

Repercussões hemodinâmicas da poluição atmosférica em diferentes tráfegos veiculares em usuários do transporte público

Hemodynamic effects of air pollution from different vehicular traffic types on public transport users

Efectos hemodinámicos de la contaminación atmosférica procedente de distintos tipos de tráfico vehicular en usuarios de transporte público

Recebido: 15/07/2025 | Revisado: 21/07/2025 | Aceitado: 21/07/2025 | Publicado: 23/07/2025

Paulo Henrique de Moura

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7077-2514>

Universidade Iguazu, Brasil

E-mail: paulohdemoura@gmail.com

Camille Rodrigues Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1541-1395>

Universidade Iguazu, Brasil

E-mail: camilleoliveira0103@gmail.com

Ramon Isidorio da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6942-2676>

Universidade Iguazu, Brasil

E-mail: isidorioramon@gmail.com

Anna Luíza Guimarães Rosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0301-1402>

Universidade Iguazu, Brasil

E-mail: luiza.anna.rosa@gmail.com

Leonardo Martins Lima

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1850-6872>

Universidade Iguazu, Brasil

E-mail: lm.martins.lima@hotmail.com

Leandro Dias Gomes de Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0649-4944>

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: paulohdemoura@gmail.com

Adalgiza Mafra Moreno

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3681-7314>

Universidade Iguazu, Brasil

E-mail: adalgizamoreno@hotmail.com

Resumo

Objetivo: Este estudo teve por objetivo analisar as correlações entre variáveis ambientais e hemodinâmicas em 20 voluntários (18-60 anos), expostos a três ambientes, sendo: dois abertos e um fechado. **Métodos:** Foram monitorados MP_{2,5}, temperatura e umidade, e comparadas as variáveis utilizando testes de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$), seguida do pós teste de Tukey e correlação de Pearson. **Resultados:** As concentrações de MP_{2,5} nos locais abertos foram 208% (Via Light) e 73% (Rua) superiores ao ambiente fechado, excedendo em 2,8 vezes o limite diário da OMS na Via Light. Correlações negativas significativas entre MP_{2,5} e SatO₂ ($R = -0,53$) e FR ($R = -0,52$) foram observadas na Via Light. A umidade correlacionou-se positivamente com SatO₂ em ambientes abertos, mais fortemente na Rua ($R^2 = 0,21$; $p = 0,04$) que na Via Light ($R^2 = 0,16$; $p = 0,07$). O MP_{2,5} influenciou negativamente SatO₂ ($R^2 = 0,28$; $p < 0,01$) e FR ($R^2 = 0,27$; $p < 0,01$) na Via Light. **Conclusão:** A exposição a poluentes em áreas de tráfego intenso durante a espera por transporte público prejudica a saúde cardiorrespiratória. Entretanto, mecanismos compensatórios e o curto tempo de exposição podem ter atenuado respostas hemodinâmicas exacerbadas, sugerindo estudos com amostras maiores e períodos prolongados para melhor compreensão dos impactos agudos.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica; Material Particulado; Repercussões Hemodinâmicas; Tráfego Veicular; Transporte Público.

Abstract

Objective: This study aimed to analyze correlations between environmental and hemodynamic variables (heart rate, blood pressure, oxygen saturation SatO₂, and respiratory rate FR) in 20 volunteers (18–60 years old) exposed to three environments: two open (Via Light and Street) and one enclosed. **Methods:** PM_{2,5}, temperature, and humidity were

monitored, and variables were compared using Kruskal-Wallis tests ($p \leq 0.05$), Tukey's post hoc test, and Pearson's correlation. PM_{2,5} concentrations in open areas were 208% (Via Light) and 73% (Street) higher than in the enclosed environment, exceeding the WHO daily limit by 2.8 times at Via Light. Results: Significant negative correlations between PM_{2,5} and SatO₂ ($R = -0.53$) and FR ($R = -0.52$) were observed at Via Light. Humidity positively correlated with SatO₂ in open environments, more strongly on the Street ($R^2 = 0.21$; $p = 0.04$) than at Via Light ($R^2 = 0.16$; $p = 0.07$). PM_{2,5} negatively influenced SatO₂ ($R^2 = 0.28$; $p < 0.01$) and FR ($R^2 = 0.27$; $p < 0.01$) at Via Light. Conclusion: Exposure to pollutants in high-traffic areas during public transport waiting times impairs cardiorespiratory health. However, compensatory mechanisms and short exposure duration may have mitigated exacerbated hemodynamic responses, highlighting the need for larger studies with extended observation periods to better understand acute impacts.

Keywords: Air Pollution; Particulate Matter; Hemodynamic Effects; Vehicular Traffic; Public Transport.

Resumen

Objetivo: Este estudio analizó correlaciones entre variables ambientales y hemodinámicas (frecuencia cardíaca, presión arterial, saturación de oxígeno SatO₂ y frecuencia respiratoria FR) en 20 voluntarios (18-60 años) expuestos a tres ambientes: dos abiertos (Vía Light y Calle) y uno cerrado. **Métodos:** Se monitorearon PM_{2,5}, temperatura y humedad. Las variables se compararon mediante pruebas de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$), post hoc de Tukey y correlación de Pearson. Las concentraciones de PM_{2,5} en áreas abiertas fueron 208% (Vía Light) y 73% (Calle) superiores al ambiente cerrado, excediendo el límite diario de la OMS en 2,8 veces en Vía Light. **Resultados:** Se observaron correlaciones negativas significativas entre PM_{2,5} y SatO₂ ($R = -0,53$) y FR ($R = -0,52$) en Vía Light. La humedad se correlacionó positivamente con SatO₂ en ambientes abiertos, más intensamente en la Calle ($R^2 = 0,21$; $p = 0,04$) que en Vía Light ($R^2 = 0,16$; $p = 0,07$). El PM_{2,5} influyó negativamente en SatO₂ ($R^2 = 0,28$; $p < 0,01$) y FR ($R^2 = 0,27$; $p < 0,01$) en Vía Light. **Conclusión:** La exposición a contaminantes en zonas de alto tráfico durante tiempos de espera del transporte público perjudica la salud cardiorrespiratoria. Sin embargo, mecanismos compensatorios y la corta duración de la exposición pudieron mitigar respuestas hemodinámicas exacerbadas, destacando la necesidad de estudios más amplios con períodos de observación extendidos para comprender mejor los impactos agudos.

Palabras clave: Contaminación del Aire; Material Particulado; Efectos Hemodinámicos; Tráfico Vehicular; Transporte Público.

1. Introdução

A exposição à poluição atmosférica de forma aguda ou crônica está relacionada a uma série de efeitos adversos à saúde, tanto a curto quanto a longo prazo, mesmo em concentrações consideradas baixas, conforme as últimas diretrizes propostas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2021 (Cosselman et al., 2020; World Health Organization, 2021).

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) define um poluente atmosférico como uma mistura heterogênea de gases, líquidos ou partículas, em concentração, e tempo em desacordo com os níveis estabelecidos tornando o ar: impróprio à saúde; sendo prejudicial às atividades normais da comunidade (CONAMA, 2018).

A poluição atmosférica em 2021 foi considerada o 2º fator de risco a nível mundial em número de mortes, sendo responsável por 8,0 milhões/ano, contribuindo em 11,9% dos óbitos por todas as causas, acumulando 235,9 milhões de anos perdidos segundo o Global Burden of Disease (GBD), (GBD, 2018). No Brasil, o percentual da contribuição de óbitos foi de 3,1% e 1,7 milhões de anos perdidos, o que faz deste fator de risco um alarmante problema saúde pública (IHME, 2024).

Uma grande parcela das emissões de poluentes do ar é produzida durante o congestionamento do tráfego por carros e transporte comercial que cresceram 63% nos últimos anos e juntos representam 84,4% da mobilidade na cidade do Rio de Janeiro (PMUS, 2018). De acordo com o relatório de 2022 da Moovit sobre transporte público o tempo médio de espera do transporte no Rio de Janeiro é de 21 minutos com tempo de deslocamento de 67 minutos (Moovit, 2022; Gonzaga & Freitas, 2020).

Dentre os poluentes com especial destaque, está o Material Particulado (MP_{2,5}), que apresenta diâmetro inferior a 2,5 micrómetros com potencial de desencadear vários problemas a saúde mesmo em baixas concentrações quando inalado para zonas pulmonares mais distais alcançando a circulação e desencadeando inflamação, disfunção endotelial, ativação de receptores sensoriais do sistema nervoso autônomo e a indução de uma resposta inflamatória pulmonar e sistêmica (Park & Kwan., 2020; Peralta, et al., 2020; Kajbafzadeh, et al., 2015).

Um forte conjunto de evidências tem ligado a moradia do indivíduo, a prática de atividade física ou tempo de permanência na espera do transporte em proximidades de estradas de grande tráfego, há um risco aumentado de adoecimento por múltiplas causas, incluindo doenças respiratórias, doenças cardíacas, neoplasias e outras (Cosselman et al., 2020; Sinharay, et al., 2018; Park, 2020).

O presente estudo expôs os participantes em diferentes ambientes abertos “outdoor” e fechados “indoor”, simulando a espera pelo transporte público, algo comum na rotina diária das pessoas que se deslocam para o trabalho, faculdade e destinos diversos. Este estudo teve por objetivo analisar as correlações entre variáveis ambientais e hemodinâmicas em 20 voluntários (18-60 anos), expostos a três ambientes, sendo: dois abertos e um fechado.

2. Metodologia

Desenho do estudo

Trata-se de um desenho de estudo com modelo quase-experimental, prospectivo e individualizado sendo uma aproximação do experimento verdadeiro, contudo, os participantes serviram de próprio controle, sendo expostos ao mesmo protocolo simulando a espera do transporte na posição sentado, em três diferentes ambientes, sendo dois deles aberto “outdoor” e um deles fechado “indoor”, enquanto suas variáveis hemodinâmicas e do ambiente foram mensuradas. O estudo quantitativo empregou estatística descritiva (média, desvio padrão, mediana, máximo, mínimo) (Shitsuka et al., 2014; Akamine & Yamamoto, 2009) e análises estatísticas (Bekman & Costa Neto, 2009), conforme metodologias estabelecidas (Pereira et al., 2018).

Participantes e ambiente do estudo

Os participantes foram 20 voluntários residentes em Nova Iguaçu, recrutados pela Universidade Iguaçu (UNIG), incluindo estudantes e funcionários da instituição, com idades entre 18 e 60 anos, de ambos os sexos, independentemente de condições médicas pré-existent e uso de medicamentos. A pesquisa contou com a assinatura do Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE).

Foram coletados individualmente dados sociodemográficos de etnia, profissão e escolaridade, dados antropométricos de peso, altura, medidas hemodinâmicas, história patológica pregressa, cirurgias, uso de medicações, história social sobre prática de atividade física e tabagismo.

As condições ambientais incluíram medidas das concentrações locais do poluente do ar $MP_{2,5}$, temperatura e umidade do ar nos três diferentes locais.

Os locais de exposição dos indivíduos para realização do protocolo ocorreram em três ambientes diferentes, sendo o primeiro em ambiente fechado “indoor” com temperatura controlada na clínica escola de fisioterapia da UNIG (-22.868414765581434, -43.20805988711515), o segundo em ambiente aberto “outdoor” numa via urbana local com baixo tráfego veicular (-22.75487661470929, -43.44123113279919) e o terceiro também em ambiente aberto “outdoor” numa via urbana no ponto de ônibus com tráfego veicular intenso (-22.757713629498024, -43.449486972167556), ambos no município de Nova Iguaçu.

Instrumentos e aplicação do protocolo

O experimento foi realizado durante 4 semanas consecutivas, com 5 indivíduos por dia, as segundas feiras, iniciando as 08:00h da manhã e finalizando as 11:30h.

O protocolo executado nos três ambientes foi o mesmo, com os indivíduos na posição sentada, durante 20 minutos com monitorização das variáveis hemodinâmicas, que incluíram: Pressão Arterial (PA) pelo medidor digital da marca

OMRON® modelo HEM 6181, a Frequência Cardíaca (FC) e a Saturação de O₂ (SatO₂) pelo oxímetro portátil de pulso marca Bioland® modelo AT101C, e contagem analógica da Frequência Respiratória (FR), no pré-teste, 5º, 10º, 15º e 20º minuto.

Durante esse período foi acoplado ao tórax do indivíduo um jaleco próximo a via inalatória (adaptado ao tronco na altura do pescoço) com o equipamento de medição de poluição do ar portátil modelo Temtop Particle que mensura as concentrações de Material Particulado (PM) e diâmetro MP_{2,5} de acordo com a concentração de poluição do ar mensurado no local (µg/m³), proporcionando uma exposição direta de elevada validade.

O protocolo foi repetido nos três diferentes ambientes, simulando a espera do transporte, para comparação das concentrações de poluição do ar que o indivíduo está exposto.

As variáveis meteorológicas de temperatura ambiental foram medidas em graus Celsius (Co), a umidade relativa do ar em porcentagem (%), ambos mensurados pelo aparelho portátil termo-higrômetro digital HTC2.

Análise estatística

Os dados sociodemográficos e as características dos indivíduos foram expressas em números absolutos e percentual. As variáveis antropométricas, hemodinâmicas e ambientais foram descritas em média, desvio padrão, intervalo de confiança e máximos e mínimos.

Os dados apresentaram distribuição não paramétrica, sendo realizada a inferência estatística comparativa pelo teste de Kruskal Wallis, com significância de $p \leq 0,05$, seguido do pós-teste de Tukey para identificação das diferenças entre as variáveis hemodinâmicas e ambientais.

Utilizou-se a correlação de Pearson entre as variáveis ambientais e hemodinâmicas e análise de regressão univariada. As análises estatísticas foram construídas pelo R studio versão 2023.09.01+494 e Jamovi versão 3.2., CEP aprovado UNIG: 65166922.7.0000.8044.

3. Resultados

A amostra foi composta por 20 indivíduos, com média de idade de 29±9,3anos, onde (11) 55% eram praticantes de alguma atividade física e nenhum deles era tabagista. O peso corporal foi a variável de maior variação (130 Kg), já que um dos indivíduos tinha história recente de cirurgia bariátrica, conforme dados descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Estatística Descritiva das variáveis antropométricas.

	Média (DP)	IC 95%	Mediana	Mínimo	Máximo
Idade	29,0 ±9,3	24,6-33,3	25,0	20,0	53,0
Peso (kg)	72,9±19,4	63,8-82,0	72,5	48,8	130,0
Altura (m)	1,67±0,1	1,63-1,70	1,68	1,54	1,80
IMC	26,0±0,5	23,4-28,5	25,1	18,2	42,9
Temp C°	36,0±0,5	35,7-36,2	36,1	35,0	36,8

IMC= índice de massa corporal; Kg= kilograma; m= metros;
Temp C°= Temperatura em graus Celsius. Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

A Tabela 2 apresenta a caracterização sociodemográfica da amostra estudada, onde observa-se discreta predominância do sexo feminino (n=11; 55%), com perfil de estudantes universitários cursando ensino superior incompleto. Dentre os participantes, ¾ não possuíam comorbidades e 65% (13) nunca realizaram procedimento cirúrgico.

Tabela 2 - Características sociodemográficas e pessoais dos indivíduos.

Sexo	Nº	%
Feminino	11	55
Masculino	9	45
Etnia		
Branco	7	35
Negro	6	30
Pardo	7	35
Profissão		
Autônomo	2	10
Estudante	10	50
Outros	8	40
Escolaridade		
Ensino superior completo	3	15
Ensino superior incompleto	16	80
Ensino médio	1	5
Comorbidades		
Pneumopatia	2	10
Cardiopatia	3	15
Não possuem	15	75
Cirurgias Prévias		
Não realizaram	13	65
Abdominal/ bariátrica/ Estética/ Uterina	5	25
Ortopédica	2	10

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A Tabela 3 descreve as variáveis ambientais e hemodinâmicas nos três diferentes locais, seguido da inferência estatística para comparações.

As variáveis hemodinâmicas apresentaram variações discretas nas médias entre os diferentes ambientes, com destaque para o ambiente fechado (UNIG), que demonstrou FC e PA mais elevados. Observou-se diferença estatisticamente significativa nas variáveis hemodinâmicas, incluindo Pressão Arterial Sistólica (PAS; $p = 0,004$), Pressão Arterial Sistólica (PAD; $p = 0,019$), (SatO₂; $p = 0,012$) e (FR; $p = 0,001$).

Os resultados demonstraram variações significativas nas variáveis ambientais, com destaque para as concentrações de MP_{2,5} nos ambientes abertos (Via *Light* e Rua). Os níveis médios registrados (42,6 µg/ m³) excederam em 2,8 vezes o limite diário recomendado pela OMS (15 µg/ m³) com picos de 85,2 µg/m³ na Via *Light*. Comparativamente, as médias de MP_{2,5} nestes locais foram 208% e 73% superiores às observadas no ambiente fechado (UNIG). Quanto às demais variáveis, os ambientes abertos apresentaram temperaturas 24% mais elevadas e umidade relativa discretamente maior em relação ao ambiente interno.

Foram observadas diferenças estatísticas ambientais no MP_{2,5} ($p < 0,001$), temperatura ($p < 0,001$) e umidade ($p = 0,004$) A análise Post Hoc revelou diferenças comparativas significativas quando os demais locais foram contrastados com a Via *Light*, destacando assim a influência climática desse ambiente nas variáveis analisadas.

Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis hemodinâmicas e ambientais em diferentes locais.

	Média(±DP)	IC 95%	Mínimo	Máximo	p valor	Testes Post Hoc		Valor p
FC_UNIG	82,9 ±9,6	78,4-87,4	69,0	102,6	0,458	FC_UNIG	FC_VLight	0,555
FC_VLight	86,3 ±10,5	81,4-91,2	70,6	106,4			FC_Rua	0,498
FC_Rua	86,6 ±10,7	81,6-91,6	72,2	108,6		FC_VLight	FC_Rua	0,995
PAS_UNIG	116,9 ±13,1	110,7-123	99,0	140,8	0,004	PAS_UNIG	PAS_VLight	0.037
PAS_VLight	113,5 ±12,2	107,7-119,2	96,2	131,0			PAS_Rua	0.013
PAS_Rua	113,1 ±12,5	107,2-119,0	95,6	134,2		PAS_VLight	PAS_Rua	0.920
PAD_UNIG	73,2 ±8,6	69,1-77,2	59,0	90,2	0,019	PAD_UNIG	PAD_VLight	0.222
PAD_VLight	70,9 ±8,9	66,8-75,1	54,0	88,6			PAD_Rua	0.048
PAD_Rua	70,0 ±7,8	66,4-73,7	56,2	85,2		PAD_VLight	PAD_Rua	0.321
SatO ₂ _UNIG	97,3 ±1,2	96,7-97,8	94,4	98,8	0,012	SatO ₂ _UNIG	SatO ₂ _VLight	0.050
SatO ₂ _VLight	97,8 ±1,0	97,3-98,3	95,4	99,0			SatO ₂ _Rua	0.055
SatO ₂ _Rua	97,7 ±0,9	97,3-98,1	96,0	99,0		SatO ₂ _VLight	SatO ₂ _Rua	0.842
FR_UNIG	18,3 ±3,3	16,7-19,8	10,4	22,0	<0,001	FR_UNIG	FR_VLight	0.919
FR_VLight	18,0 ±3,3	16,5-19,6	11,2	21,6			FR_Rua	<0.001
FR_Rua	16,6 ±2,9	15,2-17,9	9,2	21,0		FR_VLight	FR_Rua	<0.001
MP _{2,5} _UNIG	13,8 ±1,7	13-14,6	11,7	16,2	<0,001	MP _{2,5} _UNIG	MP _{2,5} _VLight	<0.001
MP _{2,5} _VLight	42,6 ±15,1	35,5-49,6	29,1	85,2			MP _{2,5} _Rua	<0.001
MP _{2,5} _Rua	23,9 ±6,4	20,9-26,9	17,5	40,4		MP _{2,5} _VLight	MP _{2,5} _Rua	<0.001
TEMP_UNIG	25,6 ±2,5	24,4-26,7	21,6	29,0	<0,001	TEMP_UNIG	TEMP_VLight	<0.001
TEMP_VLight	31,5 ±2,4	30,4-32,6	27,9	35,0			TEMP_Rua	<0.001
TEMP_Rua	31,3 ±2,6	30,1-32,5	27,5	36,6		TEMP_VLight	TEMP_Rua	0.823
UMID_UNIG	58,3 ±10,6	53,3-63,2	43,0	74,0	0,004	UMID_UNIG	UMID_VLight	0.993
UMID_VLight	58,5 ±6,3	55,5-61,5	49,0	66,0			UMID_Rua	0.046
UMID_Rua	52,4 ±3,6	50,7-54,0	46,0	57,0		UMID_VLight	UMID_Rua	<0.001

FC= Frequência Cardíaca; PAS= Pressão Arterial Sistólica, PAD= Pressão Arterial Diastólica; SatO₂= Saturação de oxigênio; FR=Frequência Respiratória; MP_{2,5}= Material Particulado 2,5; TEMP= Temperatura= UMID= Umidade; Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

As Figuras 1a a 1c tratam das correlações de Pearson entre as variáveis ambientais e hemodinâmicas na UNIG, na rua e Via *Light*. As correlações das variáveis ambientais com destaque na via *Light*, incluíram o MP_{2,5} com a SatO₂ (R= -0,53), e com a FR (R= -0,52), a correlação entre a temperatura e a PAS foi positiva na UNIG, na Via *Light* e na Rua, respectivamente (R=0,33, 0,31 e 0,27), e a umidade correlacionou-se positivamente com a FR nos três locais respectivamente (R= 0,55, 0,51 e 0,31).

Figura 1a- Matriz de correlação das variáveis ambientais e hemodinâmicas na UNIG

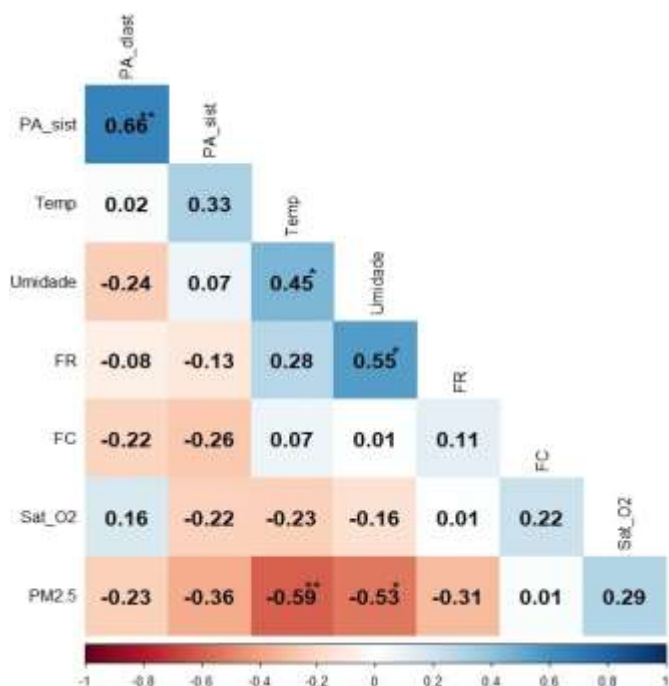


Figura 1b- Matriz de correlação das variáveis ambientais e hemodinâmicas na Rua

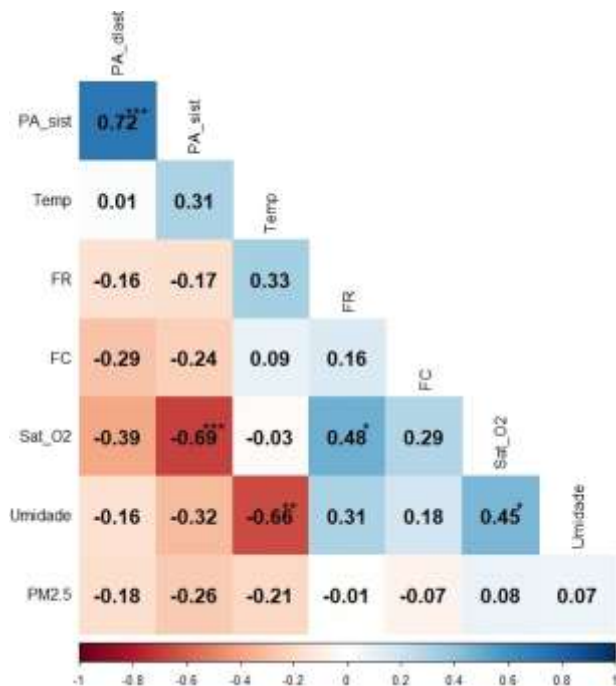
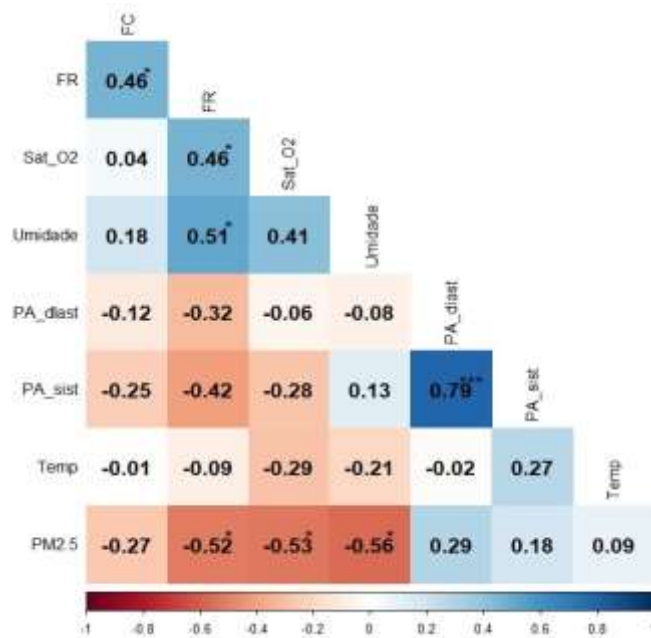


Figura 1c - Matriz de correlação das variáveis ambientais e hemodinâmicas na via Light.

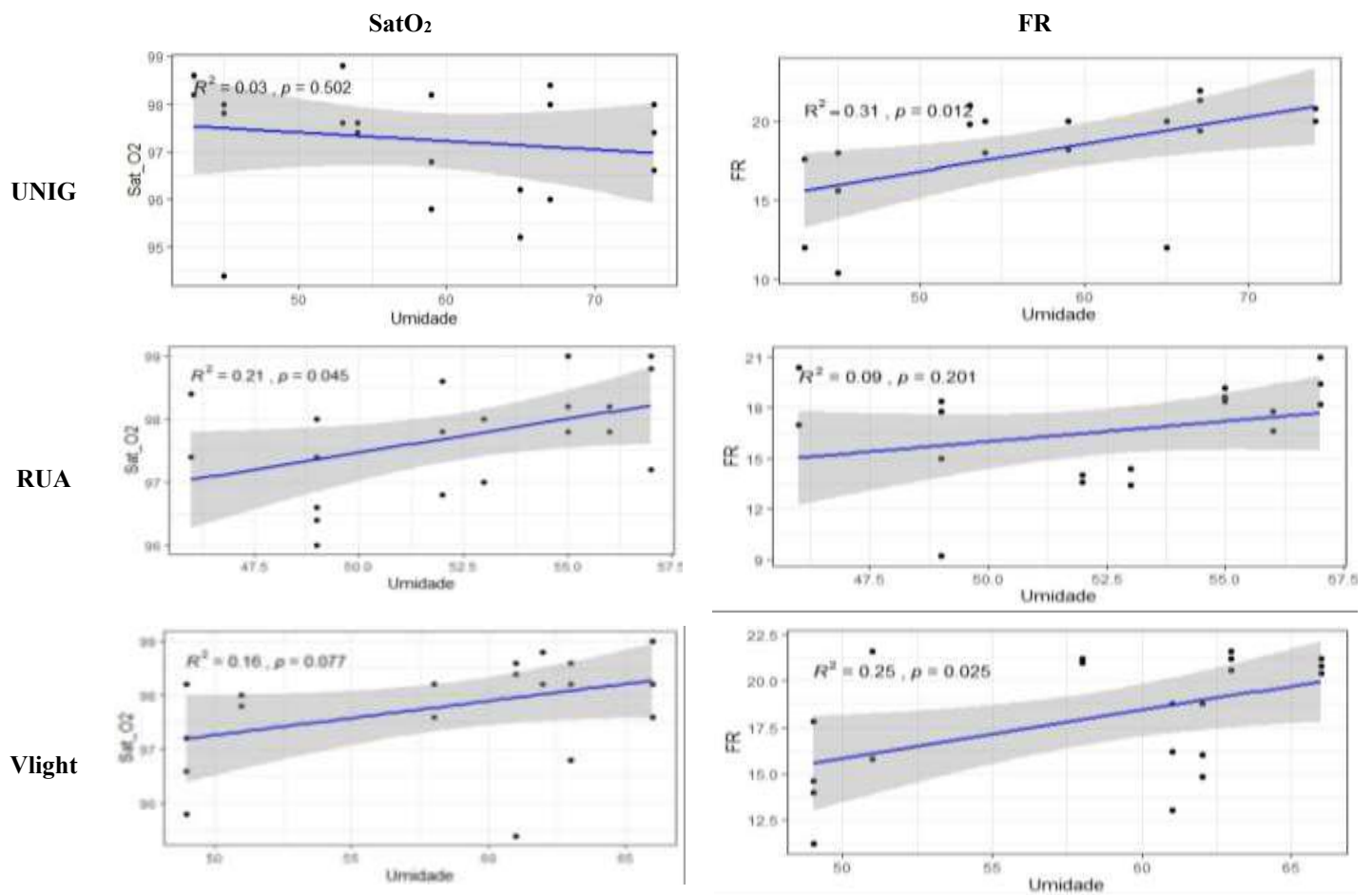


Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

Foram aplicados dois modelos de regressão univariada, nos três diferentes ambientes utilizando como variáveis preditoras a umidade do ar e o MP_{2,5}, medindo a influência sobre a SatO₂ e a FR, representadas nas Figuras 2a e 2b.

A maior influência da umidade do ar foi em ambiente aberto (Rua), com 21% de interferência na SatO₂, seguida da Via Light com 16%. Para a FR a influência da umidade foi ainda maior, influenciando em 31% de aumento na UNIG.

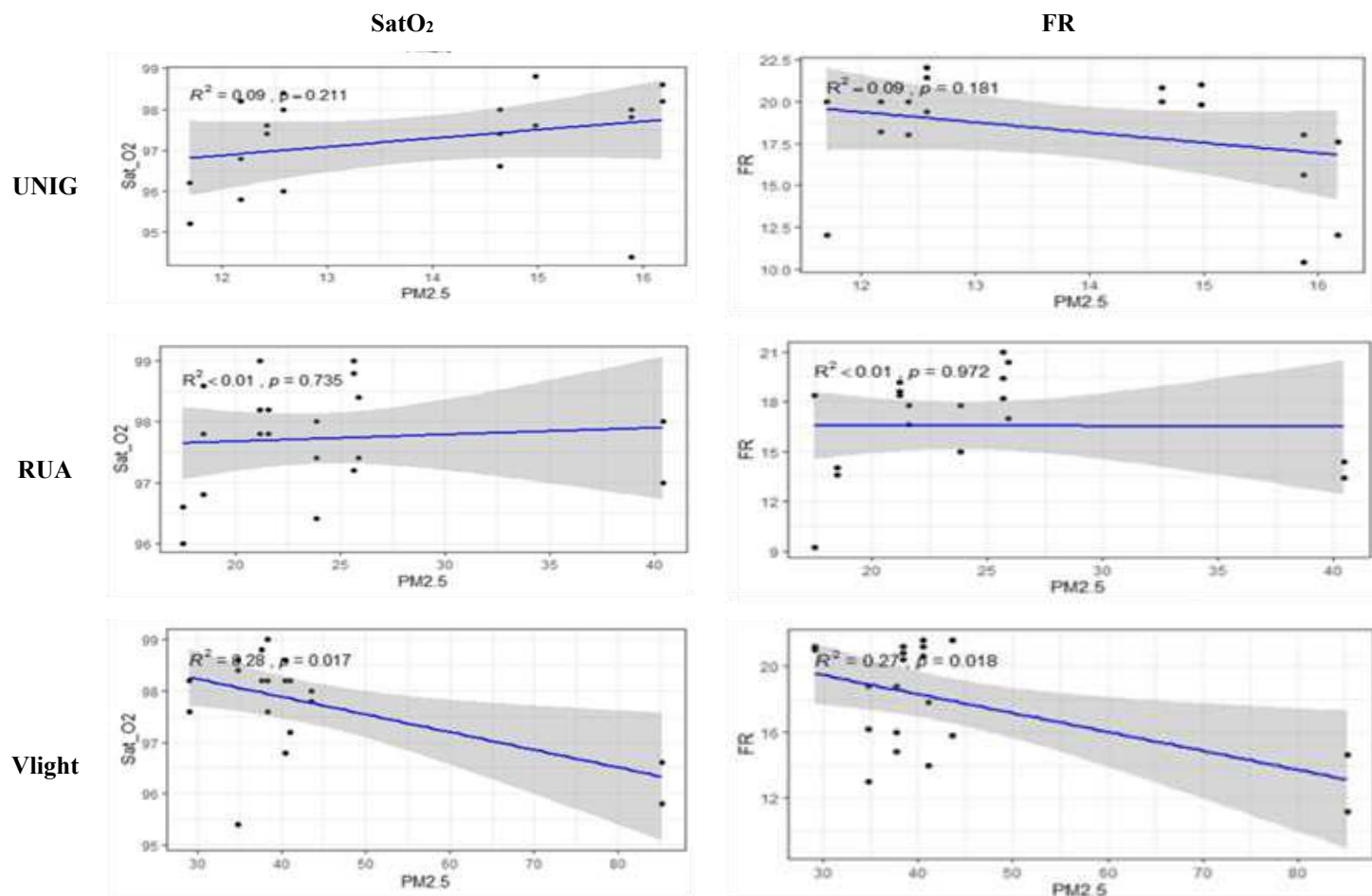
Figura 2a- Modelo de regressão linear para o efeito do ambiente sobre a hemodinâmica com influência da Umidade sobre a SatO₂ e a FR.



Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

O MP_{2,5} demonstrou uma influência negativa na SatO₂, interferindo na queda de 28% da SatO₂ na via *Light*. O mesmo efeito foi observado na FR, em que o MP_{2,5} interferiu na queda de 27% das incursões na via *Light*.

Figura 2b- Modelo de regressão linear para o efeito do ambiente sobre a hemodinâmica com influência do $MP_{2,5}$ sobre a $SatO_2$ e a FR.



Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

4. Discussão

O estudo avaliou as repercussões hemodinâmicas em indivíduos expostos a três ambientes distintos: dois ambientes abertos “*outdoor*”, sendo um localizado em um ponto de ônibus de uma via com tráfego intenso, outro em uma rua com baixa circulação de veículos, e um outro ambiente fechado “*indoor*”, em uma sala climatizada com temperatura controlada. Essa configuração permitiu simular situações cotidianas de espera pelo transporte público, visando comparar os efeitos da exposição a diferentes níveis de poluição atmosférica e condições ambientais.

Os principais resultados mostraram que as concentrações de $MP_{2,5}$ excederam os valores médios diários em todos os ambientes analisados, com níveis alarmantes para a Via Light que possui um tráfego intenso e diversificado de veículos pesados incluindo ônibus e caminhões. Nesta rodovia as concentrações médias de $MP_{2,5}$ ultrapassaram em até três vezes a média diária recomendada pela OMS ($42,6 \mu g/m^3$) (padrão diário recomendado pela OMS - $15 \mu g/m^3$) e também foram registrados picos que alcançaram concentrações de $85,2 \mu g/m^3$, o equivalente a 5,7 vezes o valor diário recomendado de $MP_{2,5}$ pela OMS.

Há forte evidência atual na literatura que identifica o tráfego veicular como a principal fonte de $MP_{2,5}$ em ambientes urbanos, podendo contribuir com a produção de $MP_{2,5}$ que varia de 5% a 61%, dependendo do volume de tráfego e das condições específicas, conforme estudo global realizado em 169 cidades (Heydari, et al., 2020, Martins et al., 2021).

As concentrações de $MP_{2,5}$ aumentam drasticamente nas proximidades de rodovias, o que faz com que os locais de espera de transporte público sejam verdadeiros “pontos de acúmulos de $MP_{2,5}$ ”, o inverso também é relatado à medida que há afastamento de 100–200m das principais rodovias, diminuindo as concentrações próximas as estradas (Park & Kwan, 2020; Requia, et al., 2018).

Apesar disso, as diferenças entre as variáveis hemodinâmicas foram discretas entre os ambientes, não demonstrando um impacto clínico imediato nas variáveis mensuradas. No entanto, o $MP_{2,5}$ influenciou negativamente a $SatO_2$ e a FR, e a umidade influenciou positivamente a $SatO_2$ e a FR, principalmente em ambientes com maior poluição do ar (*Via Light*). Esses achados sugerem que, embora a exposição aguda a altos níveis de $MP_{2,5}$ não tenha causado alterações hemodinâmicas significativas em indivíduos saudáveis, a poluição do ar pode ter impactos sutis na FR e na oxigenação sanguínea por alteração na modulação autonômica do coração, especialmente em ambientes com maior tráfego veicular (Weichenthal, et al., 2011).

Os efeitos da umidade do ar sobre a FR e $SatO_2$ foram positivos e discretos, apesar da literatura não associar essa relação. Já a interação entre umidade e $MP_{2,5}$, tem mostrado, segundo Liu et. al, 2023, influencia na função respiratória e na oxigenação, particularmente em áreas próximas a grandes estradas (Liu et al., 2023).

Estudos em populações saudáveis expostas a altos níveis de $MP_{2,5}$ destacaram os efeitos negativos da poluição do ar na saúde, especialmente as alterações cardiorrespiratórias, como relatou Sinharay et al. (2018). Da mesma forma, Peralta et al. (2020) relataram risco aumentado de arritmias cardíacas e aumento do número de disparo de dispositivos cardioversores em indivíduos expostos a partículas finas (Zhang, et al., 2021).

Embora as alterações clínicas nas variáveis hemodinâmicas tenham sido discretas no presente estudo, outras variáveis não mensuradas, como inflamação sistêmica e disfunção endotelial, foram descritas como alteradas em indivíduos saudáveis com exposições de curta duração a partículas finas, conforme relatado por Kajbafzadeh et al. (2015). Essas diferenças podem ser atribuídas ao perfil da amostra, composta predominantemente por indivíduos jovens e saudáveis, bem como à curta duração da exposição (20 minutos), fatores que podem ter atenuado os efeitos agudos da poluição do ar.

Outra consideração relevante refere-se à exposição de grupos populacionais vulneráveis, como idosos e indivíduos com comorbidades cardiorrespiratórias, aos poluentes atmosféricos em áreas de alto tráfego. Nesses casos, a literatura tem mostrado que a poluição do ar pode acarretar efeitos adversos significativos na saúde, exacerbando condições pré-existentes e aumentando o risco de complicações cardiovasculares e respiratórias. Portanto, a proteção desses grupos contra a exposição a ambientes altamente poluídos é essencial para a promoção da saúde pública (Wang, et al., 2022).

Os resultados das alterações hemodinâmicas apresentadas, mesmo que clinicamente pequenos contribuem para a compreensão dos efeitos da poluição do ar em situações cotidianas, como a espera pelo transporte público, já que a influência do $MP_{2,5}$ foi negativa na $SatO_2$ e na FR, sugerindo que a exposição crônica e em ambientes com altos níveis de poluição do ar pode ter impactos cumulativos na saúde cardiovascular e respiratória. Efeito esse que pode ser potencializado ainda mais em indivíduos vulneráveis.

Em uma nova perspectiva, o presente estudo reforça a necessidade de políticas públicas voltadas à redução da exposição à poluição do ar, particularmente em áreas com alto tráfego veicular. Para isso são propostas duas medidas estruturais. A primeira delas, é de mobilidade urbana sustentável com renovação da frota de veículos e emprego de tecnologias menos poluentes, num futuro próximo também deve um planejamento para construção de residências afastadas de áreas de tráfego veicular. A segunda propõe intervenções urbanísticas, que incluem a criação de pontos de ônibus cobertos e a ampliação de áreas verdes no trajeto destes corredores de veículos (Carlsten, et al., 2020).

Internamente as cabines podem ser colocadas purificadores de ar portáteis com filtros que reduzem entre 54% e 92% as concentrações de $MP_{2,5}$ do ambiente (Goodman, et al., 2025).

Em se tratando de espera do transporte público, outra estratégia viável seria a implantação de alertas sobre a qualidade do ar em dias de maiores concentrações de poluentes, com adoção do uso de máscaras faciais, como a N95, que são eficazes contra aspiração de partículas finas durante a respiração (Carlsten, et al., 2020).

Dentre as limitações do estudo, destacamos o perfil da amostra, composta principalmente por jovens estudantes saudáveis, o que pode ter limitado a detecção de efeitos mais pronunciados da poluição do ar e condições ambientais sobre as variáveis hemodinâmicas. Além disso, a curta duração da exposição de 20 minutos pode não ter sido suficiente para desencadear alterações hemodinâmicas significativas. A inclusão de outras variáveis como a Variabilidade da Frequência Cardíaca ou de marcadores inflamatórios sanguíneos poderiam fornecer uma visão mais abrangente dos efeitos da poluição do ar em outros sistemas.

Estudos futuros devem priorizar amostras ampliadas e mais heterogêneas, abrangendo indivíduos de diversas faixas etárias e condições de saúde, a fim de avaliar com maior precisão os impactos da poluição do ar em grupos populacionais mais vulneráveis. Adicionalmente, recomenda-se investigar os efeitos de exposições crônicas à poluição do ar, comparando diferentes contextos geográficos e considerando tanto motoristas de veículos particulares quanto passageiros de transporte público, sob variadas condições climáticas, para uma análise mais abrangente e representativa.

5. Conclusão

As concentrações médias de $MP_{2,5}$ foram três vezes superiores ao valor recomendado pela OMS ($15 \mu g/m^3$), reforçando a urgência de políticas públicas voltadas à redução tanto das fontes poluidoras quanto do tempo de exposição dos indivíduos em áreas urbanas com alto tráfego veicular. Além disso, em ambientes abertos, é necessário considerar as condições climáticas extremas, como altas temperaturas e umidade elevada, que atuam em sinergia com a poluição do ar, potencializando os efeitos negativos sobre as variáveis hemodinâmicas.

Embora em indivíduos saudáveis essas alterações clínicas possam ser discretas, manifestando-se principalmente por quedas na SatO2 e na FR, a exposição prolongada a condições climáticas adversas e altas concentrações de $MP_{2,5}$ pode desencadear efeitos adversos significativos, especialmente em grupos vulneráveis, como idosos e portadores de comorbidades cardiorrespiratórias. Portanto, a implementação de medidas que reduzam a exposição a esses fatores é crucial para a proteção da saúde pública.

Referências

- Akamine, C. T. & Yamamoto, R. K. (2009). Estudo dirigido: estatística descritiva. (3ed). Editora Érica
- Bekman, O. R. & Costa Neto, P. L. O. (2009). Análise estatística da decisão. (2ed). Ed. Edgar Blucher.
- Carlsten, C., Salvi S., Wong G. W. K., & Chung, K. F. (2020). Personal strategies to minimise effects of air pollution on respiratory health: advice for providers, patients and the public. *The European Respiratory Journal*, 55(6), 1902056. <https://doi.org/10.1183/13993003.02056-2019>.
- Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA). (2018). Resolução Nº 491, publicada no Diário Oficial da União de 20/11/18.
- Cosselman, K. E, Allen, J., Jansen, K. L. et al. (2020). Acute exposure to traffic-related air pollution alters antioxidant status in healthy adults. *Environmental Research*. 191, 110027. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110027>.
- Global Burden Disease (GBD). (2018). Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, 392(10159), 1923-1994. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32225-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32225-6).
- Gonzaga, A. C.; Freitas, A. C. V. (2020). Analysis of the relationship between weather conditions, air pollution and viral respiratory infections: the COVID-19 case. *Research, Society and Development*. 9, (8) p. e591985942. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5942>.
- Goodman, N., Campbell, S., & Tong, M. (2025). Interventions for reducing exposure to air pollution from landscape fires in a changing environment: a systematic review. *Science of The Total Environment*, 966, 178621. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178621>.

- Heydari, S., Tainio M., Woodcock J., & de Nazelle. (2020). Estimating traffic contribution to particulate matter concentration in urban areas using a multilevel Bayesian meta-regression approach. *Environment International*, 141, 105800. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105800>.
- Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). (2024). Air pollution (outdoor & indoor). Global Burden of Disease - Risk Factors. <https://ourworldindata.org/grapher/household-air-pollution-deaths-by-region>.
- Kajbafzadeh, M., Brauer, M., Karlen, B., et al. (2015). The impacts of traffic-related particles and wood smoke on measures of cardiovascular health: a HEPA filter intervention study. *Occupational and Environmental Medicine*, 72(6), 394–400. <https://doi.org/10.1136/oemed-2014-102696>.
- Klaver, Z. M, Crane, R. C., Ziemba, R. A., Bard, R. L., Adar, S. D., Brook, R. D., et al. (2023). Reduction of Outdoor and Indoor PM_{2.5} Source Contributions via Portable Air Filtration Systems in a Senior Residential Facility in Detroit, Michigan. *Toxics*. 14(11) p.1019. <https://doi.org/10.3390/toxics11121019>.
- Kubesch, N. J., Jørgensen, J. T., Hoffmann B., et al. (2018). Effects of Leisure-Time and Transport-Related Physical Activities on the Risk of Incident and Recurrent Myocardial Infarction and Interaction with Traffic-Related Air Pollution: A Cohort Study. *J Am Heart Assoc*. 7(15) e009554. <https://doi.org/10.1161/JAHA.118.009554>.
- Liu, C., Hu H., Zhou S., Chen X., Hu Y., & Hu J. (2023). Change of composition, source contribution, and oxidative effects of environmental PM in the respiratory tract. *Environmental Science & Technology*, 57(31), 11605–11611. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c02780>.
- Martins, M. V. E.; Rosa, R. G.; Oliveira, G. P. (2021). Survey of activities and stationary sources of air pollution in the city of Balsas-MA. *Research, Society and Development*, 10, (16) p. e227101619506, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.19506>.
- Park, Y. M.; & Kwan, M. P. (2020). Understanding racial disparities in exposure to traffic-related air pollution: considering the spatiotemporal dynamics of population distribution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 908. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030908>.
- Park, Y.M. (2020). Assessing personal exposure to traffic-related air pollution using individual travel-activity diary data and an on-road source air dispersion model. *Health & Place*, 63, 102351. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2020.102351>.
- Peralta, A.A., Link MS, Schwartz J, et al. (2020). Exposure to air pollution and particulate radioactivity with risk of ventricular arrhythmias. *Circulation*, 142(9), 858–867. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.120.046321>.
- Pereira A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [free e-book]. Editora UAB/NTE/UFSM.
- Plano De Mobilidade Urbana Sustentável Da Cidade Do Rio De Janeiro (PMUS). (2018). Relatório de síntese. Transportes. Prefeitura do Rio de Janeiro. <https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/6438610/4234819/82ApresentacaodoDecretoPMUSSMTR.pdf>.
- Relatório global Moovit transporte público. (2022). Rio de Janeiro. <https://moovit.com/pt/press-releases/moovit-apresenta-relatorio-sobre-transporte-publico-em-2022/>.
- Requia, W. J., & Koutrakis, P. (2018). Mapping distance-decay of premature mortality attributable to PM-related traffic congestion. *Environmental Pollution*, 243(Pt A), 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.056>.
- Shitsuka et al. (2014). Matemática fundamental para a tecnologia. Editora Érica.
- Sinharay, R., Gong J., Barratt B., et al. (2018). Respiratory and cardiovascular responses to walking on a traffic-polluted road compared to walking in a traffic-free area in participants aged 60 years and older with chronic lung or heart disease and age-matched healthy controls: a randomized crossover study. *The Lancet*, 391(10118), 339–349. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32643-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32643-0).
- Wang, T. Xu H., Zhu, Y., Sun, X. (2022). Traffic-related air pollution associated pulmonary pathophysiologic changes and cardiac injury in elderly patients with COPD. *Journal of Hazardous Materials*, 424(Pt B), 127463. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127463>.
- Weichenthal, S., Kulka R., Dubeau A., Martin C., Wang D., & Dales R. (2011). Traffic-related air pollution and acute changes in heart rate variability and respiratory function in urban cyclists. *Environmental Health Perspectives*, 119(10), 1373–1378. <https://doi.org/10.1289/ehp.1003321>.
- World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>.
- Zhang, S., Lu, W., Wei Z, Zhang, H. (2021). Air Pollution and Cardiac Arrhythmias: From Epidemiological and Clinical Evidences to Cellular Electrophysiologic Mechanisms. *Front Cardiovasc Med*. 28(8) 736151. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.736151>.