p. 215–220, dez. 2000.
- LIANG, D. et al. Errors associated with the use of roadside monitoring in the estimation of acute traffic pollutant-related health effects. **Environmental Research**, v. 165, p. 210–219, ago. 2018.
- LOPES, R. B.; BRITO, R. R.; PEREIRA, V. F. Padrão Respiratório durante o exercício - revisão literária. **Padrão Respiratório durante o exercício - revisão literária**, v. 13, n. 2, p. 153–160, 2005.
- MARR, L. C.; ELY, M. R. Effect of Air Pollution on Marathon Running Performance. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 42, n. 3, p. 585–591, mar. 2010.
- MATAVELI, G. A. V. et al. Modelagem da Contribuição do Cerrado sobre as Emissões Brasileiras de Material Particulado Fino (PM<sub>2,5</sub> µm) Associadas à Queima de Biomassa. **Geography Department University of Sao Paulo**, p. 118–128, 9 set. 2018.
- MATTIOLI, G. et al. The political economy of car dependence: A systems of provision approach. **Energy Research & Social Science**, v. 66, p. 101486, ago. 2020.



MÖLENBERG, F. J. M. et al. A systematic review of the effect of infrastructural interventions to promote cycling: strengthening causal inference from observational data. **International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity**, v. 16, n. 1, p. 93, dez. 2019.

MORICI, G. et al. Respiratory Effects of Exposure to Traffic-Related Air Pollutants During Exercise. **Frontiers in Public Health**, v. 8, p. 575137, 11 dez. 2020.

NYHAN, M.; MCNABOLA, A.; MISSTEAR, B. Comparison of particulate matter dose and acute heart rate variability response in cyclists, pedestrians, bus and train passengers. **Science of The Total Environment**, v. 468–469, p. 821–831, jan. 2014.

PASQUA, L. A. et al. Exercising in the urban center: Inflammatory and cardiovascular effects of prolonged exercise under air pollution. **Chemosphere**, v. 254, p. 126817, set. 2020.

**Pesquisa Nacional Perfil Ciclista 2021**. . [s.l.] Transporte Ativo e LABMOB-UFRJ, 2021.

PRADO, R. C. R. DO. **Respostas psicofisiológicas nas fases do ciclo menstrual combinado a diferentes intensidades de exercício aeróbio**. Mestrado em Atividade Física, Saúde e Lazer—São Paulo: Universidade de São Paulo, 6 mar. 2020.

PRADO, R. C. R. et al. The effect of menstrual cycle and exercise intensity on psychological and physiological responses in healthy eumenorrheic women. **Physiology & Behavior**, v. 232, p. 113290, abr. 2021.

REDMAN, L. M.; SCROOP, G. C.; NORMAN, R. J. Impact of menstrual cycle phase on the exercise status of young, sedentary women. **European Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 5–6, p. 505–513, 1 nov. 2003.

RIBEIRO, C. B.; RODELLA, F. H. C.; HOINASKI, L. Regulating light-duty vehicle emissions: an overview of US, EU, China and Brazil programs and its effect on air quality. **Clean Technologies and Environmental Policy**, 20 nov. 2021.

SANTOS, F. S. DOS et al. Avaliação da influência das condições meteorológicas na concentração de material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>) em Belo Horizonte, MG. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 371–381, abr. 2019.

SILVA, A. S.; ZANESCO, A. Exercício físico, receptores β-adrenérgicos e resposta vascular. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 9, n. 2, p. 47–56, jun. 2010.

SMEKAL, G. et al. Menstrual Cycle: No Effect on Exercise Cardiorespiratory Variables or Blood Lactate Concentration. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 39, n. 7, p. 1098–1106, jul. 2007.

SOUZA, E. R. DE. **Rebocadores urbanos e capitalismo de plataforma: ensaio sobre a entrega por bicicleta em São Paulo**. Doutorado em Estudos Socioculturais e Comportamentais da Educação Física e Esporte—São Paulo: Universidade de São Paulo, 17 dez. 2021.

TORNERO-AGUILERA, J. F. et al. Central and Peripheral Fatigue in Physical Exercise Explained: A Narrative Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 7, p. 3909, 25 mar. 2022.

VALENZUELA, A. L. E. M. **Análise da qualidade das ciclovias e sua relação no uso de bicicleta em Florianópolis**. Dissertação—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, maio 2022.

VASCONCELOS, E. H. S. et al. Efeito sistêmico da Coordenação em Medicina Preventiva no Sistema de Saúde: uma revisão de literatura / Systemic effect of Coordination in Preventive Medicine in the Health System: a literature review. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 80225–80246, 12 ago. 2021.

WANG, G. et al. A Cost-Benefit Analysis of Physical Activity Using Bike/Pedestrian Trails. **Health Promotion Practice**, v. 6, n. 2, p. 174–179, abr. 2005.

WILPER, A. P. et al. Health Insurance and Mortality in US Adults. **American Journal of Public Health**, v. 99, n. 12, p. 2289–2295, dez. 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (ED.). **Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide**. Copenhagen, Denmark: World Health Organization, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide**. Geneva: World Health Organization, 2021.

ZHAO, X. et al. Evaluation of sustainable transport research in 2000–2019. **Journal of Cleaner Production**, v. 256, p. 120404, maio 2020.

ZUURBIER, M. et al. Minute ventilation of cyclists, car and bus passengers: an experimental study. **Environmental Health**, v. 8, n. 1, p. 48, dez. 2009.

## APÊNDICE A – ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Tabela 4 – Dados gerais cenário 1.

	Homens						Mulheres					
	Media	± dp	-IC95%	+IC95%	min	max	Media	± dp	-IC95%	+IC95%	min	max
<b>MP<sub>2,5</sub> (µg·cm<sup>-3</sup>)</b>	30,1089	11,5758	29,8820	30,3358	10,0003	49,9988	30,0709	11,6194	29,8431	30,2987	10,0057	49,9972
<b>Vento (m·seg<sup>-1</sup>)</b>	5,0284	2,8708	4,9721	5,0847	0,0003	9,9997	5,0175	2,8742	4,9611	5,0738	0,0004	9,9993
<b>VE (L·min<sup>-1</sup>)</b>	20,6825	5,1572	20,5814	20,7835	11,6001	29,4997	29,6562	10,3534	29,4532	29,8591	11,7024	47,6977
<b>Deposição total (µg /µg·cm<sup>-3</sup>)</b>	0,2636	0,0107	0,2634	0,2638	0,2447	0,2813	0,2824	0,0188	0,2821	0,2828	0,2486	0,3130

Média ± desvio padrão. IC95%: Intervalo de confiança de 95%. Mín e máx: valores mínimo e máximo.

Tabela 5 – Dados de deposição cenário 1.

Deposição (µg /µg·cm <sup>-3</sup> )	Homens						Mulheres					
	Media	± dp	-IC95%	+IC95%	min	max	Media	± dp	-IC95%	+IC95%	min	max
<b>ET1</b>	0,0557	0,0077	0,0555	0,0558	0,0410	0,0681	0,0671	0,0133	0,0669	0,0674	0,0412	0,0882
<b>ET2n</b>	0,0042	0,0007	0,0042	0,0043	0,0030	0,0054	0,0053	0,0012	0,0053	0,0053	0,0030	0,0073
<b>ET2m</b>	0,0010	0,0001	0,0010	0,0010	0,0008	0,0012	0,0012	0,0002	0,0012	0,0012	0,0008	0,0016
<b>BB</b>	0,0002	0,0000	0,0002	0,0002	0,0001	0,0003	0,0003	0,0001	0,0003	0,0003	0,0001	0,0004
<b>bb</b>	0,0873	0,0058	0,0871	0,0874	0,0756	0,0960	0,0956	0,0087	0,0954	0,0957	0,0767	0,1081
<b>AI</b>	0,1152	0,0038	0,1151	0,1152	0,1103	0,1242	0,1130	0,0049	0,1129	0,1131	0,1074	0,1267

Média ± desvio padrão. IC95%: Intervalo de confiança de 95%. Mín e máx: valores mínimo e máximo.

Tabela 6 - Dados gerais cenário 2.

	<b>Homens</b>						<b>Mulheres</b>					
	Media	± dp	-IC95%	+IC95%	min	max	Media	± dp	-IC95%	+IC95%	min	max
<b>MP<sub>2,5</sub> (µg·cm<sup>-3</sup>)</b>	30,0528	11,5943	29,8255	30,2800	10,0071	49,9990	29,9519	10,0089	29,7253	30,1784	10,0089	49,9994
<b>Vento (m·seg<sup>-1</sup>)</b>	5,0018	2,8709	4,9455	5,0581	0,0006	9,9993	4,9834	0,0006	4,9269	5,0399	0,0006	9,9993
<b>VE (L·min<sup>-1</sup>)</b>	35,0099	2,8966	34,9531	35,0666	30,0005	39,9996	35,0240	30,0005	34,9678	35,0802	30,0005	39,9968
<b>Deposição total (µg /µg·cm<sup>-3</sup>)</b>	0,2912	0,0051	0,2911	0,2913	0,2822	0,2997	0,2929	0,0049	0,2928	0,2930	0,2841	0,3012

Média ± desvio padrão. IC95%: Intervalo de confiança de 95%. Mín e máx: valores mínimo e máximo.

Tabela 7 – Dados de deposição cenário 2.

<b>Deposição (µg /µg·cm<sup>-3</sup>)</b>	<b>Homens</b>						<b>Mulheres</b>					
	Media	± dp	-IC95%	+IC95%	min	max	Media	± dp	-IC95%	+IC95%	min	max
<b>ET1</b>	0,0746	0,0033	0,0745	0,0746	0,0687	0,0802	0,0746	0,0033	0,0745	0,0747	0,0687	0,0802
<b>ET2n</b>	0,0060	0,0003	0,0060	0,0060	0,0054	0,0065	0,0060	0,0003	0,0060	0,0060	0,0054	0,0065
<b>ET2m</b>	0,0014	0,0001	0,0014	0,0014	0,0013	0,0015	0,0014	0,0001	0,0014	0,0014	0,0013	0,0015
<b>BB</b>	0,0003	0,0000	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0000	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
<b>Bb</b>	0,1000	0,0020	0,1000	0,1001	0,0964	0,1033	0,1008	0,0019	0,1007	0,1008	0,0972	0,1040
<b>AI</b>	0,1089	0,0007	0,1089	0,1089	0,1079	0,1102	0,1098	0,0007	0,1098	0,1099	0,1087	0,1113

Média ± desvio padrão. IC95%: Intervalo de confiança de 95%. Mín e máx: valores mínimo e máxim