

A poluição atmosférica reduz a capacidade respiratória durante exercício máximo

Air pollution reduces breathing capacity during maximum exercise

La contaminación del aire reduce la capacidad respiratoria durante el ejercicio maximum

Recebido: 16/10/2022 | Revisado: 30/10/2022 | Aceitado: 02/11/2022 | Publicado: 09/11/2022

Nicolau Teixeira Ramos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5558-3173>
Universidade Santa Cecília, Brasil
E-mail: nicolautr@unisanta.br

Caroline Simões Teixeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7393-4483>
Universidade Santa Cecília, Brasil
E-mail: carolineteixeira@@unisanta.br

Ana Beatriz Gonçalves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1557-726X>
Universidade Santa Cecília, Brasil
E-mail: nicolautr@unisanta.br

Luiza Victor Frade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6336-7593>
Universidade Santa Cecília, Brasil
E-mail: nicolautr@unisanta.br

Alexandre Galvão da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1094-901X>
Universidade Santa Cecília, Brasil
E-mail: agalvao@unisanta.br

Débora Dias Ferraretto Moura Rocco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7258-2546>
Universidade Santa Cecília, Brasil
E-mail: drocco@unisanta.br

Resumo

Introdução: É notório o aumento da poluição atmosférica nas últimas décadas, principalmente nos centros urbanos, onde houve um processo desordenado de industrialização e de crescimento populacional. Moradores de centros urbanos são expostos a poluentes que influenciam negativamente sistemas orgânicos, primordialmente o cardiorrespiratório. Já os residentes de áreas costeiras desfrutam de meio ambiente mais limpo. Nosso objetivo foi avaliar a influência de diferentes concentrações de poluentes atmosféricos sobre variáveis respiratórias durante teste de esforço máximo. **Metodologia:** Foram avaliados 80 homens, idade a partir de 40 anos, divididos em 2 grupos: Residentes de São Paulo, Grupo 1 e residentes da Baixada Santista, Grupo 2. Os participantes realizaram teste cardiorrespiratório, determinando seu nível de condicionamento físico (VO_{2max}) e as variáveis: equivalente ventilatório de dióxido de carbônico (VE/VCO_2), ventilação pulmonar (VE) e equivalente ventilatório de oxigênio (V/VO_2). Os dados foram apresentados em média \pm desvio padrão. O STATISTIC 9.0 foi utilizado para as análises e o teste aplicado foi de variância de um caminho para comparação dos dados respiratórios entre os grupos. **Resultados:** Os grupos foram similares no consumo de oxigênio pico: Grupo 1 = $17,5 \pm 0,04$ ml/kg/min e Grupo 2, $18,3 \pm 0,08$ ml/kg/min. O Grupo 1 apresentou respostas ventilatórias alteradas durante o teste cardiorrespiratório quando comparados ao Grupo 2: ($VE=80 \pm 0,3$ ml e $VE=70 \pm 0,2$ ml, $p=0,004$), ($VE/VCO_2=35,7 \pm 0,3$ unidades e $VE/VCO_2=31,7 \pm 0,1$ unidades, $p=0,003$) e ($V/VO_2=36,5 \pm 0,2$ unidades e $V/VO_2=31,6 \pm 0,1$ unidades, $p=0,03$). **Conclusão:** Indivíduos residentes em São Paulo apresentam eficiência respiratória diminuída quando comparada aos moradores de região costeira durante teste de esforço máximo.

Palavras-chave: Poluição atmosférica; Saúde; Sistema respiratório.

Abstract

Introduction: The increase in air pollution in recent decades is notorious, especially in urban centers, where there has been a disorderly process of industrialization and population growth. Residents of urban centers are exposed to pollutants that negatively influence organic systems, primarily the cardiorespiratory system. Residents of coastal areas enjoy a cleaner environment. Our objective was to evaluate the influence of different concentrations of atmospheric pollutants on respiratory variables during maximal stress test. **Methodology:** Eighty men aged 40 years and over were evaluated, divided into 2 groups: Residents of São Paulo, Group 1 and residents of Baixada Santista, Group 2. Participants underwent a cardiorespiratory test, determining their physical fitness level (VO_{2max}) and the variables: ventilatory equivalent of carbon dioxide (VE/VCO_2), pulmonary ventilation (VE) and ventilatory equivalent of oxygen (V/VO_2). Data were presented as mean \pm standard deviation. STATISTIC 9.0 was used for the analysis and the one-

way variance test was applied to compare respiratory data between groups. Results: The groups were similar in peak oxygen consumption: Group 1= 17.5±0.04 ml/kg/min and Group 2, 18.3±0.08 ml/kg/min. Group 1 presented altered ventilatory responses during the cardiorespiratory test when compared to Group 2: (VE=80±0.3 ml and VE=70±0.2 ml, p=0.004), (VE/VCO₂=35.7±0, 3 units and VE/VCO₂=31.7±0.1 units, p=0.003) and (V/VO₂=36.5±0.2 units and V/VO₂=31.6±0.1units, p=0.03 Conclusion: Individuals residing in São Paulo have decreased respiratory efficiency when compared to residents of coastal regions during maximal effort test.

Keywords: Atmospheric pollution; Health; Respiratory system.

Resumen

Es notorio el aumento de la contaminación atmosférica en las últimas décadas, especialmente en los centros urbanos, donde se ha producido un desordenado proceso de industrialización y crecimiento demográfico. Los habitantes de los centros urbanos están expuestos a contaminantes que influyen negativamente en los sistemas orgánicos, principalmente en el sistema cardiorrespiratorio. Los residentes de las zonas costeras disfrutaban de un medio ambiente más limpio. Nuestro objetivo fue evaluar la influencia de diferentes concentraciones de contaminantes atmosféricos sobre variables respiratorias durante una prueba de esfuerzo máximo. Metodología: Se evaluaron 80 hombres de 40 años y más, divididos en 2 grupos: Residentes de São Paulo, Grupo 1 y residentes de Baixada Santista, Grupo 2. Los participantes se sometieron a una prueba cardiorrespiratoria, determinando su nivel de condición física (VO₂max) y las variables: equivalente ventilatorio de dióxido de carbono (VE/VCO₂), ventilación pulmonar (VE) y equivalente ventilatorio de oxígeno (V/VO₂). Los datos se presentaron como media ± desviación estándar. Se utilizó STATISTIC 9.0 para el análisis y se aplicó la prueba de varianza unidireccional para comparar los datos respiratorios entre los grupos. Resultados: Los grupos fueron similares en consumo pico de oxígeno: Grupo 1= 17,5±0,04 ml/kg/min y Grupo 2, 18,3±0,08 ml/kg/min. El Grupo 1 presentó respuestas ventilatorias alteradas durante la prueba cardiorrespiratoria en comparación con el Grupo 2: (VE=80±0,3 ml y VE=70±0,2 ml, p=0,004), (VE/VCO₂=35,7±0, 3 unidades y VE/VCO₂=31,7±0,1 unidades, p=0,003) y (V/VO₂=36,5±0,2 unidades y V/VO₂=31,6±0,1 unidades, p=0,03) Conclusión: Los habitantes de São Paulo tienen menor eficiencia respiratoria en comparación con los residentes de regiones costeras durante la prueba de esfuerzo máximo.

Palabras clave: Contaminación atmosférica; Salud; Sistema respiratorio.

1. Introdução

As ações antrópicas e o padrão de vida humano exercido atualmente dentro das cidades têm se mostrado como insustentáveis e degradantes ao meio ambiente (Pereira & Limongi., 2015). Esse modo de vida que visa o consumismo e a expansão das áreas urbanas tem ocasionado o surgimento de problemas socioambientais, provenientes, em grande parte, da exploração excessiva dos recursos naturais. Dentre os problemas que tem afetado a qualidade de vida nos centros urbanos, destaca-se a poluição atmosférica, que tem sido elevada, principalmente, pela crescente concentração de indústrias, circulação de automóveis e uso de combustíveis fósseis dentro e nas imediações das cidades (Al-Kindi et al., 2020).

A partir dessas observações, pesquisadores na área da saúde e meio ambiente tem documentado a relação direta existente entre a poluição ambiental e os fatores de risco de morbimortalidade. Kaiser (1997) publicou importante estudo epidemiológico de grande repercussão no cenário mundial o qual foi intitulado de a maior luta ambiental da década. Neste, foram apresentados estudos clássicos com a temática poluição atmosférica e sua relação direta com prevalência de doenças, aumento de internações hospitalares e o crescimento da mortalidade (Schwartz & Dockery, 1992; Dockery et al., 1993; Pope et al., 1995). Desde então, estudos são conduzidos para o melhor entendimento desta relação.

O estado de São Paulo, Brasil, é um dos principais centros comerciais e industriais da América Latina, sua capital a metrópole de São Paulo possui uma frota veicular com aproximadamente 31.445.473 veículos (IBGE, 2021). Sendo os veículos automotores os principais causadores da emissão de poluentes que repercutem em efeitos maléficos a saúde humana, isso se deve a um processo desordenado de industrialização e de crescimento populacional.

As partículas em suspensão na atmosfera que podem causar danos à saúde humana são chamadas de partículas inaláveis (PI), e se caracterizam por possuir tamanho extremamente reduzido a partículas de diâmetro igual ou menor que 10 e 2,5 micra (µm), MP₁₀ e MP_{2,5}, respectivamente, são de particular relevância para a saúde pública. Tanto as MP_{2,5} quanto as MP₁₀ são capazes de penetrar profundamente nos pulmões, mas as MP_{2,5} podem entrar até mesmo na corrente sanguínea, resultando principalmente em impactos cardiovasculares e respiratórios e também afetando outros órgãos (Gouveia et al., 2003). As MP

são geradas principalmente pela queima de combustíveis em diferentes setores, incluindo transporte, energia, indústria e agricultura, bem como nas residências. (Pereira & Limongi., 2015)

Destacam que as afecções agudas e crônicas no trato respiratório está associada com as variações das concentrações de vários poluentes atmosféricos; a maior incidência de patologias, tais como asma e bronquite tem sido agravada ou ocasionada pela poluição atmosférica e que a mortalidade por patologias do sistema respiratório apresenta uma forte associação com a poluição atmosférica. (Moura et al., 2021).

Fajersztajn (2017), diz que no continente latino-americano o aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nas concentrações diárias de $\text{MP}_{2.5}$ foi significativamente associado a incremento do risco de mortalidade respiratória e cardiovascular nas populações mais vulneráveis como; crianças, idosos e aquelas que apresentam doenças respiratória. Neste mesmo estudo, detectou-se um aumento de internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e aumento no número internações e morbimortalidades cardiovasculares em vigência de acréscimo na concentração de poluentes atmosféricos.

Estudos conduzidos em cidades brasileiras avaliaram a qualidade do ar, Rio de Janeiro (Godoy et al., 2009), São Paulo (Gouveia et al., 2003), Vitória (Castro et al., 2007), Rio Branco (Mascarenhas et al., 2008) e todos encontraram associações positivas com o aumento dos níveis de poluição atmosférica e riscos à saúde e que também reverberam na economia, devido a mortes prematuras e faltas no trabalho por doenças relacionadas à concentração de poluentes no ar. Somente em São Paulo, a mortalidade e a morbidade geradas pela poluição do ar geram um custo econômico de até US\$208 milhões ao ano (Fajersztajn et al., 2017).

A convivência dos seres vivos, em especial a do homem, com a poluição do ar tem trazido consequências sérias para a saúde. Os efeitos dessa exposição têm sido marcantes e plurais quanto à abrangência. A exposição à poluição atmosférica possui uma relação direta com a prevalência da doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) (Van Eeden et al., 2004), iniciação e progressão da aterosclerose (Libby et al., 2002), alterações na função autonômica cardíaca (European Society of Cardiology, 1996; La Rovere et al., 2003), aumento da inflamação vascular induzindo a coagulação e o risco de infarto agudo do miocárdio (Nemmar et al., 2004), modulação da imunidade (Zelikoff et al., 2003) e aumento discreto no risco de câncer de pulmão (Samet, 1999).

Nas últimas três décadas, o melhor conhecimento das origens, composições, comportamentos, interações e, do ponto fulcral, os mecanismos de ação desses verdadeiros inimigos da saúde pública têm mobilizado esforços e recursos tecnológicos e financeiros diversos. Estudos observacionais têm procurado mostrar, com resultados cada vez mais significativos, efeitos de morbidade e mortalidade associados aos poluentes do ar. No entanto, para se avaliar a plausibilidade biológica desses achados, tem sido necessária a realização de estudos de intervenção e experimentais.

Contudo, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência de diferentes concentrações de poluentes atmosféricos sobre a capacidade cardiorrespiratória durante sessão de exercícios físicos entre habitantes de áreas costeiras que desfrutaram de maior contato com a natureza e um meio ambiente mais limpo e residentes de centros urbanos altamente expostos a partículas de poluentes que influenciam negativamente a fisiologia corporal.

2. Metodologia

Trata-se de um estudo descritivo de caráter transversal, com análise de dados quantitativa (Pereira et al., 2018).

Foram avaliados 80 homens adultos, com idade a partir de 40 anos, divididos em 2 grupos de acordo com a sua região de residência: Residentes da Grande São Paulo (Grupo 1), com idade média de $45\pm 0,02$ anos e residentes da Baixada Santista (Grupo 2), com média de idade de $47\pm 0,03$ anos. Os participantes concordaram em participar do estudo por meio da assinatura do termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética da Universidade Santa Cecília (CAAE: 60196516.8.0000.5513).

Todos os indivíduos foram avaliados no Hospital Amil/United em São Paulo e submetidos ao teste ergoespirométrico, para a determinação do nível de condicionamento físico (VO_{2max}) e das variáveis: equivalente ventilatório de dióxido de carbônico (VE/VCO_2), ventilação pulmonar (VE) e equivalente ventilatório de oxigênio (V/VO_2).

Procedimento para Avaliação Ergoespirométrica

Os indivíduos foram submetidos ao Teste Ergoespirométrico incremental, realizado em esteira ergométrica (Inbrasport Master ATL, Velocidade de 0 a 24 Km/h, elevação de 0 a 26%, capacidade de peso de 200Kg). Foi utilizado o protocolo em rampa para todos os participantes do estudo, calculando-se a velocidade e a inclinação com base em suas idades.

A sala de exames possui dimensões suficientes para a acomodação da aparelhagem necessária. A temperatura sofreu variações entre 20 a 24°C e umidade relativa do ar estava entre 60 e 70% para permitir uma adequada troca de calor com o meio. As avaliações foram realizadas por um médico cardiologista e um professor de educação física especializado.

Os indivíduos foram encorajados a realizar o teste até a máxima fadiga suportada, tentando atingir a frequência máxima (FC) estimada pela idade, quando os indivíduos não suportavam mais o esforço o teste era interrompido, e começava a ser contabilizado o período de recuperação, com duração de dois minutos em repouso em pé na esteira.

Foram realizados análises hemodinâmicas: Eletrocardiograma de repouso com o registro das 12 derivações-padrão (D1,D2,D3,aVR,aVL,aVF,V1,V2,V3,V4,V5,V6). A pressão arterial (PA) foi analisada a cada 3 minutos pelo esfigmomanômetro de braço e ausculta de estetoscópio.

A avaliação pré-exercício consistia na medida de pressão arterial e registro do eletrocardiograma (12 derivações) em repouso na posição em pé. Após a definição do protocolo a ser utilizado o teste foi realizado em esteira ergométrica com o registro da FC a cada minuto e da PA a cada 2 minutos.

O teste é interrompido por: cansaço físico intenso, sintomas físicos, níveis pressóricos elevados não condizentes com a segurança do paciente, angina que impeça a continuação do exercício ou alterações cardiovasculares que indiquem a interrupção do exame.

O período de recuperação consistia na diminuição da carga de trabalho e registro das variáveis hemodinâmicas (FC e PA ao 1,2,4 e 6 minutos).

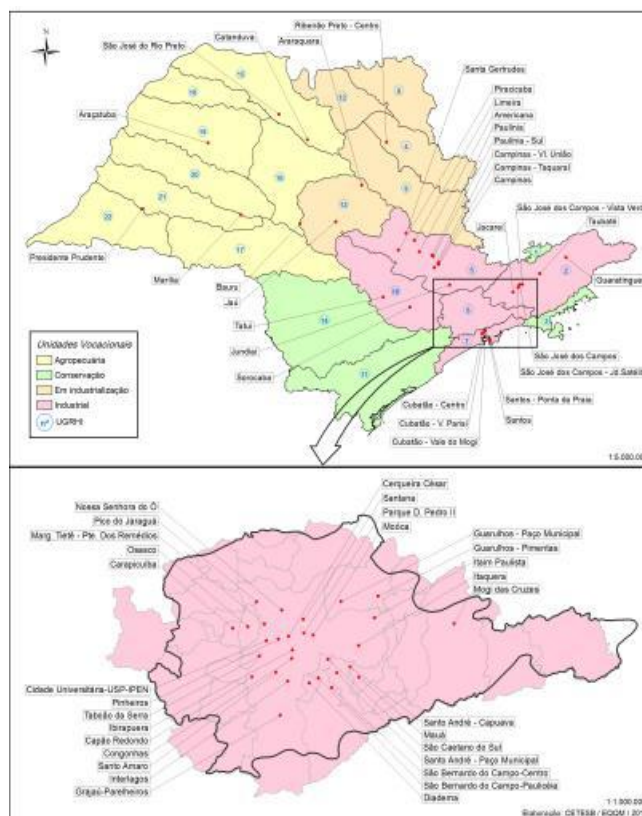
Simultaneamente ao teste de esforço, o indivíduo foi conectado a um ergoespirômetro computadorizado (SensorMedics - Vmax Series modelo Vmax 229 Pulmonary Function/Cardiopulmonary Exercise Testing Instrument), através de um sistema de sensor onde a ventilação pulmonar (VE) foi medida a cada expiração. Através de sensores de oxigênio (O_2) e de dióxido de carbono (CO_2) foram analisadas as concentrações de O_2 e CO_2 , respectivamente a cada ciclo respiratório. A partir das análises da VE e das concentrações dos gases expirados, foram computados o VO_2 e a produção de CO_2 .

Foi considerado como VO_2 pico o consumo de oxigênio obtido no pico do exercício, quando o indivíduo não conseguia mais manter a velocidade na esteira rolante, portanto, quando o indivíduo se mostrou em exaustão.

Análise dos poluentes atmosféricos

As análises dos poluentes atmosféricos foram realizadas segundo dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), decorrente dos meses de janeiro de 2018 a fevereiro de 2019, as avaliações da capacidade cardiorrespiratória ocorreram nos mesmos períodos em que verificamos a análise da poluição atmosférica. Os dados sobre a concentração de cada poluente são divulgados no site da CETESB. Para esta investigação consideramos as partículas inaláveis (PM_{10} e $PM_{2,5}$). Na figura 1 são apresentadas as redes automáticas de medição de poluentes (atualizadas em 2017 pela CETESB) que foram consideradas suas médias para determinação dos poluentes de interesse nesta investigação.

Figura 1 - Redes automáticas de determinação dos poluentes.



Fonte: Site da CETESB (2019).

Forma de análise dos resultados

Para avaliação dos dados foi utilizado uma análise descritiva e quantitativa utilizando o programa STATISTIC 9.0 e para comparação entre os grupos o programa ANOVA one way. Valores de $p < 0.05$ serão considerados significantes estatisticamente e os dados estão apresentados em média \pm desvio padrão.

3. Resultados

Este estudo corrobora com a literatura avaliando de forma direta, análise ergoespirométrica, a função pulmonar em indivíduos residentes de uma grande metrópole brasileira, a cidade de São Paulo e indivíduos moradores de uma região costeira, a cidade de Santos localizada a 72km da capital.

A Tabela 1 demonstra a média de idade, peso e o consumo máximo de oxigênio ($VO_{2M\acute{a}x}$), equiparando os grupos e os qualificando para análises de efeito comparativo. É importante notar que os grupos são homogêneos em relação à idade, peso (que são características que poderiam influir nas análises ventilatórias) e no consumo máximo de oxigênio.

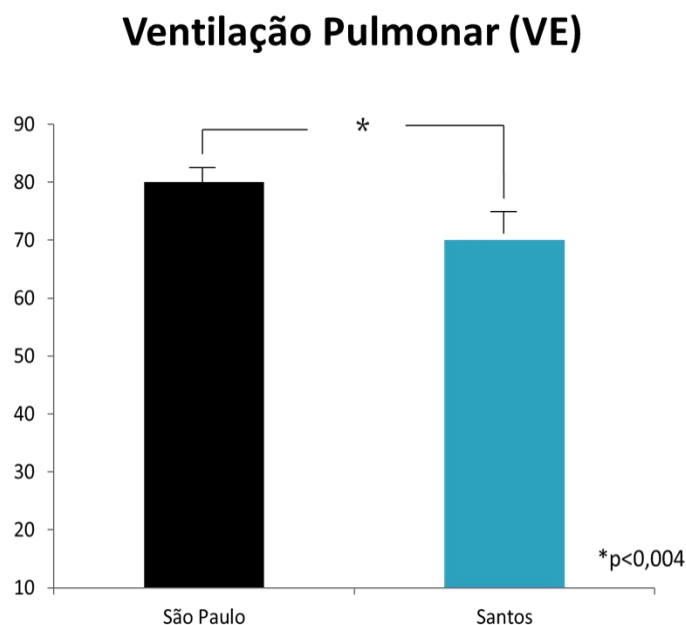
Tabela 1 – Demonstração de variáveis conforme os grupos.

Variável	Grupo 1	Grupo 2
Idade (anos)	45 \pm 0,02	47 \pm 0,03
Peso (Kg)	79 \pm 0,01	77 \pm 0,01
VO _{2Máx} (mL/Kg/min)	17,5 \pm 0,04	18,3 \pm 0,08

Fonte: Autores.

O Gráfico 1 representa a ventilação (VE), que é o resultado do produto da frequência respiratória pelo volume corrente, que foi maior no Grupo 1 (moradores de São Pulo) em comparação ao Grupo 2 (Moradores de Santos), demonstrando maior esforço físico frente ao mesmo estímulo durante o teste.

Gráfico 1 – Valores comparativos da ventilação (VE) entre os grupos, obtidos através da ergoespirometria.

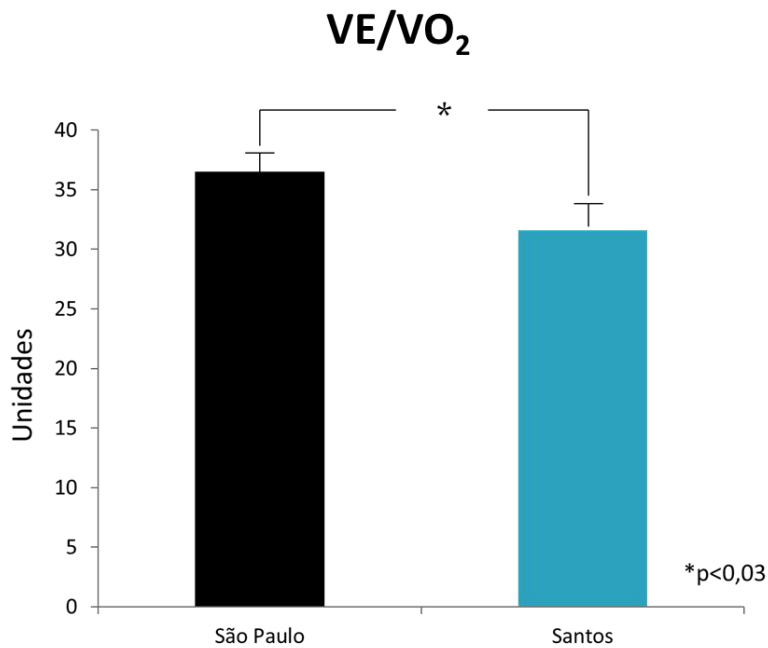


Fonte: Autores.

Vale ressaltar no Gráfico 1 que a ventilação por minuto (VE), quantidade de excursões respiratórias é maior nos indivíduos que moraram em local com maior concentração de poluentes atmosféricos, resultando em um maior trabalho do sistema pulmonar do repouso ao pico de esforço.

Um dos mecanismos fisiológicos determinantes para a realização do exercício é a captação de O_2 . O Gráfico 2 demonstra o equivalente ventilatório de O_2 (VE/VO_2), que reflete quantos litros de ar por minuto são necessários e devem ser ventilados para consumir 100mL de O_2 . Nota-se que os residentes de São Paulo necessitaram ventilar mais para consumir a mesma quantidade de O_2 que os residentes de Santos, demonstrando assim um comportamento alterado frente ao teste de esforço.

Gráfico 2 – Valores comparativos do equivalente ventilatório de O₂ (VE/VO₂) entre os grupos, obtidos através da ergoespirometria.



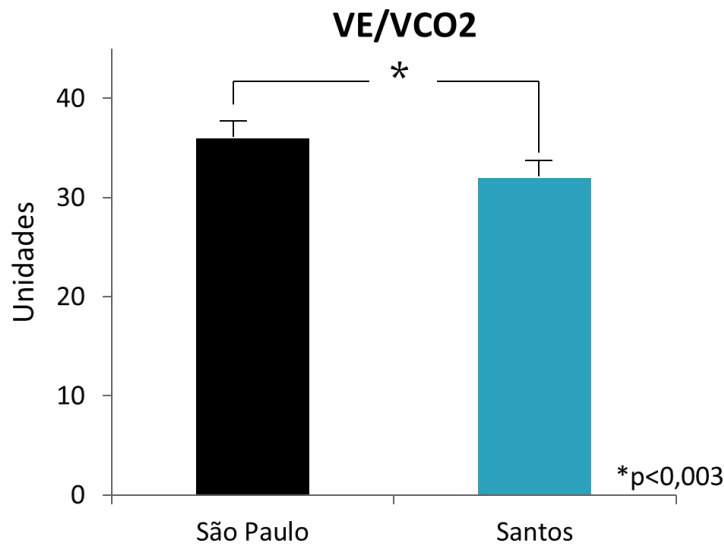
Fonte: Autores.

O Gráfico 2 é bastante relevante pois demonstra a necessidade aumentada que os residentes de São Paulo têm de ventilar mais para consumir a mesma quantidade de O₂ que os residentes de Santos, demonstrando assim um comportamento alterado frente ao teste de esforço. O

O Gráfico 3 demonstra o equivalente ventilatório de CO₂ (VE/VCO₂), que representa a necessidade ventilatória para eliminar uma determinada quantidade de CO₂ produzida pelos tecidos em atividade, o Grupo 1, obteve maior VE/VCO₂ em comparação ao Grupo 2, demonstrando assim uma maior produção de CO₂ pelo organismo, demonstrando menor capacidade aeróbia e rápida fadiga.

Assim, fica evidente o estresse fisiológico que o sistema respiratório é exposto em decorrência da presença de maior concentração de poluentes atmosféricos cronicamente na população de São Paulo. O que a longo prazo pode se traduzir em injúrias dos sistemas respiratório e cardiovascular, principalmente.

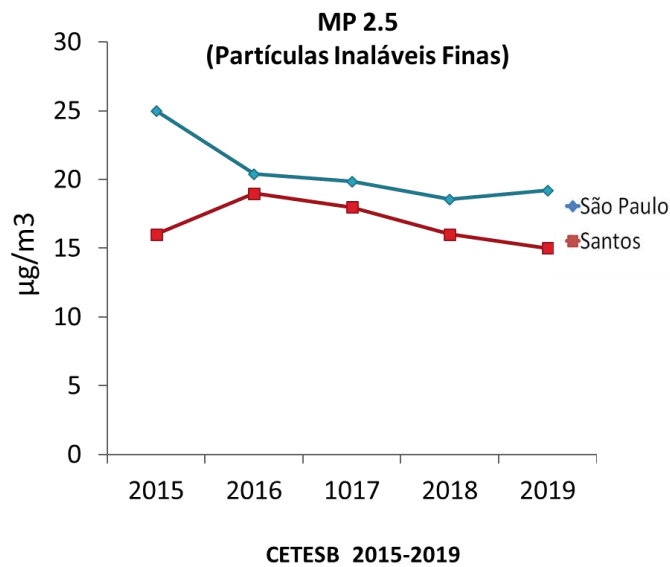
Gráfico 3 – Valores comparativos do equivalente ventilatório de CO₂ (VE/VCO₂) entre os grupos obtidos, através da ergoespirometria.



Fonte: Autores.

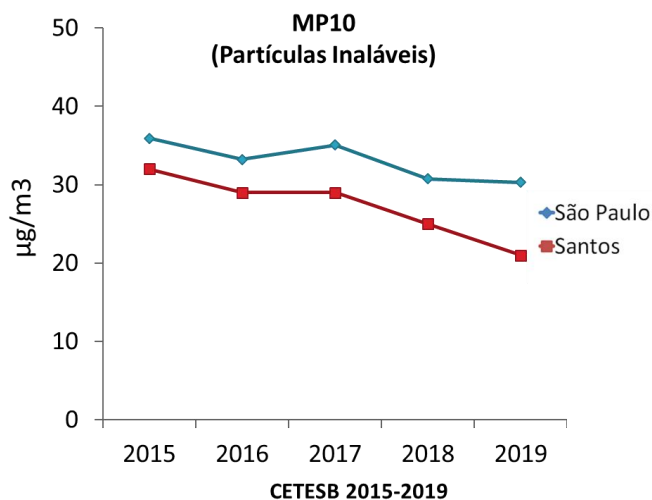
Apesar da cidade de Santos localizar-se a apenas alguns quilômetros da metrópole São Paulo, ela desfruta de um ambiente mais limpo, arborizado e de maior contato com a natureza. Registros anuais da CETESB demonstram os níveis de poluição atmosférica entre as duas cidades para os principais poluentes atmosféricos estudados, MP2,5 e MP10. Comprovando maiores níveis de poluição na cidade de São Paulo em comparação a cidade de Santos (Gráficos 4 e 5).

Gráfico 4 – Níveis de concentrações de MP2,5, segundo dados da CETESB entre os meses janeiro de 2018 a fevereiro de 2019 para as Cidades de São Paulo e Santos.



Fonte: Autores.

Gráfico 5 – Níveis de concentrações de MP10, segundo dados da CETESB entre os meses janeiro de 2018 a fevereiro de 2019 para as Cidades de São Paulo e Santos.



Fonte: Autores.

Evidencia-se, portanto, segundo as medidas continuadas da CETESB, que a cidade São Paulo apresentou níveis de poluentes (aqui exposto os materiais particulados de maior e menor dimensão) incrementados cronicamente, se traduzindo em prejuízos para a população que reside nesta cidade. Por outro lado, a cidade de Santos exibe níveis menores destes poluentes apresentando melhor qualidade do ar o que reflete em melhor preservação da saúde.

4. Discussão

A poluição do ar é um dos cinco fatores ambientais mais nocivos para a saúde humana. A Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou que 7 milhões de mortes ao ano ocorrem devido à exposição à poluição do ar (World Health Organization, 2015).

A análise da concentração de poluição atmosférica em um período de 13 meses, demonstraram que os materiais particulados MP_{2,5} e MP₁₀ apresentaram maior concentração na atmosfera na cidade de São Paulo quando comparado a cidade de Santos (Gráfico 4 e 5). Assim, podemos inferir que os moradores de São Paulo são continuamente expostos a maiores níveis de poluentes atmosféricos em comparação a residentes de Santos (cidade litorânea)

Nesta investigação, observamos que os residentes de São Paulo, demonstraram respostas ventilatórias compatíveis a um maior esforço para a realização do teste, assim como uma acidose metabólica maior em comparação ao Grupo de moradores de Santos. O mecanismo biológico plausível dos danos causados pela poluição do ar é devido à inalação dos gases e à exposição a partículas finas que penetram profundamente nos pulmões e no sistema cardiovascular, podendo causar acidentes vasculares cerebrais, doenças cardíacas, câncer de pulmão, doenças pulmonares obstrutivas crônicas e infecções respiratórias, incluindo pneumonia. (Gouveia et al., 2003).

Nosso trabalho demonstrou existir uma relação negativa entre sistema pulmonar durante esforços físicos realizados e ambientes com maiores índices de poluição atmosférica (Gráficos 1, 2 e 3), observamos um maior trabalho ventilatório do sistema pulmonar, uma menor ventilação de oxigênio e maior volume de gás carbônico nos indivíduos moradores da Cidade de São Paulo quando comparados com moradores de Santos. Demonstraram que um aumento de 10 µg / m³ nas concentrações diárias de PM_{2,5} foi significativamente associado ao aumento do risco de mortalidade respiratória e cardiovascular em todas as idades. (Fajersztajn et al., 2017)

Os autores relataram que um aumento na concentração média em 24 horas de PM_{2,5} em níveis de 17,7µg/m³, esteve associado a um aumento na fração de óxido nítrico exalado (FE(NO)) uma medida não invasiva de inflamação das vias aéreas e as associações entre (FE(NO)) e MP_{2,5} foram significativamente maiores nos sujeitos com diagnóstico de DPOC (Adamkiewicz et al., 2004).

A poluição também está associada à redução da saturação de oxigênio, o que corrobora com os achados apresentados nos gráficos 2 e 3. A inflamação endotelial alveolar pode resultar em comprometimento da difusão de oxigênio e diminuições sutis nos níveis de saturação de oxigênio devido à formação de edema o que compromete e resulta em um processo de trocas gasosas ineficiente (DeMeo et al., 2004).

As partículas finas PM_{2,5}, estão associadas com reação inflamatória na mucosa brônquica periférica caracterizada por maior permeabilidade vascular, edema mucoso, produção de mediadores inflamatórios, lesões epiteliais e que agudamente podem provocar um alto estreitamento do lúmen brônquico e cronicamente favorecem a remodelação das vias aéreas e um rápido declínio da função respiratória, o que corrobora com os achados, que demonstram aumento na ventilação frente ao esforço (Rundell et al., 2015; Moura 2021). Sugerindo assim, que moradores de uma região mais poluída sofrem efeitos fisiológicos decorrentes da exposição à poluição quando comparados a residentes de áreas com níveis de poluentes mais baixos.

Paolocci et al. (2020) acompanharam 47 participantes de ambos os sexos com idade entre 18 e 60 anos de 1991 a 2002 e mostram que a melhora da qualidade do ar pode diminuir a taxa anual de declínio da função pulmonar na idade adulta. Reduções relativamente pequenas na exposição a PM₁₀ têm benefícios mensuráveis para a função pulmonar, sugerindo que um declínio da poluição do ar, mesmo de níveis baixos, pode ter consequências positivas para a saúde pública.

Avaliaram amostras de tecido pulmonar que foram colhidas durante necropsias de indivíduos que morreram por causas violentas em cidades do estado de São Paulo. Através de uma análise histopatológica, os pulmões coletados dos moradores que residiam em áreas de alta concentração de poluentes apresentaram evidência de lesão pulmonar inflamatória crônica subclínica de dano bronquiolar em comparação com os pulmões dos residentes de ambientes mais limpos, esses efeitos foram observado mesmo depois de controlar as diferenças individuais em idade, sexo e tabagismo e sugerem que a exposição prolongada à poluição do ar a níveis urbanos pode contribuir para a patogênese inflamatória da doença das vias aéreas. (Souza et al., 1998).

Contudo os mecanismos fisiológicos que explicam os efeitos da poluição frente a comprometimentos no sistema cardiorrespiratório permanecem incertos, o processo inflamatório decorrente da exposição aos poluentes com consequência o estresse oxidativo parece influenciar nas respostas respiratórias frente ao exercício, entretanto mais estudos devem ser conduzidos a fim de desvendar os efeitos deletérios causados pela poluição atmosférica no organismo humano.

5. Conclusão

Podemos concluir que indivíduos residentes da grande São Paulo apresentam eficiência respiratória diminuída quando comparada aos moradores de região costeira durante teste de esforço máximo.

Ressaltamos que o momento atual é de grande preocupação devido à problemática da poluição ambiental. Faz-se necessários mais investigações acerca da influência da poluição sobre o organismo como um todo, principalmente durante o exercício físico, período pelo qual há aumento da circulação sanguínea e frequência respiratória, acarretando incremento hemodinâmico de partículas nocivas no organismo humano.

Referências

- Adamkiewicz, G., Ebel, S., Syring, M., Slater, J., Speizer, F. E., Schwartz, J., Suh, H., & Gold, D. R. (2004). Association between air pollution exposure and exhaled nitric oxide in an elderly population. *Thorax*, 59(3), 204–209. <https://doi.org/10.1136/thorax.2003.006445>
- Al-Kindi, S. G., Brook, R. D., Biswal, S., & Rajagopalan, S. (2020). Environmental determinants of cardiovascular disease: lessons learned from air pollution. *Nature reviews. Cardiology*, 17(10), 656–672. <https://doi.org/10.1038/s41569-020-0371-2>

- Castro, H. A. D., Hacon, S., Argento, R., Junger, W. L., Mello, C. F. D., Castiglioni Júnior, N., & Costa, J. G. D. (2007). Air pollution and respiratory diseases in the Municipality of Vitória, Espírito Santo State, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, 23, S630-S642.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2019). Qualidade do Ar. Cetesb.sp. Consultado a 13 de maio de 2022. <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2019/05/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-do-Ar>
- DeMeo, D. L., Zanobetti, A., Litonjua, A. A., Coull, B. A., Schwartz, J., & Gold, D. R. (2004). Ambient air pollution and oxygen saturation. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 170(4), 383–387. <https://doi.org/10.1164/rccm.200402-244OC>
- Dockery, D. W., Pope, C. A., 3rd, Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris, B. G., Jr, & Speizer, F. E. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *The New England Journal of Medicine*, 329(24), 1753–1759. <https://doi.org/10.1056/NEJM199312093292401>
- Downs, S. H., Schindler, C., Liu, L.-J. S., Keidel, D., Bayer-Oglesby, L., Brutsche, M. H., Gerbase, M. W., Keller, R., Künzli, N., Leuenberger, P., Probst-Hensch, N. M., Tschopp, J.-M., Zellweger, J.-P., Rochat, T., Schwartz, J., Ackermann-Liebrich, U., & SAPALDIA Team. (2007). Reduced exposure to PM10 and attenuated age-related decline in lung function. *The New England Journal of Medicine*, 357(23), 2338–2347. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa073625>
- Fajersztajn, L., Saldiva, P., Pereira, L. A. A., Leite, V. F., & Buehler, A. M. (2017). Short-term effects of fine particulate matter pollution on daily health events in Latin America: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Public Health*, 62(7), 729–738. <https://doi.org/10.1007/s00038-017-0960-y>
- World Health Organization. (2015). *Investing to overcome the global impact of neglected tropical diseases: Third WHO report on neglected tropical diseases 2015*. Consultado 13 de maio de 2022. [http://www.who.int/publications.i.item/Investing to overcome the global impact of neglected tropical diseases: third WHO report on neglected tropical diseases](http://www.who.int/publications.i.item/Investing%20to%20overcome%20the%20global%20impact%20of%20neglected%20tropical%20diseases%3A%20third%20WHO%20report%20on%20neglected%20tropical%20diseases)
- Godoy, M. L. D. P., Godoy, J. M., Roldão, L. A., Soluri, D. S., & Donagemma, R. A. (2009). Coarse and fine aerosol source apportionment in Rio de Janeiro, Brazil. *Atmospheric Environment (Oxford, England)*, 43(14), 2366–2374. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.12.046>
- Gouveia, N., Mendonça, G., Leon, A. P., Correia, J., & Junger, W. L. (2003). Air pollution and health effects in two Brazilian metropolis. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 12, 29–40.
- Kaiser, J. (1997). Showdown over clean air science. *Science (New York, N.Y.)*, 277(5325), 466–469. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.466>
- La Rovere, M. T., Pinna, G. D., Maestri, R., Mortara, A., Capomolla, S., Febo, O., Ferrari, R., Franchini, M., Gnemmi, M., Opasich, C., Riccardi, P. G., Traversi, E., & Cobelli, F. (2003). Short-term heart rate variability strongly predicts sudden cardiac death in chronic heart failure patients. *Circulation*, 107(4), 565–570. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000047275.25795.17>
- Libby, P., Ridker, P. M., & Maseri, A. (2002). Inflammation and atherosclerosis. *Circulation*, 105(9), 1135–1143. <https://doi.org/10.1161/hc0902.104353>
- Mascarenhas, M. D. M., Vieira, L. C., Lanzieri, T. M., Leal, A. P. P. R., Duarte, A. F., & Hatch, D. L. (2008). Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil - Setembro, 2005. *Jornal brasileiro de pneumologia: publicação oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia*, 34(1), 42–46. <https://doi.org/10.1590/s1806-37132008000100008>
- Moura, P. H., Santos, D. W. L., Silva, J. M., Pereira, P. G., da Silva, F. G. (2021). Poluição atmosférica e hospitalizações por agravos em idosos em Nova Iguaçu. *Estudos interdisciplinares envelhecimento*, 1, 411-430. DOI: 10.22456/2316-2171.101855
- Nemmar, A., Hoylaerts, M. F., Hoet, P. H. M., & Nemery, B. (2004). Possible mechanisms of the cardiovascular effects of inhaled particles: systemic translocation and prothrombotic effects. *Toxicology Letters*, 149(1–3), 243–253. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2003.12.061>
- Paolucci, G., Bauleo, L., Folletti, I., Murgia, N., Muzi, G., & Ancona, C. (2020). Industrial air pollution and respiratory health status among residents in an industrial area in Central Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 3795. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113795>
- Pereira, A. S., Shituka, D. M., Parreira, F. J., & Shituka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*.
- Pereira, B. B. & Limongi, J. E. (2015) Epidemiologia de desfechos na saúde humana relacionados à poluição atmosférica no Brasil: Revisão sistemática. *Cadernos de Saúde Coletiva*, 23 (2): 91-100. DOI: 10.1590/1414-462X201400050103
- Pope, C. A., 3rd, Thun, M. J., Namboodiri, M. M., Dockery, D. W., Evans, J. S., Speizer, F. E., & Heath, C. W., Jr. (1995). Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 151(3 Pt 1), 669–674. https://doi.org/10.1164/ajrccm/151.3_Pt_1.669
- Rundell, K. W., Anderson, S. D., Sue-Chu, M., Bougault, V., & Boulet, L.-P. (2015). Air quality and temperature effects on exercise-induced bronchoconstriction. *Comprehensive Physiology*, 5(2), 579–610. <https://doi.org/10.1002/cphy.c130013>
- Samet, J. M., Cohen, A. J., Holgate, S. T., Samet, J. M., & Koren, H. S. (1999). Air Pollution and Lung Cancer (A. Pollutions & Health, Orgs.). *Academic Press: 1. Ed. London, United Kingdom*.
- Schwartz, J., & Dockery, D. W. (1992). Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations. *The American Review of Respiratory Disease*, 145(3), 600–604. <https://doi.org/10.1164/ajrccm/145.3.600>
- Souza, M. B., Saldiva, P. H. N., Pope, C. A., III, & Capelozzi, V. L. (1998). Respiratory changes due to long-term exposure to urban levels of air pollution. *hest*, 113(5), 1312–1318. <https://doi.org/10.1378/chest.113.5.1312>
- Task Force of the European Society of Cardiology the North A Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043–1065. <https://doi.org/10.1161/01.cir.93.5.1043>
- Van Eeden, S. F., Yeung, A., Quinlan, K., & Hogg, J. C. (2004). Systemic Response to Ambient Particulate Matter: Relevance to Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Proc. Am. Thorac. Soc*, 2, 61–67. <https://doi.org/10.1513/pats.200406-035MS>
- Zelikoff, J. T., Chen, L. C., Cohen, M. D., Fang, K., & Gordon, T. (2003). Effects of Inhaled Ambient Particulate Matter on Pulmonary Antimicrobial Immune Defense. *Inhal. Toxicol*, 15, 131–150. <https://doi.org/10.1080/089583703004478>