

Sandra Magali Heberle

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: o caso dos condutores de
transporte público.

Universidade Fernando Pessoa

Porto/2019

Sandra Magali Heberle

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: o caso dos condutores de
transporte público.

Universidade Fernando Pessoa

Porto/2019

© 2019

Sandra Magali Heberle

“TODOS OS DIREITOS RESERVADOS”

Sandra Magali Heberle

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: o caso dos condutores de transporte público.

Tese apresentada à Universidade Fernando Pessoa como parte dos requisitos para obtenção do grau de doutor em Ecologia e Saúde Ambiental, sob a orientação do Prof. Doutor Nelson Barros e coorientação da Prof.^a Doutora Michele dos Santos Gomes da Rosa.



Universidade Fernando Pessoa
www.ufp.pt

Sandra Magali Heberle

" Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: o caso dos condutores de transporte público."

Tese apresentada à Universidade Fernando Pessoa para obtenção do grau de Doutor em Ecologia e Saúde Ambiental, sob a orientação do Prof. Doutor Nelson Augusto Cruz de Azevedo Barros e co-orientação da Profª. Doutora Michele dos Santos Gomes da Rosa.

Aprovada em: 19/07/2019

Conceito: Muito Bom, equivalente a Dezasseis valores, na escala europeia de 0-20.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Doutor Salvato Vila Verde Pires Trigo,
Reitor da Universidade Fernando Pessoa

Prof. Doutor Nelson Augusto Cruz de Azevedo Barros,
professor Associado da Universidade Fernando Pessoa
(Orientador)

Profª Doutora Maria Conceição Antas de Barros Menéres Manso,
professora Associada da Universidade Fernando Pessoa
(Vogal)

Profª Doutora Margarida Maria Correia Marques,
professora Auxiliar da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
(Arguente)

Prof. Doutor Manuel Joaquim Sabença Feliciano,
professor Auxiliar do Instituto Politécnico de Bragança
(Arguente)

Porto, Portugal, 2019



Fundação Ensino e Cultura "Fernando Pessoa"

NIPC 502 057 602 - Reg. Comercial nº 26 Conservatória do Registo Comercial do Porto

REITORIA - [Faculdade de Ciências Humanas e Sociais] - [Faculdade de Ciência e Tecnologia] Praça 9 de Abril, 349 - 4249-004 Porto-Portugal - T. +351 22 507 1300 - F. +351 22 550 8269 - geral@ufp.pt
[Faculdade de Ciências da Saúde] - [Escola Superior de Saúde] R. Carlos Da Maia, 296 - 4200-150 Porto - Portugal - T. +351 22 507 4630 - F. +351 22 507 4637 - R. Delém Maia, 334 - 4200-253 Porto - Portugal
T. +351 22 509 6371 - geral.asaude@ufp.pt UNIDADE de Ponte de Lima - Casa da Garrida - R. Conde de Bertandos - 4990-078 Ponte de Lima-Portugal - T. +351 258 741 026 - F. +351 258 741 412 - geral.plima@ufp.pt

RESUMO

SANDRA MAGALI HEBERLE: Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: o caso dos condutores de transporte público.

Sob orientação do Prof. Doutor Nelson Barros e coorientação da Prof.^a Doutora Michele dos Santos Gomes da Rosa.

Hoje, 50% da população vive em cidades e aglomerados urbanos exposta a níveis progressivamente maiores de poluentes do ar. O NO₂ é um dos poluentes mais presentes nesse meio, sendo preocupante pela sua capacidade em reduzir a função pulmonar devido à exposição de alguns grupos profissionais. Este estudo teve por objetivo quantificar a exposição ao NO₂ dos motoristas de ônibus, avaliar a existência de redução do trabalho respiratório, correlacionar a função pulmonar com a ação do NO₂ e verificar se a função pulmonar diminui conforme o tempo de exposição ao NO₂. Trata-se de um estudo transversal, e os dados foram processados usando-se a razão de prevalência com indivíduos de 20 a 60 anos, que exercem a função de condutores de ônibus (*Grupo Alvo*) e função administrativa (*Grupo Controle*), em Caxias do Sul, RS, Brasil. Os participantes utilizaram um amostrador passivo de NO₂ durante o trabalho. Foram feitas duas campanhas de três semanas: uma no inverno e outra no verão. Verificaram-se os níveis de NO₂ em três locais no exterior: um diretamente afetado pelas emissões de tráfego, outro longe dessas emissões e um terceiro, na garagem dos ônibus. Os valores na estação de “tráfego” são superiores (47,0 %) aos da estação de “fundo”, mas inferiores (-16,1%) aos da estação da garagem dos ônibus. Observou-se que a exposição ao NO₂ pelos motoristas é superior à do pessoal administrativo ($p < 0,001$) com diferença de 93,8%.

No verão, essa diferença é mais acentuada, sendo de 246%. Os motoristas estão expostos a valores superiores ao valor guia de proteção da saúde humana da OMS ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), o que é mais grave durante o inverno do que no verão. Ocorreram variações tanto no VEF_1 como no $\text{FEF}_{25-75\%}$, assim como na CVF e VEF_1/CVF , porém não se identificaram alterações estatisticamente significativas entre os grupos. Há estudos que demonstram associação entre as alterações respiratórias e exposição prolongada ao NO_2 . Os resultados aqui encontrados demonstram que tanto os motoristas como os passageiros poderão estar expostos a valores não seguros de concentração de poluentes no ar interior dos ônibus, devendo, pois, este tipo de estudo prosseguir e ser aprofundado.

Palavras-chave: Condutores de ônibus; dióxido de nitrogênio; poluição atmosférica; poluição do ar.

ABSTRACT

SANDRA MAGALI HEBERLE: The effects of atmospheric pollution in respiratory health: the case of public transport drivers.

Under the guidance of Professor Doctor Nelson Barros and co-guidance of Professor Doctor Michele dos Santos Gomes da Rosa.

Today, 50% of the population lives in cities and urban agglomerates exposed to progressively higher levels of air pollutants. The NO₂ is one of the pollutants that are most present in this midst, raising worry for its capacity to reduce lung function, due to the exposure of some professional groups. This study had the objective to quantify NO₂ exposure of bus drivers, to evaluate the existence of reduction in respiratory work, to correlate lung function with NO₂ action and to verify if the lung function reduces according to exposure time to NO₂. The present work is transversal, and the data was processed using the prevalence ratio with individuals between 20 and 60 years old, that work as bus drivers (*Target group*) and in the administrative area (*Control group*), in Caxias do Sul, RS, Brazil. The participants used a passive NO₂ sampler at work. Two three-week campaigns were conducted in winter and summer. The NO₂ levels were verified in three locations abroad: one directly affected by traffic emissions, another far from these emissions and a third, in the garage of buses. The values at the “traffic” station are higher (47.0%) than those at the “bottom” station, but lower (-16,1%) than those at the garage of buses. It was possible to observe that the exposure to NO₂ by drivers is higher than that of the administrative staff ($p < 0.001$) with a difference of 93.8%. In

summer, the difference is more pronounced, being 246%. The drivers are exposed to values higher than the limit value for human's health protection of WHO ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), which is even more severe during winter than in the summer. There were variations in both FEV_1 and $\text{FEF}_{25-75\%}$, as well as in FVC and FEV_1/FVC , but no statistically significant changes were identified between groups. There are studies that show an association between respiratory changes and prolonged exposure to NO_2 . The results here found demonstrate that both drivers and passengers may be exposed to unsafe concentrations of pollutants in the inner air of buses and, therefore, this type of study should be continued and deepened.

Keywords: Bus drivers; nitrogen dioxide; atmospheric pollution; air pollution.

RÉSUMÉ

SANDRA MAGALI HEBERLE: Les effets de la pollution de l'air sur la santé respiratoire: le cas des conducteurs de transport en commun.

Sous la supervision du Pr. Dr. Nelson Barros et co-supervision si Pr. Dr. Michele dos Santos Gomes da Rosa.

Aujourd'hui, 50% de la population vit dans des villes et des agglomérations urbaines exposées à des niveaux de plus en plus élevés de polluants atmosphériques. Le NO₂ est l'un des polluants les plus présents dans cet environnement et est préoccupant par sa capacité de réduire la fonction pulmonaire en raison de l'exposition de certains groupes de professionnels. L'objectif de cette étude a été de quantifier l'exposition au NO₂ des conducteurs de bus, d'évaluer l'existence d'une réduction du travail respiratoire, de corréler la fonction pulmonaire avec l'action du NO₂ et de vérifier si la fonction pulmonaire diminuait en fonction du temps d'exposition au NO₂. Il s'agit d'une étude transversale. Les données ont été traitées à l'aide du taux de prévalence auprès des individus âgés de 20 à 60 ans, chauffeurs de bus (*Groupe cible*) et employés administratifs (*Groupe témoin*), à Caxias do Sul, RS, Brésil. Les participants ont utilisé un échantillonneur passif de NO₂ au travail. Deux campagnes de trois semaines ont été menées en hiver et en été. Des niveaux de NO₂ ont été observés à trois endroits hors de la ville: l'un directement affecté par les émissions du trafic, un autre loin de ces émissions et le troisième dans le garage de bus. Les valeurs à la station "trafic" sont plus élevées (47,0%) que celles de la station "baisse", mais inférieures (-16,1%) à celles de la station

du garage de bus. Il a été observé que l'exposition des conducteurs au NO₂ était supérieure à celle du personnel administratif ($p < 0,001$) avec une différence de 93,8%. En été, cette différence est plus marquée: 246%. Les conducteurs sont exposés à des valeurs supérieures à la limite de protection de la santé humaine établie par l'OMS ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), ce qui est plus sévère en hiver qu'en été. Il y a eu des variations à la fois dans le VEF₁ et dans le FEF_{25-75%}, ainsi que dans le CVF et le VEF₁/CVF, mais aucun changement statistiquement significatif n'a pas été identifié entre les groupes. Certaines études démontrent une association entre les changements respiratoires et une exposition prolongée au NO₂. Les résultats montrent que les conducteurs et les passagers peuvent être exposés à des concentrations dangereuses de polluants dans l'air intérieur des autobus. Ce type d'étude devrait donc être poursuivi et approfondi.

Recherche: Chauffeurs de bus; dioxyde d'azote; pollution atmosphérique; pollution de l'air.

“Ninguém pode construir em teu lugar as pontes que precisarás passar, para atravessar o rio da vida – ninguém, exceto tu, só tu. Existem, por certo, atalhos sem números, e pontes, e semideuses que se oferecerão para levar-te além do rio; mas isso te custaria a tua própria pessoa; tu te hipotecarias e te perderias. Existe no mundo um único caminho por onde só tu podes passar. Onde leva? Não perguntes, segue-o!”

Friedrich Nietzsche

DEDICATÓRIA

A minha grande mestre, minha avó, Adelina Pereira de Souza, que me acompanha em todos os momentos de minha vida! (*In memoriam*)

AGRADECIMENTOS

“Aqueles que passam por nós não vão sós, não nos deixam sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós.” (Antoine de Saint-Exupéry)

Estes anos dedicados ao doutoramento e a esta pesquisa foram uma jornada de muitos desafios e amadurecimento em que tive que me superar em múltiplos aspectos, para conseguir chegar ao final, pois nada é realizado sem esforço e dedicação.

Agradeço a minha família por todo apoio, compreensão, carinho e companheirismo em todas as situações, inclusive, nos momentos de ausência.

A meu orientador, Professor Nelson Barros, Doutor em conhecimento, em humildade, em paciência, minha âncora, principalmente, nos momentos em que tive mais dificuldades para enfrentar as muitas exigências desta caminhada. Dele levo esta recomendação: “O caminho se faz caminhando”. Com certeza, nunca me esquecerei desta frase, e ele terá sempre meu respeito, admiração e amizade! Muito obrigada!

A minha coorientadora, Doutora Michele dos Santos Gomes da Rosa, colega de trabalho e amiga, que sempre me incentivou e auxiliou, estando disponível quando os desafios pareciam sem solução.

A todos os professores das disciplinas que tive a oportunidade de cursar na Universidade Fernando Pessoa, grandes mestres, por colaborarem na formação e construção do conhecimento. Muitos dos ensinamentos recebidos estão nesta tese.

À empresa de ônibus VISATE, por permitir que eu interviesse em sua organização, apoiando-me na realização desta pesquisa, em especial, a seu Supervisor Operacional, Sr. Valdemir V. da Silva, por sua disponibilidade em tantos momentos, durante a coleta de dados, os quais geraram conhecimento ao serem compartilhados.

A minha mãe, Arlinda Maria Caetano Fontes, professora e minha inspiradora, por sua imensa colaboração e dedicação em várias etapas do desenvolvimento desta tese.

A Claudia Lorini, ex-aluna e, hoje, colega de profissão, pela dedicação e ajuda incansáveis na realização da coleta de dados.

Aos vários motoristas e funcionários do escritório da VISATE, que reservaram uma parcela de seu precioso tempo para tornar possível este estudo, contribuindo com muita disponibilidade e boa vontade em participar.

Ao amigo, Maurício Machado da Rosa, pelas várias dicas de informática e, também, a formatação final desta tese.

A Adriano Marangoni Heberle, pela parceria e paciência, auxiliando-me nas viagens, coletas, tabulação dos dados e, principalmente, pela compreensão das minhas ausências, em que estive dedicada ao desenvolvimento da tese.

A meu filho, Matheus Gomboski e a minha filha do coração, Jessica Moraes, pela compreensão e apoio constantes em momentos difíceis, auxiliando-me em várias etapas do trabalho. Creio que este momento, aliado a minha trajetória profissional, seja um dos maiores exemplos de determinação e esforço que posso lhes deixar.

A meu irmão, Éverton Leandro Silva, pelo apoio constante.

Aos colegas de doutoramento, pelos momentos de convivência em que, mesmo a distância, sempre estiveram me apoiando.

À Universidade Fernando Pessoa, da cidade de Porto, em Portugal, que acolheu tão calorosamente a turma e cada um em particular.

Aos amigos que conquistei em Portugal, terra receptiva que aprendi a amar.

Ao amigo brasileiro que conheci na cidade de Porto, PT, Guilherme Buest, pela colaboração prestada, inclusive, ajudando-me a enfrentar a escassez do tempo, realizando diligências que me permitiram reduzir o número das longas viagens entre Brasil e Portugal.

Por fim, agradeço, sincera e profundamente, a todos que, de alguma forma me acompanharam e ajudaram na realização desta tarefa tão complexa em que me envolvi. Obrigada por tudo!

Palavras é pouco para definir a imensa satisfação de chegar ao final! Nada é tão nosso quanto os nossos sonhos.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xxii
ÍNDICE DE TABELAS.....	xxv
LISTA DE ABREVIATURAS	xxvii
LISTA DE SÍMBOLOS QUÍMICOS.....	xxxii
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUÇÃO	2
1.1. Enquadramento.....	2
1.2. Objetivos Gerais	7
1.3. Estrutura da Tese.....	9
CAPÍTULO II.....	11
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	12
2.1. Propriedades do dióxido de nitrogênio	12
2.2. O dióxido de nitrogênio na atmosfera.....	13
2.3. O NO₂ no ar interior: o caso particular dos ônibus	15
2.4. A exposição ocupacional dos motoristas de ônibus	16

2.5. Legislação aplicável	20
2.6. Controlo do ar no Estado do Rio Grande do Sul – Brasil	26
2.7. Influência da meteorologia.....	29
2.7.1. Fatores que influenciam na dispersão dos poluentes.....	30
2.7.2. Vento.....	31
2.7.3. Turbulência.....	33
2.7.4. Estabilidade atmosférica	33
2.7.5. Inversão térmica	34
2.8. Anatomia do Sistema Respiratório.....	35
2.8.1. Controlo Respiratório	37
2.8.2. A capacidade pulmonar e os volumes pulmonares	38
2.9. Espirometria	40
2.9.1. Padrões básicos a serem reconhecidos na espirometria.....	43
2.9.2. Valores de referência	44
Capítulo III	45
3. METODOLOGIA.....	46
3.1. Objetivos específicos.....	46
3.2. Metodologia seguida.....	47
3.2.1. Apresentação do caso de estudo.....	48
3.2.1.1. Enquadramento geográfico e socioeconômico.....	50
3.2.1.2. Tráfego	52
3.2.2. Coleta de dados e Instrumentos de Investigação	55
3.2.3. Período e técnica de amostragem	55

3.2.4. Observação meteorológica	58
3.2.5. Avaliação do NO ₂ no ambiente exterior	58
3.2.6. Exposição ao NO ₂ no ambiente interior	61
3.2.7. Espirometria	63
3.3. Análise dos dados	65
Capítulo IV.....	68
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	69
4.1. Apresentação dos resultados.....	69
4.1.1. Caracterização da amostra.....	70
4.1.2. Observação meteorológica	71
4.1.3. Avaliação do NO ₂ no ambiente exterior	78
4.1.4. Exposição ao NO ₂ no ambiente interior	79
4.1.5. Espirometria	81
4.2. Discussão dos resultados.....	84
Capítulo V.....	104
5. CONCLUSÃO.....	105
5.1. Conclusões principais	106
5.2. Limitações do estudo	110
5.3. Linhas de futuras investigações	111
REFERÊNCIAS	114
APÊNDICES.....	128
Apêndice A. Teste de Função Pulmonar.....	129

Apêndice B. Artigo Publicado: Evaluation of bus driver exposure to nitrogen dioxide levels during working hours.....	130
Apêndice C. Capítulo de Livro Publicado: The Effects of Atmospheric Pollution in Respiratory Health.....	132
Apêndice D. Apresentação no Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG, publicado nos Anais.....	157
Apêndice E. Apresentação no Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG, publicado nos Anais.....	161
Apêndice F. Publicação nos Anais da XII Mostra Científica do Cesuca	167
Apêndice G. Apresentação na Semana Científica do Hospital de Clínicas de Porto Alegre - HCPA.....	176
Apêndice H. Apresentação no II Congresso Luso-Brasileiro de Segurança, Saúde Ocupacional e Ambiental - SsOA 2017	177
Apêndice I. Declaração de Ciência e Concordância das Instituições Envolvidas.	194
Apêndice J. Termo de participação no estudo.	195
Apêndice K. Termo de Confidencialidade e Sigilo.	196
Apêndice L. Amostrador passivo no estacionamento dos ônibus, em Caxias do Sul, em janeiro de 2018.....	198
Apêndice M. Amostrador passivo na Rua Sinimbu, em Caxias do Sul, em janeiro de 2018.	199
Apêndice N. Amostrador passivo no Parque Getúlio Vargas, em Caxias do Sul, em janeiro de 2018.	200
Apêndice O. Rosa dos ventos do período de 28 de junho de 2017 a 20 de julho de 2017, em Caxias do Sul.....	201
Apêndice P. Classificação dos ventos, em Caxias do Sul, no período de 28 de junho de 2017 a 20 de julho de 2017.	202

Apêndice Q. Rosa dos ventos do período de 03 a 24 de janeiro de 2018, em Caxias do Sul.	203
Apêndice R. Classificação dos ventos, em Caxias do Sul, no período de 03 a 24 de janeiro de 2018.	204
ANEXOS	205
Anexo A. Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998.	206
Anexo B. RESOLUÇÃO nº 491, de 19 de novembro de 2018.	211
Anexo C. Código Estadual do Meio Ambiente.	221
Anexo D. Vista do satélite de Caxias do Sul – Brasil.	222
Anexo E. Acreditação PASSAM.	223
Anexo F. Amostradores passivos de NO ₂	224
Anexo G. Carta de aprovação do estudo.	226
Anexo H. Parecer Consubstanciado do CEP.	227

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1. Mapa representativo do Estado do Rio Grande do Sul com os pontos de monitoramento do ar.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 2.2. Rosa dos ventos e suas direções.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 2.3. Anatomia do Sistema respiratório.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 2.4. Volumes e Capacidades Pulmonares.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 2.5. Curvas fluxo-volume e volume-tempo.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 2.6. Comparação das curvas fluxo-volume e volume-tempo apresentando padrões normal, obstrutivo e restritivo.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3.1. Mapa da localização da garagem dos ônibus na cidade de Caxias do Sul.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3.2. Vista da garagem da empresa de ônibus em junho de 2017.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3.3. Prédio do escritório da empresa de ônibus onde trabalha o Grupo Controlo.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3.4. Ponto de localização da cidade de Caxias do Sul, RS, Brasil.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 3.5. Vista aérea da cidade de Caxias do Sul.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3.6. Rua central de Caxias do Sul.</i>	<i>52</i>

<i>Figura 3.7. Amostradores passivos de NO₂ utilizados.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 3.8. Mapa da garagem de estacionamento da empresa de ônibus, em Caxias do Sul, Brasil.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3.9. Mapa da Rua Sinimbu, em Caxias do Sul, Brasil.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.10. Mapa da localização do Parque Getúlio Vargas, em Caxias do Sul, Brasil.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3.11. Amostrador passivo de NO₂ utilizado preso ao crachá.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.12. Motorista realizando exame de espirometria.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 4.1. Rosa dos ventos durante a campanha de inverno.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 4.2. Frequência e distribuição da velocidade do vento durante a campanha de inverno.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 4.3. Rosa dos ventos durante a campanha de verão.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 4.4. Frequência e distribuição da velocidade do vento durante a campanha de verão.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 4.5. Valores de função pulmonar observados no Grupo Alvo comparados com os valores de função pulmonar previstos, estratificados por estação climática.</i>	<i>83</i>
<i>Figura 4.6. Valores de função pulmonar observados no Grupo Controle comparados com os valores de função pulmonar previstos, estratificados por estação climática.</i>	<i>84</i>
<i>Figura 4.7. Nível de exposição ao NO₂ (µg.m⁻³) na campanha de inverno.</i>	<i>87</i>
<i>Figura 4.8. Nível de exposição ao NO₂ (µg.m⁻³) na campanha de verão.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 4.9. Dispersão dos valores de concentração de NO₂ (µg.m⁻³) na campanha de inverno, entre o Grupo Alvo (em vermelho) e o Grupo Controle (em preto), em relação aos locais externos analisados.</i>	<i>90</i>

<i>Figura 4.10. Dispersão dos valores de concentração de NO₂ (μg.m⁻³) na campanha de verão entre o Grupo Alvo (em vermelho) e o Grupo Controlo (em preto), em relação aos locais externos analisados.</i>	91
<i>Figura 4.11. Gráfico de dispersão de pontos entre a razão VEF₁/CVF e níveis de NO₂ (μg.m⁻³) na campanha de inverno.</i>	94
<i>Figura 4.12. Gráfico de dispersão de pontos entre a razão VEF₁/CVF e níveis de NO₂ (μg.m⁻³) na campanha de verão.</i>	95

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 2.1. Padrões nacionais de qualidade do ar segundo resolução CONAMA n.º 491, de 21/11/2018</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 2.2. Critérios para episódios agudos de poluição do ar</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 2.3. Índices de qualidade e faixas de concentração correspondentes por poluente</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 2.4. Qualidade do ar e efeitos na saúde</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 2.5. Locais de rede automática de monitoramento do ar no Estado do Rio Grande do Sul – Brasil</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 3.1. Frota de veículos registrados</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 3.2. Frota veicular por combustível – Junho de 2017</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 3.3. Período de realização das campanhas e dados monitorizados</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 4.1. Caracterização da amostra</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 4.2. Apresentação das variáveis meteorológicas consideradas relevantes e observadas durante a campanha de inverno</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 4.3. Apresentação das variáveis meteorológicas consideradas relevantes e observadas durante a campanha de verão</i>	<i>76</i>

<i>Tabela 4.4. Valores de concentração de NO₂ no ambiente exterior, durante as campanhas de inverno e de verão.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 4.5. Concentração de NO₂ no ambiente interior, durante as campanhas de inverno e de verão</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 4.6. Valores de espirometria encontrados.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 4.7. Matriz de correlação entre NO₂ (µg.m⁻³), valores de espirometria, tempo de exercício profissional e tempo de exposição ao NO₂ (µg.m⁻³) durante o inverno ..</i>	<i>96</i>
<i>Tabela 4.8. Matriz de correlação entre NO₂ (µg.m⁻³) e valores de espirometria no verão</i>	<i>98</i>

LISTA DE ABREVIATURAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ATS – American Thoracic Society

BTS – British Thoracic Society

°C – Graus Celsius

CAAE – Certificado de apresentação para Apreciação Ética

CI – Capacidade Inspiratória

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CLP – Camada Limite Planetária

COMAR – Comando da Aeronáutica

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPT – Capacidade Pulmonar Total

CR – Centro Respiratório

CRF – Capacidade Residual Funcional

CV – Capacidade Vital

CVF – Capacidade Vital Forçada

DEA – Departamento de Educação Ambiental

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

DETRAN – Departamento Estadual de Trânsito

DMP – Diferença de Médias Padronizada

DP – Desvio Padrão

DPOC – Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

E – Leste

EPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (United States Environmental Protection Agency)

ERS – European Respiratory Society

ESEF – Escola Superior de Educação Física

EUA – Estados Unidos da América

F – Fluxo

FEF – Fluxo Expiratório Forçado

FEF_{25-75%} – Fluxo Expiratório Forçado nos momentos 25-75%

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GNV – Gás Natural Veicular

QAI – Qualidade do Ar Interior

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Intervalo de Confiança

IEC – Comissão Eletrotécnica Internacional

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INMETRO – Instituto Nacional de Meteorologia, Normalização e Qualidade Industrial

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change)

IQAr – Índice de Qualidade do Ar

ISO – Organização Internacional de Normatização (International Organization for Standardization)

MAA – Média Aritmética Anual

MGA – Média Geométrica Anual

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MP – Material Particulado

MP₁₀ – Material Particulado com diâmetro inferior a 10 micrômetros (μm)

MP_{2,5} – Material Particulado com diâmetro inferior a 2,5 micrômetros (μm)

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego

N – Norte

NC – Normal Climatológica

NE – Nordeste

NW – Noroeste

OMS – Organização Mundial da Saúde

PCPV – Programa de Controle de Poluição Veicular

PFE – Pico de Fluxo Expiratório

PI – Partículas Inaláveis

PI₁₀ – Partículas Inaláveis com diâmetro inferior a 10 micrômetros (μm)

PIB – Produto Interno Bruto

PPB – Partes Por Bilhão

PPM – Partes Por Milhão

PQAr – Programa de Qualidade do ar

PSI – Pollutant Standard Index

PTS – Partículas Totais em Suspensão

R – Coeficiente de Correlação (identificado como R na regressão múltipla)

RS – Rio Grande do Sul

S – Sul

SAIC – Secretaria da Articulação Institucional e Cidadania Ambiental

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SESI – Serviço Social da Indústria

SE – Sudeste

SP – São Paulo

SPSS – Statistical Package for the Social Sciences

SW – Sudoeste

t – Tempo

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

UE – União Europeia

V – Volume

VC – Volume Corrente

VEF₁ – Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo

VR – Volume Residual

VRE – Volume de Reserva Expiratório

VRI – Volume de Reserva Inspiratório

W – Oeste

WHO – World Health Organization

LISTA DE SÍMBOLOS QUÍMICOS

CO – Monóxido de Carbono

HC – Hidrocarbonetos

NO – Óxido Nítrico

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

NO₂ – Dióxido de Nitrogênio

O₂ – Oxigênio

O₃ – Ozônio

SO₂ – Dióxido de Enxofre

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: o caso dos condutores de transporte público.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo inicial, busca-se enquadrar a temática abordada no universo científico de sua natureza, definir os objetivos gerais que se pretende atingir com a pesquisa e mostrar a estrutura a que o trabalho deverá conformar-se.

1.1. Enquadramento

A poluição atmosférica é descrita como a introdução na atmosfera de qualquer matéria ou energia que venha a alterar suas propriedades, afetando, por isso, a "saúde" das espécies animais ou vegetais que dependam dessa atmosfera (Braga et al., 2001), que tenham contato com ela, ou, ainda, que venham provocar modificações físico-químicas nas espécies minerais que dela se aproximem (Organização Mundial da Saúde, 2008).

Com a evolução tecnológica, o crescimento das cidades, a aglomeração populacional e o aumento, também, dos meios de transporte, a poluição atmosférica vem se tornando um problema cada vez mais sério e frequente nos grandes centros urbanos (Kuriyama et al., 1997). Sendo assim, o tráfego de veículos automotores, que oferece contribuição extremamente importante em vários aspectos (Kuriyama et al., 1997), por outro lado, é bastante nocivo devido à emissão de muitos poluentes (Arbex et al., 2012).

As principais consequências da exposição aos poluentes atmosféricos na saúde da população são estas: indisposição, irritação nos olhos, garganta e narinas, alteração na função pulmonar, doenças respiratórias e cardiovasculares, visitas frequentes à emergência, internações hospitalares e, até, mortes (Arbex et al., 2012). Elas são decorrências da emissão, por várias fontes, dos poluentes em questão, aumento nos sintomas de doenças (Arbex et al., 2012), no número de atendimentos em emergências, de internações hospitalares e de óbitos (Organização Mundial da Saúde, 2008). As exposições crônicas favorecem o aumento de novos casos de asma, de doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e de câncer de pulmão, fazendo com que os poluentes atmosféricos rivalizem com a fumaça do tabaco pelo papel de principal risco para doenças respiratórias (Arbex et al., 2012, Yang et al., 2013, Ngo et al., 2015). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o número de pessoas no mundo que, anualmente, morrem em decorrência dos efeitos da poluição do ar, ultrapassa os sete milhões, e as estatísticas ainda mostram que uma de cada oito dessas mortes relaciona-se com os ambientes contaminados (Girardi, 2014).

Faz-se necessário esclarecer os valores limítrofes dos efeitos à saúde que se pretendem avaliar. Os efeitos à saúde humana, decorrentes da exposição à poluição ambiental, são muitos, de diferentes intensidades e manifestam-se com diversos tempos de latência (Braga et al., 2001, Heberle et al., 2018). Entre os principais, citam-se os seguintes: efeitos comportamentais e cognitivos; doenças pulmonares e sistêmicas; alterações do calibre das vias aéreas; alterações cardiovasculares; alterações reprodutivas; morbidade e mortalidade por doenças cardiorrespiratórias e aumento da incidência de neoplasias. A partir dessas constatações, é possível selecionar os acontecimentos úteis para se determinar o impacto que alguma modificação no meio ambiente exercerá sobre a população que está exposta (Saldiva et al., 2010).

O conceito mais usado para demonstrar um efeito adverso à saúde das pessoas tem sido aquele preconizado pela *American Thoracic Society* (1995), descrevendo o agravo à saúde “como um evento médico significativo, caracterizado por um ou mais dos seguintes fatores: 1) interferência com a atividade normal dos indivíduos afetados; 2) doença

respiratória episódica; 3) doença incapacitante; 4) doença respiratória permanente; 5) disfunção respiratória progressiva”(Braga et al., 2001, Saldiva et al., 2010).

Mesmo que esta definição de efeito adverso ou prejudicial sobre a saúde humana seja muito utilizada para definir formas de avaliação de risco ou ambientais, uma definição exata sobre os valores aceitáveis existentes entre achados estatisticamente significativos e alterações que acarretem prejuízos para a saúde ainda necessitam de mais esclarecimentos (Braga et al., 2001, Saldiva et al., 2010).

As emissões de poluentes por veículos são resultado da combustão ou da evaporação da substância em uso. Os combustíveis mais utilizados em transporte são a gasolina, para os automóveis (veículos mais leves), e o diesel, para ônibus e caminhões (veículos mais pesados). Combustíveis como o álcool (etanol e metanol), mistura de gasolina e álcool, gás natural veicular (GNV) e gás liquefeito de petróleo (GLP) também são empregados em veículos mais leves (Arbex et al., 2012, Braga et al., 2001, Künzli et al., 2010, Novaes et al., 2007, Son et al., 2004).

O ser humano está altamente exposto a essa poluição, e a maioria dos principais poluentes pode prejudicar a função pulmonar e, conseqüentemente, ocasionar danos graves à saúde da população, pois a qualidade do ar interfere, diretamente, no sistema respiratório, devido a sua grande área de contato, podendo, também, atingir a circulação sistêmica através dos pulmões, causando efeitos lesivos em órgãos e sistemas (Brook et al., 2010, Lee et al., 2011b).

Dentre os vários fatores que podem gerar o aparecimento de doenças pulmonares ou cardiovasculares, a poluição atmosférica e o fumo são duas causas importantes que têm sido estudadas. Não só pesquisadores da saúde como também estudiosos de outras áreas estão se preocupando em explorar essa relação da poluição com o desenvolvimento de doenças respiratórias, para, assim, procurar medidas de prevenção (Arbex et al., 2012, Cardoso e Oliveira, 2011, Ghanbari Ghosikali et al., 2016). Em decorrência disso, alguns estudos têm contribuído na busca da prevenção da poluição e, em uma pesquisa realizada por Cortes e Carneiro (2014), é citada a importância do uso do transporte público como

forma de redução de emissões. Tais autores destacam a necessidade de avaliar as condições de trabalho dos motoristas sujeitos a níveis elevados de poluentes. Em pesquisa realizada por Molle et al. (2013), foi mensurada a qualidade do ar existente no interior de ônibus parisienses, fazendo uma comparação entre os níveis de concentração de matéria particulada ($PM_{2,5}$) e NO_2 com os níveis externos. Eles verificaram que, no interior do veículo, esses níveis são maiores, podendo causar prejuízo à saúde dos motoristas que se sujeitam a altas concentrações durante sua jornada de trabalho.

Em outro estudo, realizado com 55 voluntários, na cidade de São Paulo, Brasil, que mediu os níveis de NO_2 , individualmente, durante 7 dias, foi descoberto um número bastante expressivo de pessoas com irritação ocular, quando expostas ao NO_2 em níveis elevados. O NO_2 foi escolhido como indicador da exposição à poluição atmosférica e, nesta pesquisa, foi utilizado o sistema de monitoramento passivo de NO_2 com amostradores passivos em forma de tubos, por se tratar de uma estratégia simples, eficiente e que não interfere nas atividades diárias, permitindo uma boa análise da amostragem, durante três semanas (Novaes et al., 2010).

Os óxidos de nitrogênio são mais frequentemente encontrados junto dos gases de exaustão de processos que envolvem a queima de combustíveis fósseis e, dentre eles, o NO_2 é considerado o de maior importância ambiental/toxicológica na baixa troposfera. O NO_2 está presente, em concentrações significativas, em atmosferas poluídas e é muito mais tóxico (Novaes et al., 2007).

Os níveis de NO_2 atmosférico que são observados em locais externos urbanos variam de acordo com determinados horários do dia, com a estação do ano, com a proximidade e o tipo de fontes de poluentes e com as alterações meteorológicas (Kuriyama et al., 1997). Normalmente, os níveis máximos ocorrem em dois momentos do dia – pela manhã e no final da tarde – e são atribuídos às emissões provenientes do alto tráfego de veículos nesses períodos (Sullivan e Pryor, 2014), considerando-se que, no verão, as concentrações de NO_2 são maiores e mais lesivas (Riley et al., 2016).

O NO₂ é um gás com efeito oxidante, altamente solúvel nos tecidos e, devido a isso, reage não só com o epitélio alveolar, como também com o interstício e o endotélio dos capilares pulmonares, o que é um importante mecanismo responsável pelas lesões pulmonares. Assim, grande parte do NO₂ respirado é retido nos pulmões, sendo depositado na árvore brônquica e alvéolos, que são as unidades respiratórias terminais. Em função disso, o NO₂ lesiona o pulmão, por meio de suas propriedades oxidantes ou, indiretamente, por aumentar a fragilidade pulmonar e ser suscetível às infecções respiratórias (Kuriyama et al., 1997, Tian et al., 2014).

É importante salientar que a exposição ao NO₂ é considerada um evento sentinela em relação à saúde ocupacional, pois algumas doenças respiratórias estão associadas a essa exposição. São elas: bronquites agudas, pneumonias e edemas pulmonares (Braga et al., 2001, Lee et al., 2011b, Monn et al., 1998, Novaes et al., 2007).

Assim, o NO₂ é considerado um marcador de poluentes derivados de combustão produzida pelas emissões veiculares e de outras fontes, tais como a queima de biomassa (Weinmayr et al., 2010). Quando o NO₂ é absorvido pelas vias aéreas de menor calibre, em concentrações muito elevadas (acima de 200ppm), é bastante perigoso, causando lesão pulmonar, edema pulmonar fatal, câncer de pulmão, broncopneumonia e doenças cardiovasculares. Em concentrações mais baixas, causa prejuízo no transporte mucociliar, diminuindo a função dos macrófagos e a imunidade local (Wang et al., 2011, Wu, 2014).

Para entender o impacto dos poluentes atmosféricos na saúde humana – e aqui se destaca o NO₂ –, é necessário medir as concentrações de poluentes de forma contínua, mediante a utilização de estações de monitoramento fixas e, ocasionalmente, por meio de campanhas específicas. Nas cidades, essa monitoração deve ser desenvolvida em locais com alto tráfego rodoviário e áreas residenciais próximas, e os resultados devem, então, ser comparados com os valores-limite, a fim de que possam ser identificados e compreendidos novos problemas de saúde humana, além de se avaliarem as necessidades de uma adaptação adicional aos valores-limite (Barros et al., 2013).

Embora a exposição às partículas de poluentes relacionados ao tráfego e os efeitos disso sobre a saúde humana já tenham sido amplamente estudados, existem, relativamente, poucas publicações considerando a exposição interna nos veículos, durante as deslocamentos a que os usuários e trabalhadores de transportes públicos estão submetidos nas cidades.

Os ônibus circulam em áreas urbanas onde o tráfego é a principal fonte de poluentes. Assim, as concentrações e emissões de tubos de escapes dos veículos bem como as suspensões de poeira de rua são altas (Asmi et al., 2009). O intenso tráfego de veículos e ônibus em áreas urbanas de grandes cidades gera o aumento da concentração de poluentes no ar. Esses agentes podem ser transportados para dentro dos veículos, predispondo o condutor e os passageiros a altas concentrações de poluentes, o que é, especialmente, crítico para os motoristas que se encontram nessa situação por longos períodos durante a jornada de trabalho. Essa exposição prolongada ao transporte tem sido referida como associada a efeitos cardiovasculares, aumento da inflamação das vias aéreas, variabilidade da frequência cardíaca e estresse oxidativo (Heberle et al., 2018, Novaes et al., 2010).

1.2. Objetivos Gerais

Em decorrência da importância do assunto, pretende-se, nesta pesquisa, trabalhar com condutores de ônibus urbanos, pois esses profissionais estão altamente expostos à poluição gerada, principalmente, por frotas veiculares, durante a carga horária, no trânsito dos centros urbanos, sofrendo, diariamente, os efeitos das emissões produzidas pelos veículos.

Os materiais poluentes gerados por combustíveis são considerados relevantes quando inalados de forma permanente, podendo causar problemas respiratórios. Desse modo, busca-se pesquisar a existência de achados importantes sobre os riscos a que esta parcela da população em particular – motoristas de ônibus – possa estar exposta.

O impacto dos efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória da população surge como uma temática com lacunas de conhecimento. Este estudo, portanto, contribuirá muito para a melhoria das condições de saúde das pessoas, assim como para a diminuição dos custos médicos associados aos riscos a que elas se submetem.

A exposição aos poluentes atmosféricos é um fator de risco importante aos seres humanos em geral e, mais ainda, aos condutores de ônibus que estão sujeitos à ação da poluição atmosférica durante a prática de sua atividade laboral. Os profissionais da saúde devem avaliar o perfil de exposição das pessoas para poder orientá-las quanto à prevenção, buscando a redução dos efeitos desses poluentes (Arbex et al., 2012).

A pesquisa poderá contribuir para a validação da importância de se aplicarem medidas que levem à redução dos poluentes, principalmente, nos grandes centros, nos ambientes urbanos onde esses profissionais se multiplicam, pois muitos estudos relatam haver uma ligação entre algumas doenças respiratórias e as exposições prolongadas ao NO₂.

Espera-se chegar ao final do trabalho, podendo apresentar elementos úteis para fortalecer a conscientização ambiental da sociedade, a fim de tornar possível a orientação de medidas preventivas no sentido de propiciar um mundo mais saudável para esta e as futuras gerações.

Os objetivos desta tese podem ser assim elencados: realizar avaliação da função pulmonar em condutores de ônibus que ficam expostos à poluição atmosférica; quantificar a exposição dos motoristas ao NO₂ durante a condução dos ônibus; avaliar a existência de redução do trabalho respiratório; correlacionar a função pulmonar com a ação dos poluentes a que os motoristas estão submetidos; verificar se a função pulmonar diminui conforme o tempo de exposição ao NO₂.

Assim, será relacionada a atividade com os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde dos indivíduos. Desse modo, busca-se confirmar a existência de achados relevantes sobre os riscos a que a população está exposta.

Sabe-se que a poluição atmosférica provoca danos à saúde. Então as questões gerais que serão abordadas podem ser formuladas da seguinte maneira:

- Os condutores de ônibus expostos a essa poluição atmosférica apresentam diminuição da capacidade pulmonar?
- Os condutores de ônibus estão expostos a valores de poluição atmosférica mais elevados de que outros grupos profissionais?

1.3. Estrutura da Tese

O estudo desenvolvido é apresentado ao longo de cinco capítulos. Inicia-se com este capítulo introdutório, onde se mostra a problemática do efeito da poluição atmosférica e se define o objetivo geral da tese.

O capítulo 2 consiste numa revisão de conteúdos sobre assuntos relevantes no contexto do desenvolvimento da pesquisa. Explora-se, principalmente, o impacto dos efeitos da poluição atmosférica, em especial, observando-se os níveis de NO₂ na atmosfera, as fontes emissoras, os efeitos sobre a saúde da população e, sobretudo, a exposição ocupacional dos motoristas de ônibus, identificando-se alguns fatores que já são de conhecimento da comunidade científica. Ainda, no segundo capítulo, faz-se um levantamento da estratégia política relativa à qualidade do ar, tanto ambiente como interior.

No capítulo 3, demonstram-se os objetivos específicos, o domínio do estudo, a metodologia seguida no caso abordado e a zona geográfica, além de se caracterizar a região estudada.

Após isso, no capítulo 4, faz-se a apresentação e a discussão dos resultados, onde se demonstram as campanhas realizadas para os procedimentos de análise deste estudo, os quais foram realizados em duas estações diferentes do ano: inverno de 2017 e verão de 2018. Nesse capítulo, são analisadas e descritas em detalhes as etapas das campanhas executadas.

Os resultados são apresentados em quatro seções diferentes. Primeiramente, serão expostos os efeitos relativos às condições de estabilidade meteorológicas e atmosféricas que permitirão entender e explicar a dinâmica do transporte atmosférico e a dispersão do NO₂ no domínio estudado. Posteriormente, serão mostrados os dados relativos aos índices de concentração de NO₂ encontrados durante as duas campanhas e, também, as análises dos exames de capacidade pulmonar a que foram submetidos os motoristas de ônibus e os funcionários do escritório da mesma empresa em que eles trabalham.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, será feita a revisão da literatura no que concerne ao determinante ambiental em jogo – o dióxido de nitrogênio (NO_2) –, suas propriedades, fontes e efeitos na saúde humana. Será dada atenção especial à presença e aos efeitos desse poluente na saúde dos ocupantes de transportes públicos, em particular, na dos motoristas de ônibus, em face de sua exposição em contexto ocupacional. Parte deste trabalho está publicada em capítulo de livro com circulação internacional (Heberle et al., 2018c).

2.1. Propriedades do dióxido de nitrogênio

O NO_2 é conceituado como um composto químico formado por dois átomos de Oxigênio (O_2) e um de nitrogênio, resultando na fórmula química apresentada como NO_2 . Sua aparência é a de um gás com aspecto acastanhado ou castanho-avermelhado, com cheiro forte e irritante, bastante tóxico, sendo considerado um forte oxidante (Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2018c).

Durante a combustão sob altas temperaturas, o oxigênio sofre reações com o nitrogênio, formando o óxido nítrico (NO), NO_2 e outros óxidos de nitrogênio (Braga et al., 2001).

Esses compostos são muito reativos e, juntamente com oxigênio (O_2), ozônio (O_3) e hidrocarbonetos (HC), o NO se transforma em NO_2 (Bhatt et al., 2013).

Por sua vez, o NO_2 , sob o efeito da luz do sol, reage com hidrocarbonetos e oxigênio, formando O_3 , sendo um dos principais precursores de tal poluente na troposfera. Os níveis de NO_2 nos ambientes internos estão relacionados com as concentrações na rua, uma vez que ele se espalha facilmente de fora para dentro dos espaços interiores, mediante mecanismos de ventilação (Braga et al., 2001). A isso se acrescenta a existência de outras fontes de NO_2 e óxidos de nitrogênio no espaço interior, como fogões a gás de cozinha, aquecedores a querosene (utilizados no inverno) e o tabaco, no caso das residências, ou emissões dos gases de escape, no caso dos veículos com motores a combustão interna (Braga et al., 2001, Dalegrave et al., 2017a, Dapper, 2016).

Quando é inalado, o NO_2 alcança as regiões periféricas do pulmão devido a sua baixa capacidade de solubilidade (Braga et al., 2001). A sua toxicidade, portanto, relaciona-se ao fato de ser uma substância altamente oxidante (Cançado et al., 2006, Souza et al., 2014).

2.2. O dióxido de nitrogênio na atmosfera

O dióxido de nitrogênio presente na atmosfera pode originar diversos compostos que contribuem para fenômenos ambientais, como as chuvas ácidas e a eutrofização¹ de lagos, rios e solo, sendo fundamental no ciclo químico do ozônio. Está ainda associado à formação de aerossóis orgânicos particulados que podem contribuir significativamente

¹ Eutrofização é o crescimento excessivo de plantas aquáticas para níveis que afetem a utilização normal da água devido ao aumento da quantidade de nitrogênio e fósforo.

para a formação da massa total de MP_{10} ou $MP_{2,5}$ (Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2018c).

A atividade antropogênica é responsável pela emissão de NO_2 , produzido, em grande parte, em centrais termoelétricas, pelos transportes rodoviários e pela indústria pesada, assim como pela queima da biomassa. Em meio urbano, o NO_2 é, essencialmente, um gás emitido pelos motores de combustão interna, sendo esses os principais responsáveis pela formação e emissão igualmente de NO , cuja oxidação também está na origem do NO_2 . Assim, no ar ambiente urbano, a presença de NO e de NO_2 é um indicador claro para o tráfego rodoviário (Bhatt et al., 2013).

Na presença da luz solar e de hidrocarbonetos, os óxidos de nitrogênio podem ter um papel relevante na formação de ozônio, considerado um dos poluentes atmosféricos mais severos (Braga et al., 2001, Cançado et al., 2006, Dapper, 2016). Assim, o NO_2 , além de ser um gás poluente com ação altamente oxidante, desempenha, também, um papel-chave na formação do ozônio na troposfera. Por essa razão, além de apresentar efeitos sobre a saúde humana, tem, igualmente, um papel relevante nas alterações do clima (Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2018c).

Para além da atividade antropogênica, o NO_2 pode ter uma origem natural, como o vulcanismo, a atividade microbiana no solo e as descargas elétricas atmosféricas. As emissões naturais são maiores que as antropogênicas, porém, devido a sua distribuição sobre a terra, apresentam menor impacto sobre a concentração deste poluente nos centros urbanos (Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2018c), onde as emissões antropogênicas associadas à atividade rodoviária predominam.

A presença de NO_2 na atmosfera, em concentrações relativamente elevadas, pode levar ao aumento do número de consultas e de internações hospitalares decorrentes de doenças respiratórias (Braga et al., 2001), além de agravamento às respostas das pessoas sensíveis a alérgenos (Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2018c).

Pela sua reatividade, o NO₂ é, ainda, um precursor-chave para uma variedade de poluentes secundários, cujos efeitos sobre a saúde humana estão bem documentados (World Health Organization, 2003). Muitos países industriais realizam medições do dióxido de nitrogênio *in-situ*, mas a informação, geralmente, é escassa.

2.3. O NO₂ no ar interior: o caso particular dos ônibus

Algumas pesquisas relatam que as pessoas usam cerca de 90% de seu tempo em ambientes fechados (WHO, 2013). Assim, para muitas delas, os riscos para a saúde, em consequência da exposição à poluição do ar, podem ser maiores em ambientes fechados do que ao ar livre. Além disso, as pessoas com possibilidade de estarem em contato com poluentes atmosféricos internos, durante períodos mais longos, são, muitas vezes, as mais suscetíveis aos efeitos da poluição do ar interior (EPA, 2017).

Alguns estudos indicam que as fontes comuns de concentrações mais elevadas de NO₂ no interior incluem fogões a gás, aquecedores a querosene, combustão de eletrodomésticos e escapamentos de veículos dentro de garagens, de modo que esse poluente pode alcançar o trato respiratório inferior e penetrar, rapidamente, nas regiões terminais dos pulmões. Ali ele hidrolisa para formar ácido nítrico, que irrita os tecidos internos pulmonares, causando, assim, doenças pulmonares agudas ou, até mesmo, edema pulmonar (Al-Hemoud et al., 2018).

Qualidade do ar interior (QAI) é expressão referente à qualidade do ar dentro de ambientes fechados – como edifícios e veículos – (Anexo A), especialmente, no que se refere à saúde e ao conforto dos ocupantes desses espaços (Magalhães, 2009). Entender e controlar poluentes comuns em locais fechados pode ajudar a diminuir o risco de problemas de saúde a que as pessoas estão submetidas no interior dos ônibus, pois é sabido que os efeitos na saúde decorrentes dos poluentes atmosféricos internos podem ser experimentados logo após a exposição ou, até, anos depois.

Nos últimos anos, um crescente número de evidências científicas tem apontado para o fato de que o ar dentro das residências, edifícios e veículos, principalmente ônibus de passageiros, possa ser mais poluído do que o ar exterior, sobretudo, nas cidades grandes e industrializadas (EPA, 2018).

Esses altos níveis de poluentes dentro dos ônibus podem ser atribuídos à "autopoluição" proveniente do próprio escape do veículo, ou ao ar contaminado oriundo do exterior, introduzido no interior pelo sistema de ventilação forçada, janelas e portas do veículo. Os ônibus são usados, rotineiramente, como modalidade de transporte público, de modo que milhares de viajantes se expõem, diariamente, aos poluentes atmosféricos que eles carregam (Molle et al., 2013).

2.4. A exposição ocupacional dos motoristas de ônibus

Os estudos que medem os poluentes do ar nas áreas urbanas determinam a exposição dos habitantes da cidade à poluição atmosférica. Nos transportes, o tempo de exposição aos poluentes do ar não é negligenciável e pode atingir, durante várias horas por dia, principalmente, aqueles que exercem a função de motoristas desses veículos que transportam muitos passageiros todos os dias (Molle et al., 2013).

Os riscos para a saúde decorrentes de poluentes do ar no local de trabalho podem ser, sensivelmente, maiores do que os relacionados aos mesmos poluentes em ocorrências de situação doméstica, uma vez que as concentrações de exposição, nesses casos, podem ser, substancialmente, maiores. O pulmão é vulnerável à exposição de uma ampla gama de substâncias prejudiciais no local de trabalho, incluindo alérgenos, asma, póis orgânicos, poeiras e fibras minerais, solventes, gases e produtos químicos cancerígenos (RCP, 2016).

Em geral, considera-se que os veículos automotivos emitam substâncias tóxicas na atmosfera, e tais poluentes estão diretamente relacionados com o tipo de motor, a regulagem, a manutenção dos veículos e, inclusive, com o modo individual de dirigir.

Ônibus e caminhões são veículos pesados considerados como responsáveis por grande parte das emissões de óxidos de nitrogênio e enxofre (Dapper, 2016), bem como pelo material particulado, pois utilizam o diesel como combustível, o qual é considerado o mais danoso ao meio ambiente, podendo trazer sérios riscos e prejuízos à saúde da população em geral e, principalmente, aos motoristas de ônibus, por estarem mais expostos durante a jornada de trabalho (Arbex et al., 2012).

Os ônibus, não restam dúvidas, são considerados ferramentas importantes no transporte público. Existe uma inter-relação entre o número de passageiros, a ventilação e a contaminação do ar introduzida no ônibus, que pode, facilmente, aderir às mãos por toque dérmico e, posteriormente, ser ingerida por contato mão-boca, ou entrar no sistema respiratório por inalação (Gao et al., 2015).

As características dos ônibus (tamanho, potência, peso), certamente, interferem no consumo de combustível, assim como nas emissões de poluentes (Molle et al., 2013). A idade do veículo também é um fator determinante para as emissões, pois as indústrias automobilísticas estão sempre em busca de novas soluções e tecnologias, ou seja, quanto mais novos os veículos, espera-se que menos poluidores eles sejam. Além disso, o uso contínuo do veículo provoca o envelhecimento e desgaste de peças e componentes, afetando o motor e provocando elevação nos índices de emissão (FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL, 2010).

Muitos estudos têm contribuído para a busca da prevenção da poluição. Uma pesquisa realizada por Cortes e Carneiro (2014), cita a importância do uso do transporte público como forma de redução das emissões, enfatizando a necessidade de avaliação das condições de trabalho dos motoristas sujeitos a níveis elevados de poluentes. Por outro lado, há relatos de que a qualidade do ar dentro dos ônibus seja ainda pior do que a do ar dos centros urbanos onde eles circulam (Bhatt e Seema, 2012). Na verdade, para além da exposição exterior que entra por ventilação nos ônibus, crescem as próprias fontes interiores de poluentes, em geral, associadas às emissões dos motores particulares deste tipo de veículos. O tempo de permanência dentro dos ônibus, durante a sua jornada de

trabalho, torna os motoristas de ônibus, potencialmente, vulneráveis e suscetíveis a apresentarem vários problemas (Bhatt e Seema, 2012), dentre os quais, principalmente, os respiratórios.

No caso dos motoristas que estão trabalhando por várias horas consecutivas, dentro dos veículos, onde a qualidade interna do ar é diferente da externa, alguns efeitos sobre a saúde podem aparecer após exposições repetidas a um determinado poluente. Esses efeitos incluem irritação dos olhos, vias aéreas e garganta, dores de cabeça, tonturas e cansaço generalizado, que podem ser de curta duração e tratáveis. Logo após a exposição prolongada a alguns poluentes atmosféricos internos, os sintomas de algumas doenças, como a asma, podem aparecer agravados (Arbex et al., 2007, Arbex et al., 2012, EPA, 2017, Novaes et al., 2010).

A probabilidade de reações imediatas aos poluentes do ar interior depende de vários fatores, incluindo idade e condições de saúde preexistentes. Em alguns casos, se uma pessoa reage a um poluente, o efeito dependerá da sensibilidade individual, que varia tremendamente de indivíduo para indivíduo. Algumas pessoas podem se tornar sensibilizadas para poluentes biológicos ou químicos, após exposições repetidas ou de alto nível (EPA, 2017).

Certos efeitos imediatos são semelhantes aos de resfriados ou de outras doenças virais. Por isso, muitas vezes, é difícil determinar com precisão se os sintomas são resultantes da exposição à poluição do ar interior, ou se a causa é outra. Sendo assim, é importante prestar atenção ao tempo e ao lugar em que ocorrem os sintomas. Alguns efeitos podem ser piorados devido a possível abastecimento inadequado de ar exterior que venha para dentro do veículo, ou a condições de aquecimento, arrefecimento ou umidade predominantes em ambientes fechados (Heberle et al., 2018).

Muitos efeitos sobre a saúde podem aparecer anos após a ocorrência da exposição ou, somente após longos ou repetidos períodos de exposição, o que inclui doenças respiratórias, cardíacas e câncer (Organização Mundial da Saúde, 2008), que podem ser

altamente debilitantes ou, até mesmo, fatais. Dessa forma, percebe-se que é prudente tentar melhorar a qualidade do ar interior nos ônibus, mesmo que os sintomas não sejam visíveis (Dalegrave et al., 2017b).

Embora os poluentes comumente encontrados no ar interior possam causar muitos efeitos nocivos, há uma incerteza considerável sobre o que, nas concentrações ou nos períodos de exposição, determina a geração de problemas de saúde específicos. As pessoas também reagem à exposição a poluentes atmosféricos internos de formas muito diferentes entre si. Mas ainda são necessárias pesquisas adicionais para que se possam entender melhor os efeitos sobre a saúde, após a exposição às médias das concentrações de poluentes encontradas dentro dos ônibus (EPA, 2017).

Ainda, em relação à concentração de NO₂ no interior dos ônibus, uma importante pesquisa foi realizada em Paris, sobre a exposição dos passageiros à poluição atmosférica do trânsito, nos principais modos de transporte da cidade, durante os horários de pico, por Delaunay et al. (2010). Os valores encontrados mostraram que as concentrações de NO₂ eram mais baixas nos trens, em comparação com as medidas dentro dos ônibus. Além disso, outro estudo também dá conta de que os passageiros que viajam dentro dos ônibus articulados estão muito mais expostos ao NO₂ do que aqueles que utilizam os ônibus rígidos (Molle et al., 2013).

Isso serve para ilustrar o quão complexas as considerações da qualidade do ar no local de trabalho podem ser e, também, para mostrar que tais considerações precisam evoluir com alterações desses locais de trabalho (RCP, 2016). Além das doenças respiratórias mais tradicionais relacionadas ao trabalho, talvez seja mais difícil quantificar as doenças que surgem de um determinado ambiente de trabalho em que um único e particular responsável pela exposição ainda não foi identificado (RCP, 2016).

2.5. Legislação aplicável

No Brasil, a legislação sobre controlo da qualidade do ar interior, geralmente, refere uma maior preocupação com o ambiente interno que faz uso de sistema de climatização (Ministério da Saúde, 1998, ANVISA, 2003). Por esta razão, o presente ponto irá focar a sua atenção apenas na qualidade do ar exterior.

O monitoramento da qualidade do ar (exterior) no Brasil ainda é muito restrito e tímido em termos do histórico amostral, da cobertura territorial, do número de parâmetros monitorados e da representatividade nas medições.

Os padrões de qualidade do ar estaduais foram estabelecidos em 1976, pelo Decreto Estadual n.º 8468/76, e os padrões de valores nacionais foram instituídos pelo IBAMA – Instituto Brasileiro de Apoio ao Meio Ambiente –, sendo aprovados pelo CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente –, por meio da Resolução CONAMA n.º 03/90, e revogados e revistos, a partir da Resolução CONAMA n.º 491/2018, com publicação no Diário Oficial da União em 21/11/2018 (Anexo B).

Para o CONAMA, a resolução n.º 491, de 2018, que dispõe sobre os padrões de controlo da qualidade do ar, estabelece o Artigo. 5.º, o qual descreve o monitoramento da qualidade do ar como uma atribuição dos estados.

Ainda, o Art. 6.º da mesma resolução prevê que os órgãos ambientais estaduais e distrital elaborarão o Relatório de Avaliação da Qualidade do Ar anualmente, garantindo sua publicidade. O relatório de que trata o *caput* deve conter os dados de monitoramento e a evolução da qualidade do ar, conforme conteúdo mínimo estabelecido e resumo executivo, de forma objetiva e didática, com informações redigidas em linguagem acessível (CONAMA, 2018).

Esta resolução reconhece como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis determinados e que tornem ou possam tornar o ar:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e à flora;

IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CONAMA, 2018).

No Brasil, a legislação federal define, em relação ao controle de poluentes, dois diferentes padrões de qualidade do ar:

- padrões primários de qualidade do ar: são as concentrações de poluentes que, quando ultrapassadas, poderão acarretar danos à saúde da população;
- padrões secundários de qualidade do ar: são as concentrações de poluentes abaixo das quais se espera o mínimo efeito sobre a saúde da população, da fauna e da flora.

Essa definição, que consta de portaria normativa do IBAMA, de 14 de março de 1990, e que foi transformada em resolução pelo CONAMA, em 28 de junho de 1990, determina que, a curto e médio prazos, os padrões considerados primários devam ser os desejados e que, a longo prazo, os padrões secundários sejam objetivados. Na Tabela 2.1, pode-se observar que os padrões de qualidade do ar aceitos pelo CONAMA (2018) são os mesmos seguidos pela Agência de Proteção Ambiental norte-americana (EPA – Environmental Protection Agency).

Tabela 2.1. Padrões nacionais de qualidade do ar segundo resolução CONAMA n.º 491, de 21/11/2018

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ ppm
Material Particulado – MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50
	Anual ¹	40	35	30	20
Material Particulado – MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: O caso dos condutores de transporte público.

	Anual ¹	20	17	15	10	
Dióxido de Enxofre – SO ₂	24 horas	125	50	30	20	
	Anual ¹	40	30	20	-	
Dióxido de Nitrogênio – NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	
	Anual ¹	60	50	45	40	
Ozônio – O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	
	Anual ¹	40	35	30	20	
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	
	Anual ⁴	-	-	-	80	
Chumbo – Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	

¹ – média aritmética anual; ² – média horária; ³ – máxima média móvel obtida no dia

⁴ – média geométrica anual; ⁵ – medido nas partículas totais em suspensão

Fonte: CONAMA (2018).

Conforme já foi demonstrado, as grandes cidades estão sujeitas a episódios agudos de poluição do ar, nos quais as concentrações dos poluentes ultrapassem os padrões considerados primários (Braga et al., 2001). Sendo assim, como medida de precaução, a Resolução n.º 491 do CONAMA (2018) estabeleceu critérios para os episódios agudos de poluição do ar, determinando níveis de atenção, alerta e emergência para a população, definindo-os em ordem crescente de gravidade, para os principais poluentes, como estão apresentados na Tabela 2.2.

Devido à preocupação em relação ao atendimento dos padrões estabelecidos, foi desenvolvido o sistema de monitoramento do ar, permitindo a vigilância da saúde ambiental por meio da mensuração das concentrações de poluentes na atmosfera e, assim, consequentemente, possibilitando uma análise dos riscos e efeitos sobre a saúde humana.

Tabela 2.2. Critérios para episódios agudos de poluição do ar

Parâmetros	Níveis		
	Atenção	Alerta	Emergência
Dióxido de enxofre (SO ₂) (µg/m ³) – 24h	800	1.600	2.100
Monóxido de carbono - CO (ppm) – 8h	15	30	40
Ozônio – O ₃ (µg.m ⁻³) – 8h	200	400	600
MP ₁₀ (µg.m ⁻³) – 24h	250	420	500
MP _{2,5} (µg.m ⁻³) – 24h	125	210	250
Dióxido de nitrogênio – NO ₂ (µg.m ⁻³) – 1h	1.130	2.260	3.000

ppm: partes por milhão; MP₁₀ = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 µm; MP_{2,5} = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 µm.

Fonte: CONAMA (2018).



Dessa forma, foram definidos índices de qualidade do ar (IQAr) como uma ferramenta matemática desenvolvida com o objetivo de simplificar a sua divulgação, usando como base a longa experiência dos Estados Unidos (EUA). Para cada poluente medido, é calculado um valor, podendo o ar receber uma quantificação que corresponda a uma nota para a sua qualidade, além de uma cor, de acordo com o que está demonstrado na Tabela 2.3, adiante.

Com base nos valores de concentração de poluentes mensurados diariamente, em São Paulo (Brasil), a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), desde 1981, divulga, na cidade, o índice de qualidade do ar que foi baseado no PSI – Pollutant Standard Index – publicado pela EPA. Assim, atribui níveis adimensionais para a qualidade do ar, os quais a classificam nestas seis categorias:

- Boa (0 – 50): quando as concentrações de todos os poluentes estão abaixo de 50% de seus padrões de qualidade;
- Regular (51 – 100): quando a concentração de, pelo menos, um dos poluentes atinge o seu padrão de qualidade;

- Inadequada (101 – 199): quando a concentração de, pelo menos, um dos poluentes está entre o seu padrão de qualidade e os níveis de atenção;
- Má (200 – 299): quando a concentração de, pelo menos, um dos poluentes está entre os seus níveis de atenção e de alerta;
- Péssima (300 – 399): quando a concentração de, pelo menos, um dos poluentes está entre os seus níveis de alerta e de emergência;
- Crítica (maior que 400): quando a concentração de, pelo menos, um dos poluentes está acima do seu nível de emergência (Braga et al., 2001).

Tabela 2.3. Índices de qualidade e faixas de concentração correspondentes por poluente

ÍNDICE DA QUALIDADE DO AR (IQAr)								
Qualidade	Índice	Níveis de Cautela sobre a Saúde	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PI10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 Boa	0-50	Seguro à Saúde	0-80	0-50	0-100	0-190	0-4,5	0-80
 Regular	51-100	Tolerável	81-240	51-150	101-365	191-320	4,6-9,0	81-160
 Inadequada	101-199	Insalubre para Grupos Sensíveis	241-374	151-249	366-799	321-1129	9,1-14,9	161-399
 Má	200-299	Muito Insalubre (Nível de Atenção)	375-624	250-419	800-1599	1130-2259	15,0-29,9	400-799
 Péssima	300-399	Perigoso (Nível de Alerta)	625-874	420-499	1600-2099	2260-2999	30,0-39,9	800-999
 Crítica	400 ou maior	Muito Perigoso (Nível de Emergência)	≥ 875	≥ 500	≥ 2100	≥ 3000	≥ 40	≥ 1000

Os índices, até a classificação REGULAR, atendem aos Padrões Primários de Qualidade do Ar da Resolução CONAMA 03 de 28/06/1990.

PTS: Partículas Totais Suspensas; PI10: Partículas Inaláveis; SO₂: Dióxido de Enxofre; NO₂: Dióxido de Nitrogênio; CO: Monóxido de Carbono; O₃: Ozônio; ppm: partículas por milhão.

Fonte: (FEPAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL, 2017).

Conforme os estudos, esses níveis de qualidade do ar estabelecidos estão diretamente associados a efeitos na saúde humana, independentemente, portanto, do padrão de qualidade em vigor. Eles estão apresentados na Tabela 2.4 (CETESB, 2018). Para efeito de

esclarecimento para a população, é utilizado o valor mais alto e, mesmo que a qualidade do ar de uma estação seja avaliada para todos os poluentes monitorados no local, a sua classificação é sempre determinada pelo maior índice (CETESB, 2018).

A partir dos níveis já estabelecidos, deve-se considerar que cada poluente atmosférico apresenta efeitos distintos sobre a saúde dos indivíduos expostos, para faixas de concentração diferentes, sendo identificados por estudos epidemiológicos publicados por pesquisadores de todo o mundo. Portanto, esses efeitos sobre a saúde ambiental e humana necessitam de medidas de prevenção a serem adotadas mundialmente.

Tabela 2.4. Qualidade do ar e efeitos na saúde

Qualidade	Índice	Significado
N1 – Boa	0 - 40	
N2 - Moderada	41 - 80	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população em geral não é afetada.
N3 – Ruim	81 - 120	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e indivíduos com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios à saúde.
N4 – Muito Ruim	121 - 200	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e, ainda, falta de ar e respiração ofegante. Torna-se possível a ocorrência de efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N5 – Péssima	> 200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestação de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento no número de mortes prematuras de pessoas enquadradas em grupos sensíveis.

Fonte: (CETESB, 2018).

2.6. Controle do ar no Estado do Rio Grande do Sul – Brasil

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) pertence à Região Sul do Brasil e faz fronteiras ao norte com o Estado de Santa Catarina, a oeste e ao sul, respectivamente, com os países vizinhos, Argentina e Uruguai, sendo banhado ao leste pelo Oceano Atlântico. Abrange uma área de, aproximadamente, 281.748,54 km² que equivalem a 3,3% do território brasileiro, IBGE, 2010 (Figura 2.1).

No Brasil, conforme a resolução n.º 491 de 2018 do CONAMA (CONAMA, 2018), os estados são responsáveis por monitorar e manter o controle da qualidade do ar, porém isso ainda é de prática muito restrita, não existindo uma fiscalização adequada em grande parte das cidades.

Os padrões de qualidade do ar (PQAr) podem variar de acordo com o método adotado para balançar os riscos à saúde da população, considerando-se a viabilidade técnica, a economia e alguns fatores políticos e sociais que dependem do desenvolvimento e da capacidade do estado de estimular e gerenciar o controle da qualidade do ar. As recomendações da OMS consideram as singularidades locais e reconhecem que, ao estabelecerem políticas para melhorias da qualidade do ar, os governantes devem, sempre, considerar as características do local antes de assumirem os valores sugeridos como padrões nacionais (CETESB, 2018). Para a OMS, o estabelecimento dos padrões definidos visa a atingir as menores concentrações possíveis dentro do contexto de limitações de cada situação, capacidade técnica local e prioridades em termos de saúde pública.

No Estado do Rio Grande do Sul, foram elaboradas estimativas de emissões de poluentes (FEPAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL, 2010) e, de acordo com dados publicados pelo Programa de Controle de Poluição Veicular (PCPV), 40% das emissões de poluentes (Dapper, 2016) são provenientes de veículos automotivos do Estado do Rio Grande do Sul, seguidas pela Região da Serra, onde se localiza a cidade

de Caxias do Sul, que representa 12% das emissões veiculares no estado (FEPAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL, 2018).

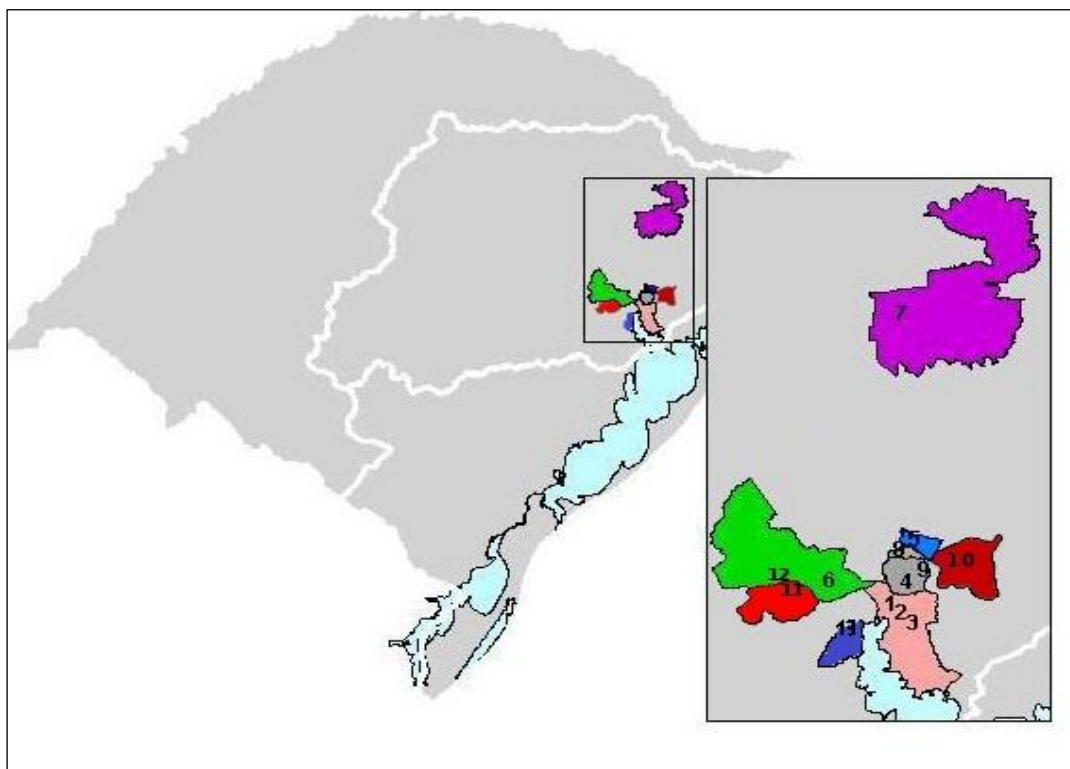


Figura 2.1. Mapa representativo do Estado do Rio Grande do Sul com os pontos de monitoramento do ar.

Fonte: FEPAM (2018).

Na Tabela 2.5, estão apresentados dados da localização dos pontos que são monitorados pela FEPAM no Estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 2.5. Locais de rede automática de monitoramento do ar no Estado do Rio Grande do Sul – Brasil

N.º no mapa	Município	Estação	Localização	Parâmetros de Monitoramento
1	<u>Porto Alegre</u>	Centro/Rodoviária	Largo Edgar Koëtz	PI ₁₀ , SO ₂ , CO, NO _x , O ₃ e

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: O caso dos condutores de transporte público.

				Parâmetros Meteorológicos
2	<u>Porto Alegre</u>	Santa Cecília/ Escola de Bombeiros	Av. Silva Só, 340	PI ₁₀ , SO ₂ , CO, NO _x , O ₃
3	<u>Porto Alegre</u>	Jardim Botânico/ESEF	Rua Felizardo, 750	PI ₁₀ , SO ₂ , CO, NO _x , O ₃
4	<u>Canoas</u>	V-COMAR	Av. Guilherme Schell, 3950	PI ₁₀ , SO ₂ , O ₃
5	<u>Sapucaia do Sul</u>	SESI	Rua Lúcio Bittencourt, 1080	PI ₁₀ , SO ₂ , CO, NO _x , O ₃ e Parâmetros Meteorológicos
6	<u>Triunfo</u>	Polo Petroquímico	Rua 3, junto à Brigada Militar	PI ₁₀ , SO ₂ , CO, NO _x , O ₃
7	<u>Caxias do Sul</u>	SENAI	Rua Luiz Fachin, 620	PI ₁₀ , SO ₂ , O ₃ e Parâmetros Meteorológicos
8	<u>Esteio</u>	Vila Ezequiel	Rua Ezequiel Nunes Filho, 3	PI ₁₀ , SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, Hidrocarbonetos e Parâmetros Meteorológicos
9	<u>Canoas</u>	Parque Universitário	Rua Viana Moog, 101	PI ₁₀ , SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, Hidrocarbonetos e Parâmetros Meteorológicos
10	<u>Gravataí</u>	Condomínio Jardim Timbaúva	Rua Getúlio Celso Nunes, s/n	PI ₁₀ , SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, Hidrocarbonetos e Parâmetros Meteorológicos
11	<u>Charqueadas</u>	Arranca Toco	Esquina das ruas José Rui de Ruiz e Júlio Rosa	PI ₁₀ , SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO
12	<u>Triunfo</u>	Deprec	Superintendência de Portos e Hidrovias	SO ₂ , NO _x

-	<u>Móvel</u>	Circula pelo estado	PI10, SO ₂ , CO, NO _x , O ₃ e Parâmetros Meteorológicos
---	--------------	---------------------	---

PI₁₀: Partículas Inaláveis; SO₂: Dióxido de Enxofre; NO₂: Dióxido de Nitrogênio; CO: Monóxido de Carbono; O₃: Ozônio; NO_x: Óxidos de Nitrogênio.

Fonte: FEPAM (2018).

Lamentavelmente, a estação de qualidade do ar de Caxias do Sul está inoperante desde 2009, por falta de manutenção, motivo por que não há informação atualizada sobre qualidade do ar, para a cidade onde se desenvolve o presente estudo.

2.7. Influência da meteorologia

Para a realização da análise da concentração do NO₂, sabe-se que é importante considerar as alterações climáticas, visto que influenciam nas variações dos níveis encontrados. Por isso, é importante esclarecer essas variáveis. Após várias pesquisas, os resultados dos relatórios de clima do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), publicados em 2007, e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), lançados em março do mesmo ano, alertam para o fato de que a população mundial já sente os efeitos do aquecimento global e para o de que as alterações climáticas, que ainda virão, afetarão todas as áreas da nossa vida (Marengo, 2014). Destacam a emissão de gases antropogênicos na atmosfera, causadores do efeito estufa nos últimos cinquenta anos, acentuando o aquecimento do planeta e trazendo como consequência, além do aumento da temperatura, a mudança no regime de precipitação das chuvas, que tende a aumentar em latitudes mais altas e diminuir em regiões subtropicais continentais (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, 2007).

Dentre os impactos do aumento da temperatura global sobre a saúde humana, ressaltam-se o aumento do prejuízo decorrente da desnutrição, dos episódios de diarreia e de

doenças cardiorrespiratórias e infecciosas, além do avanço da morbimortalidade causado por ondas de calor, secas e inundações, entre outras razões (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, 2007, Portier et al., 2010).

A localização geográfica, a topografia e as condições climáticas locais, principalmente no que se refere à constância, à intensidade e à direção dos ventos (Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2018a), são fatores importantes que podem influenciar na qualidade do ar (Barros et al., 2013). As mudanças climáticas e a poluição atmosférica estão fortemente ligadas, pois muitos dos poluentes atmosféricos e gases do efeito estufa possuem fontes em comum, além de produzirem efeitos químicos e físicos semelhantes na atmosfera (Portier et al., 2010). Interferem, também, nas avaliações ambientais, sobretudo naquelas realizadas a partir da percepção do observador (Anexo C), pois podem criar períodos de forte poluição em regiões urbanas, tais como alterações climáticas como as inversões térmicas, influenciando nas condições que favoreçam a concentração ou a dispersão dos poluentes (Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2018a).

2.7.1. Fatores que influenciam na dispersão dos poluentes

A meteorologia exerce um papel fundamental em relação à qualidade do ar, pois são as variações de alguns parâmetros meteorológicos que guiam o transporte e a dispersão dos poluentes e a sua deposição no solo, uma vez que eles estão imersos na atmosfera (Moreira et al., 2008). Assim, as características do ambiente influenciam no transporte e na dispersão de poluentes, os quais apresentam variações que incluem as condições naturais e antrópicas.

As principais características do ambiente que influenciam na dispersão e no transporte de poluentes a que se alude são estas: a velocidade e a direção do vento, a estabilidade do ar atmosférico, a altitude, a topografia, a rugosidade e os obstáculos (uso do solo). A concentração dos poluentes, portanto, vai depender da quantidade emitida, do volume e da ventilação da área para diluí-los (Bucco, 2010); já a quantidade de poluentes que são

emitidos decorre do tipo e da quantidade de fontes emissoras de poluição, que são reflexo da extensão e dos padrões de uso do solo urbano (Ministério do Meio Ambiente, 2011).

As condições meteorológicas são fundamentais na dispersão dos poluentes atmosféricos: a estabilidade da atmosfera que se relaciona aos movimentos de subida e descida do ar (CETESB, 2011), a velocidade e a direção do vento e a turbulência (Moreira et al., 2008). Todas essas variáveis podem ser verificadas em dois componentes principais: o vertical, que é comandado pela turbulência gerada pelo gradiente vertical da temperatura ou gradiente térmico entre as camadas de baixa atmosfera; e o horizontal, onde o vento é o principal agente do transporte e da mistura (Bucco, 2010).

2.7.2. Vento

O vento é o fluxo de gases em grande escala, causado por diferenças na pressão atmosférica. Ele é descrito como sendo a movimentação do ar na atmosfera e, quando se move horizontalmente, é caracterizado pela sua direção e velocidade (Bucco, 2010, Godish, 2004). Pode apresentar-se tanto no sentido horizontal quanto no vertical, variando em termos de velocidade e direção de acordo com seus fatores controladores e contribuindo para a dissipação da poluição atmosférica, o transporte de umidade, etc (Ayoade, 2003).

A velocidade do vento, normalmente, sofre interferências pela pressão horizontal e também pela temperatura, de modo que o maior gradiente de pressão implica a velocidade do vento mais intensa. As áreas urbanas têm como característica a rugosidade da superfície relativamente elevada, ocasionando, conseqüentemente, diminuição da velocidade do vento, o que é considerado desfavorável, pois, devido à alta emissão de poluentes, esses locais necessitam de mais ventilação (Bucco, 2010).

Somado a isso, o vento também possui uma grande importância em relação à dispersão de poluentes: a taxa de concentração de poluentes é inversamente proporcional à velocidade dos ventos. Sendo assim, é importante ressaltar a existência de tipos diversos

de ventos em cada região como um fator que determina a direção dos poluentes. Portanto, quanto mais estável for a condição atmosférica, menores serão a diluição e o transporte de poluentes determinando o aumento da poluição em lugares específicos. E importa, ainda, acrescentar-se a relevância da topografia na análise da dispersão dos poluentes (Andersen et al., 2008).

De forma representativa, a frequência da velocidade e direção do vento em determinado período pode ser visualizada em uma rosa dos ventos (Organização Mundial da Saúde, 2008). As rosas dos ventos são consideradas ferramentas gráficas usadas pelos meteorologistas para representar o modo como a velocidade e a direção do vento estão distribuídas numa região. Elas mostram como são diferentes os ventos que sopram de uma direção em particular. As rosas dos ventos, normalmente, utilizam 8 ou 16 pontos cardeais, porém algumas podem apresentar 32 subdivisões. Os ventos têm como referências básicas sua direção e velocidade, sendo denominados a partir da direção de onde eles sopram: vento do norte sopra do norte, e vento do sul sopra do sul (Kawano, 2003) (Figura 2.2).



Sigla	Vento	Direção
N	Norte	↓
NE	Nordeste	↙
E	Leste	←
SE	Sudeste	↘
S	Sul	↑
SW	Sudoeste	↗
W	Oeste	→
NW	Noroeste	↖

Figura 2.2. Rosa dos ventos e suas direções.

2.7.3. Turbulência

A turbulência atmosférica é definida como o movimento desordenado do ar devido à movimentação do vento em relação ao solo, do seu aquecimento durante o dia, ou do seu resfriamento no anoitecer (Bucco, 2010, Godish, 2004).

Assim, esses fluxos de ar da Camada Limite Planetária (CLP) sofrem influência do movimento do ar na altitude elevada, arraste de atrito da superfície da terra e correntes de ar verticais. Essa turbulência é caracterizada por vórtices (redemoinhos) que se apresentam de forma circular, mas que podem ser verticais, horizontais ou terem outros tipos de orientações, que representem movimentação do ar por menor tempo do que aqueles que determinam a velocidade do vento médio, e podem ser mais turbulentos, sendo produzidos por ambas as forças, mecânicas e térmicas, e mais agressivos (Bucco, 2010).

O efeito das turbulências mecânica e térmica consiste em aumentar a dispersão dos poluentes no ar, tendo como consequência serem, significativamente, diminuídas as concentrações de poluentes (Cao et al., 2017, Field et al., 2014).

A turbulência mecânica é criada por obstáculos (prédios, montanhas, etc.), já a turbulência térmica é gerada pelo aquecimento da superfície (geralmente, do meio da tarde para o seu final). A intensidade das turbulências – tanto da térmica como da mecânica – depende da temperatura, do vento e da rugosidade da superfície (Field et al., 2014).

2.7.4. Estabilidade atmosférica

A CLP, na atmosfera, apresenta movimentos de ar variáveis, que podem ser horizontais e verticais (Bucco, 2010). Durante as turbulências de ar, a atmosfera fica instável e os agentes poluentes se dispersam; por isso, considera-se o ar estável resistente a deslocamentos verticais (Godish, 2004).

Quanto à classificação da estabilidade atmosférica, ela é baseada na disponibilidade de parâmetros e algumas variáveis meteorológicas e, também, na avaliação de alterações atmosféricas com ocorrência na camada atmosférica mais baixa, especificamente, na CLP (Baird, 2002, Bucco, 2010, Cao et al., 2017).

2.7.5. Inversão térmica

Segundo o Departamento de Educação Ambiental da Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental do Ministério do Meio Ambiente (DEA/SAIC/MMA), as mudanças do clima no mundo são um fato e vêm ocorrendo pela ação da atividade humana, sendo bastante complexo e desafiador o seu enfrentamento. Os diversos estudos sobre o clima demonstram que a humanidade irá defrontar-se com algum grau de mudança climática além do que já vem ocorrendo, sendo isso um processo irreversível (Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2018b, Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2018c).

Algumas análises indicam que, se as emissões de gases de efeito estufa fossem paralisadas hoje, os poluentes na atmosfera, que demoram em média um século para se dissiparem, ainda aqueceriam a terra, no mínimo, em mais 1 °C, até 2100, além dos 0,76 °C que o planeta já ganhou desde a Revolução Industrial (Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2018b).

Com a movimentação do ar mais quente (leve) subindo e o ar mais frio (pesado) que desce, conseqüentemente, acontece uma renovação natural do ar, situação que pode ser alterada quando a temperatura aumenta em vez de diminuir com a altitude, devido aos fenômenos meteorológicos que têm interferência direta da velocidade do vento, da insolação e da precipitação (Bucco, 2010). Isso irá influenciar na dificuldade do ar em subir e, também, na dispersão dos poluentes. Trata-se do fenômeno denominado “inversão térmica ou inversão de camada”, e alguns locais estão mais sujeitos às inversões de temperatura.

No período do inverno, por via de regra, os níveis de qualidade do ar pioram sensivelmente, pois há a influência nada favorável das condições meteorológicas que alteram a dispersão dos poluentes (Moreira et al., 2008).

Define-se como a umidade relativa do ar, a relação entre o volume de água existente no ar (umidade absoluta) e a quantidade máxima que poderia haver com a mesma temperatura (ponto de saturação). Ela é utilizada como um dos indicadores na interpretação meteorológica, com o objetivo de se fazerem previsões, já que a umidade do ar tende a variar muito ao longo do dia e durante as estações do ano (Bucco, 2010).

Normalmente, as pessoas se sentem mais confortáveis quando a umidade relativa do ar está em torno de 50% a 80%. Porém, durante o inverno, ela pode chegar a níveis bem baixos, em torno de 12% (Bucco, 2010). A escala utilizada para a umidade relativa do ar contém as seguintes classificações: atenção (20% a 30%), alerta (12% a 20%) e alerta máximo (abaixo de 12%) (Field et al., 2014, Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2018b).

2.8. Anatomia do Sistema Respiratório

O sistema respiratório é constituído pelos pulmões e por vários órgãos que permitem o trajeto do ar para dentro e para fora das estruturas pulmonares. Esses órgãos são as fossas nasais, a boca, a faringe, a laringe, a traqueia, os brônquios, os bronquíolos e os alvéolos (Netter, 2000).

Tórax: Os pulmões situam-se no interior do tórax. As costelas, que formam a caixa torácica e fazem um arcabouço protegendo os pulmões e o coração, inclinam-se para a frente pela ação do músculo intercostal, provocando um aumento do volume da cavidade torácica. O volume do tórax também aumenta pela contração para baixo dos músculos do diafragma. Quando o tórax se expande, durante a inspiração, os pulmões começam a se

encher de ar. Já o relaxamento dos músculos do tórax permite-lhes voltar a seu estado natural, forçando o ar a sair dos pulmões (Planeta Biologia, 2011).

Os pulmões humanos são órgãos esponjosos com, aproximadamente, 25 cm de comprimento, sendo envolvidos por uma membrana denominada pleura, que, depois de revesti-los, vai forrar a parede interna da cavidade torácica. Distinguem-se, assim, uma pleura visceral (que envolve os pulmões) e uma pleura parietal (que adere à caixa torácica). Nos pulmões, os brônquios ramificam-se e dão origem aos bronquíolos, que são unidades mais finas (Netter, 2000). O conjunto altamente ramificado de bronquíolos é a árvore brônquica ou árvore respiratória. Cada bronquíolo termina em pequenas bolsas formadas por células epiteliais achatadas, recobertas por capilares sanguíneos, denominadas alvéolos pulmonares (Figura 2.3).

O pulmão apoia-se no diafragma, músculo que separa o tórax do abdômen, promovendo, juntamente com os músculos intercostais, os movimentos respiratórios. Localizado logo acima do estômago, o nervo frênico controla os movimentos do diafragma (Planeta Biologia, 2011). A propriedade mais característica do pulmão é a sua elasticidade: o ar que nele penetra obriga-o a dilatar-se, voltando a seu volume primitivo quando esse ar tiver saído.

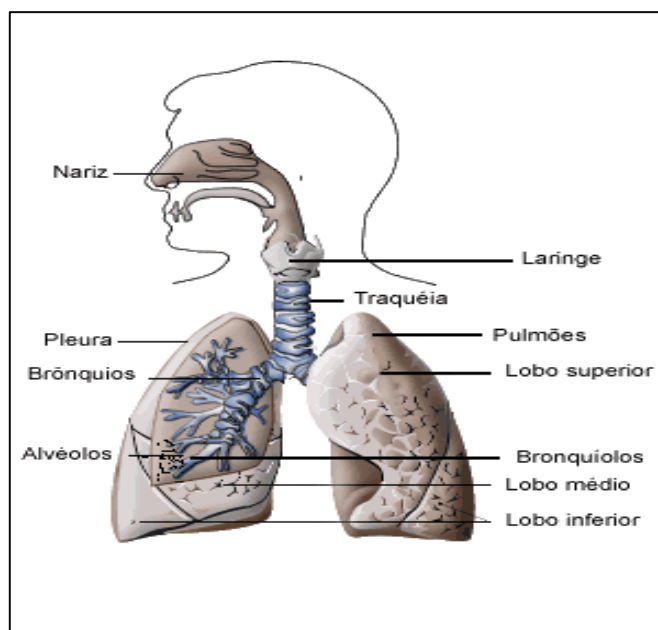


Figura 2.3. Anatomia do Sistema respiratório.

Fonte: (Netter, 2000).

2.8.1. Controle Respiratório

A respiração é controlada, automaticamente, por um centro nervoso localizado no bulbo. Desse centro partem os nervos responsáveis pela contração dos músculos respiratórios (diafragma e músculos intercostais). Os sinais nervosos são transmitidos desse ponto, através da coluna espinhal, para os músculos da respiração. O diafragma recebe os sinais respiratórios por meio do nervo frênico, que deixa a medula espinhal na metade superior do pescoço, dirigindo-se para baixo, através do tórax, até o diafragma (Netter, 2000, Planeta Biologia, 2011).

Os sinais para os músculos expiratórios, especialmente os músculos abdominais, são transmitidos para a porção baixa da medula espinhal e para os nervos espinhais que inervam os músculos. Em condições normais, o centro respiratório (CR) produz, a cada 5 segundos, um impulso nervoso que estimula a contração da musculatura torácica e do diafragma, fazendo a inspiração (Planeta Biologia, 2011).

O CR aumenta e diminui tanto a frequência como a amplitude das incursões respiratórias, pois possui quimiorreceptores que são bastante sensíveis ao pH do plasma, o que permite que os tecidos recebam a quantidade de oxigênio necessária e, além disso, remove, adequadamente, o gás carbônico. Quando o sangue se torna mais ácido devido ao aumento de gás carbônico e de poluentes, o CR induz a aceleração da frequência respiratória. Dessa forma, tanto a frequência quanto a amplitude da respiração tornam-se aumentadas em virtude da excitação do CR. Em situação contrária, com a depressão do CR, ocorre diminuição da frequência e da amplitude respiratórias.

2.8.2. A capacidade pulmonar e os volumes pulmonares

O sistema respiratório humano comporta um volume total de, aproximadamente, 5800 ml de ar, que é chamado de capacidade pulmonar total (CPT). Desse volume, apenas meio litro é renovado em cada respiração em repouso. Tal volume renovado é o volume corrente. Se, no final de uma inspiração forçada, for executada uma expiração forçada, será retirada dos pulmões uma quantidade de, aproximadamente, 4 litros de ar, o que corresponde à capacidade vital (CV), e é dentro de seus limites que a respiração pode acontecer. Mesmo no final de uma expiração forçada, resta, nas vias aéreas, cerca de 1 litro de ar, chamado de volume residual (VR) (Costa e Jamami, 2001).

Na avaliação da ventilação e da capacidade pulmonar, consideram-se os seguintes volumes pulmonares: o volume corrente (VC), o volume de reserva inspiratório (VRI), o volume de reserva expiratório (VRE) e o volume residual (VR) (Costa e Jamami, 2001). Esses volumes, demonstrados na figura 2.4, podem ser assim descritos:

- Volume Corrente: é o volume de ar inspirado ou expirado espontaneamente, em cada ciclo respiratório (\cong 500 ml);
- Volume de Reserva Inspiratório: é o volume máximo extra que pode ser inspirado voluntariamente, ao final de uma inspiração máxima forçada;

- Volume de Reserva Expiratório: é o volume máximo que pode ser expirado voluntariamente, ao final de uma expiração espontânea do volume corrente;
- Volume Residual: é o volume de gás que permanece no interior dos pulmões, após expiração máxima.

Quando a função do pulmão é avaliada, as principais capacidades pulmonares examinadas são as seguintes:

- Capacidade Inspiratória (CI): é o volume máximo que pode ser inspirado voluntariamente, a partir do final de uma inspiração espontânea, a soma de VC e VRI;
- Capacidade Residual Funcional (CRF): é o volume de ar que permanece nos pulmões, ao final de uma expiração normal, correspondendo à soma de VRE e VR;
- Capacidade Vital (CV): é a quantidade de ar mobilizada na inspiração/expiração máxima, sendo a soma de VC, VRI e VRE;
- Capacidade Pulmonar Total (CPT): é a quantidade de ar nos pulmões, ao final de uma inspiração máxima, sendo, portanto, a soma dos Volumes Corrente, de Reserva Inspiratório, de Reserva Expiratório e Residual (Pereira, 2002).

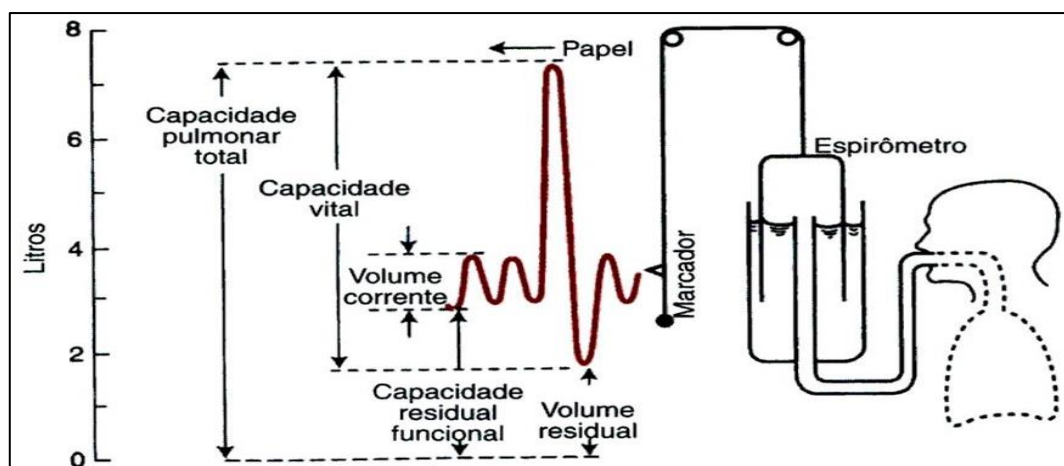


Figura 2.4. Volumes e Capacidades Pulmonares.

Fonte: West (2002).

2.9. Espirometria

O termo espirometria é proveniente do latim (*spiro* = respirar e *metrum* = medida), e o exame de espirometria consiste em medir a entrada e a saída de ar nos pulmões (Costa e Jamami, 2001). Trata-se de um exame utilizado como prova de função pulmonar, cujos principais objetivos são os que seguem:

- a) detectar e prevenir as alterações pulmonares obstrutivas e/ou restritivas;
- b) diferenciar uma doença obstrutiva funcional de uma obstrutiva orgânica;
- c) avaliar a evolução clínica de uma doença respiratória;
- d) avaliar risco cirúrgico;
- e) direcionar condutas de tratamentos em pacientes cardiopatas;
- f) subsidiar a avaliação da saúde do trabalhador, especialmente, no controlo de riscos industriais.

Os valores para a função pulmonar diferem, substancialmente, entre as diversas regiões do mundo, o que tem sido atribuído a fatores antropométricos, ambientais, sociais e genéticos, assim como a fatores técnicos. Tentativas para a compilação de equações de diferentes autores foram realizadas para a Europa, em 1983 e, após, em 1993. Tais recomendações do grupo de trabalho foram aceitas e tornadas oficiais pela European Respiratory Society (ERS), com a recomendação para seu uso generalizado na Europa (Pereira et al., 2014).

A espirometria pode ser realizada com muitos tipos diferentes de equipamentos. Ela requer cooperação entre o sujeito e o examinador, e os resultados obtidos dependerão de fatores técnicos e pessoais (Miller et al., 2005). Todos os espirômetros devem seguir os padrões de qualidade aprovados pela American Thoracic Society (ATS) ou pela British Thoracic Society (BTS) e, no Brasil, pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

Em suma, pode-se obter um exame de espirometria com uma manobra muito simples: inspira-se profundamente, até encher plenamente os pulmões (capacidade pulmonar total) e, em uma expiração prolongada, sopra-se todo o volume de ar contido nos pulmões, pelo maior tempo possível (ao menos seis segundos). Dessa forma, obtêm-se os parâmetros necessários, principalmente a capacidade vital forçada (CVF), que é o volume máximo de ar eliminado, e o volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF_1) (Silva et al., 2000).

Os valores dos resultados do exame de espirometria devem ser expressos em gráficos de volume-tempo e fluxo-volume (Figura 2.5). É essencial que um registro gráfico acompanhe os valores numéricos obtidos no teste (Pereira, 2002), pois são importantes para o controle de sua qualidade na avaliação da magnitude do esforço do paciente (Apêndice A), no início do exame e, também, para mostrar o término da medição e a duração do esforço (Costa e Jamami, 2001).

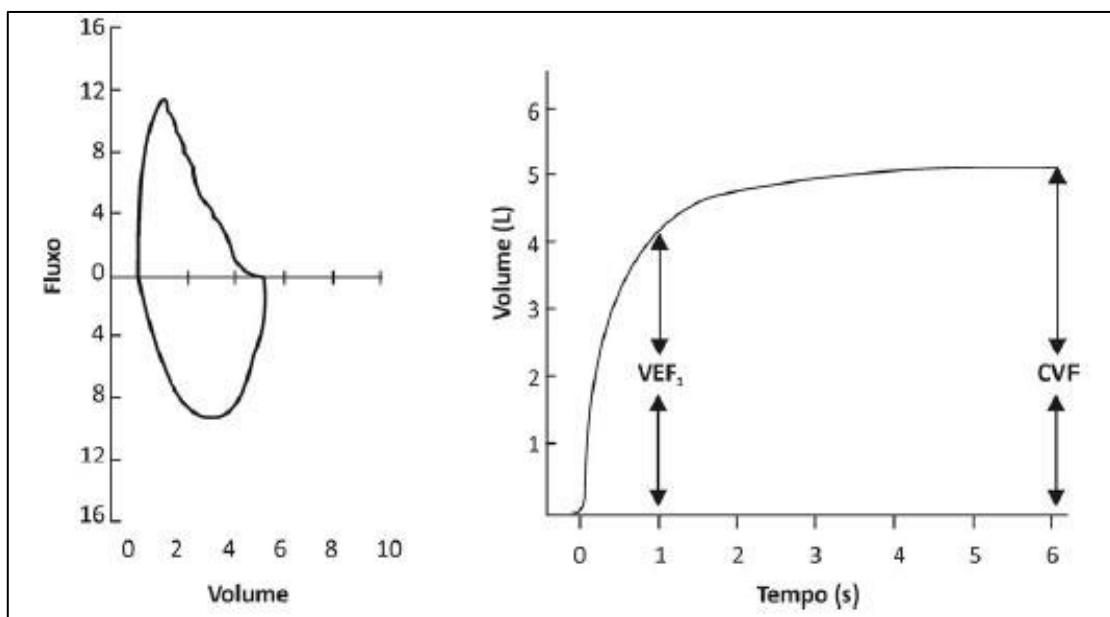
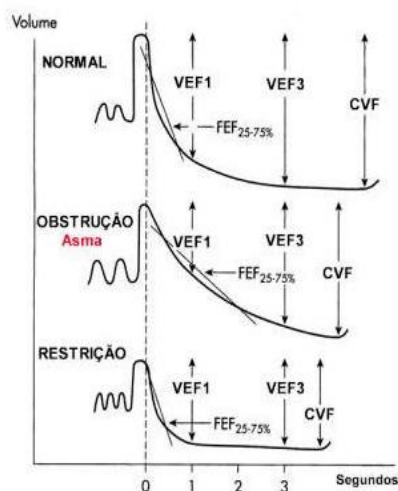


Figura 2.5. Curvas fluxo-volume e volume-tempo.
Fonte: (Pereira, 2002).

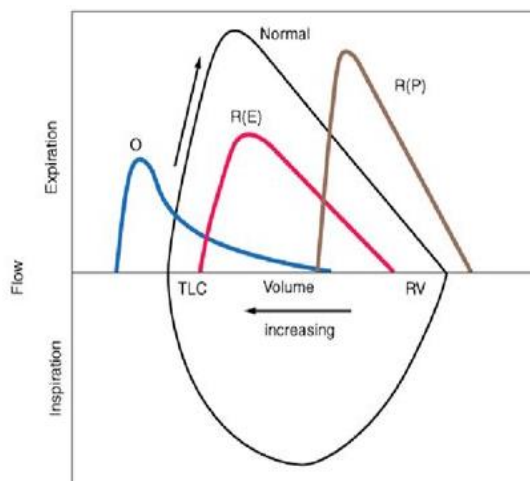
A complexidade do exame deve-se a três pontos importantes: a determinação do valor previsto, os múltiplos parâmetros avaliados durante a sua realização e a especificação do tipo de distúrbio. São vários os parâmetros avaliados, porém, após alguns estudos, reconheceu-se que é possível a obtenção de um resultado satisfatório, utilizando-se apenas estes três parâmetros: capacidade vital forçada (CVF), volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF_1) e o Índice de Tiffeneau, que se dá pela relação VEF_1/CVF (Pereira, 2002).

Para o número de tentativas de realização do teste, deve-se levar em conta que 3 curvas aceitáveis e 2 reprodutíveis são necessárias, que existe um efeito de aprendizado com a repetição das manobras, que há a possibilidade de um indivíduo cansar ou aborrecer-se e que, raramente, seriam necessárias mais de 8 curvas (Pereira, 2002). Mas, se os critérios de reprodutibilidade não forem preenchidos, devem ser obtidas novas manobras do exame, de modo que possa ser repetido quantas vezes forem necessárias. Ressalta-se, porém, que, se valores reprodutíveis não forem alcançados após 8 tentativas, o procedimento deverá ser suspenso e repetido em outro dia. Após a realização do teste de função pulmonar, os principais distúrbios ventilatórios verificados são o restritivo e o obstrutivo, conforme a Figura 2.6.

Curva Volume x Tempo



Curva Fluxo x Volume



Ventilação Pulmonar

Espirometria

Figura 2.6. Comparação das curvas fluxo-volume e volume-tempo apresentando padrões normal, obstrutivo e restritivo.

F: Fluxo, V: Volume, t: Tempo, CVF: Capacidade Vital Forçada, VEF: Volume Expiratório Forçado, FEF: Fluxo Expiratório Forçado, R: Restritivo, O: Obstrutivo.

Fonte: Adaptado (Kantor Junior, 1997).

2.9.1. Padrões básicos a serem reconhecidos na espirometria

São três os padrões básicos a serem reconhecidos na espirometria. Ei-los:

- Normal – VEF_1 e CVF acima de 80% do previsto; relação VEF_1/CVF acima de 0,7.
- Obstrutiva – pode-se considerar como obstrução nas vias aéreas qualquer processo que interfira no fluxo aéreo dos pulmões: VEF_1 abaixo de 80% do previsto; a CVF pode ser normal ou reduzida, geralmente em um grau menor do que o VEF_1 ; relação VEF_1/CVF menor que 0,7.
- Restritiva – ocorre redução da capacidade pulmonar total: o VEF_1 e a CVF abaixo de 80% do previsto; relação VEF_1/CVF normal ou acima de 0,7 (Pereira, 2002).

2.9.2. Valores de referência

Para avaliar os resultados dos exames, são considerados os seguintes parâmetros:

CVF: >80%;

VEF₁: >80%;

FEF_{25-75%}: >60%;

Relação VEF₁/CVF (Índice de Tiffeneau): >75 – 80% (Pereira et al., 2014).

Portanto, após várias pesquisas no Brasil, esses são os valores utilizados para avaliação dos exames obtidos de capacidade funcional, levando-se sempre em consideração as alterações decorrentes da diversidade de etnias.

Capítulo III

3. METODOLOGIA

Este capítulo tem a finalidade de apresentar a metodologia utilizada nesta pesquisa para se atingirem os objetivos geral e específicos pretendidos. Inicialmente, faz-se a apresentação das características gerais que descrevem a natureza e a abordagem da pesquisa e, na sequência, detalha-se o enquadramento geográfico e socioeconômico, mostrando como foi realizada a coleta de dados e apontando os instrumentos de investigação usados, para uma posterior análise dos dados em questão.

Parte deste capítulo foi publicada em artigo na “Atmospheric Environment” (Apêndice B) (Heberle et al., 2019), capítulo de livro da Springer (Apêndice C) bem como em conferências (Heberle et al., 2018c, Heberle et al., 2018d, Heberle et al., 2018a, Heberle et al., 2018b, Dalegrave et al., 2017a, Dalegrave et al., 2017b), (Apêndices D, E, F, G, H).

3.1. Objetivos específicos

Dando continuidade à apresentação dos objetivos gerais deste trabalho, apontados no capítulo II, expõem-se, agora, os objetivos específicos como forma de enquadramento da metodologia adotada e explanada neste capítulo.

São os seguintes os principais objetivos a serem desenvolvidos:

- realizar avaliação da função pulmonar em motoristas de ônibus expostos à poluição atmosférica;
- quantificar a exposição dos motoristas ao NO₂ durante a condução dos ônibus;
- avaliar a existência de redução do trabalho respiratório;
- correlacionar a função pulmonar com a ação do NO₂ a que os motoristas estão submetidos;
- comparar os achados do grupo de motoristas com o os do grupo de trabalhadores do escritório.

3.2. Metodologia seguida

Esta pesquisa caracteriza-se como de natureza aplicada, visando a produzir conhecimentos baseados em estudos voltados a soluções de casos reais. É um estudo em que ocorre o delineamento específico para analisar grupos de pessoas de certas regiões geográficas. Neste caso, o local de realização da pesquisa é uma cidade de média dimensão – Caxias do Sul –, situada no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Anexo D).

Trata-se de um estudo do tipo observacional, transversal, em dois momentos, no inverno e no verão, com população composta por um *Grupo Alvo* e um *Grupo Controle* de uma empresa de transporte municipal.

O projeto foi apresentado aos gestores da empresa para que pudessem apreciá-lo (Apêndice I) e verificar as condições de realizá-lo sem impor constrangimentos a funcionários que, eventualmente, não quisessem tomar parte. Como o exame médico é rotina nas avaliações periódicas que os funcionários já fazem, eles foram convidados a participarem do estudo por meio de carta-convite. A partir disso, de acordo com a aceitação ao envolvimento com a pesquisa (Apêndice J), os indivíduos foram agrupados

Na Figura 3.2, é possível observar uma vista geral do parque de estacionamento dos ônibus, ponto relevante ao estudo.



Figura 3.2. Vista da garagem da empresa de ônibus em junho de 2017.

Fonte: Arquivo pessoal.

Na Figura 3.3, pode ser observado o prédio onde se situa o setor administrativo da empresa de ônibus.



Figura 3.3. Prédio do escritório da empresa de ônibus onde trabalha o *Grupo Controlo*.

Fonte: Arquivo pessoal.

3.2.1.1. Enquadramento geográfico e socioeconômico

O domínio de estudo situa-se em Caxias do Sul, Rio Grande do Sul (Figura 3.4), estado pertencente à Região Sul do Brasil, que ocupa uma área aproximada de 281.748,54 km², equivalentes a 3,3% do território brasileiro (IBGE, 2010), com uma população de 10.500.900 habitantes (IBGE,2005), uma motorização de 4.138.550 unidades e um crescimento anual médio de, aproximadamente, 5%. O clima é considerado subtropical úmido, com quatro estações bem definidas, invernos moderadamente frios, com influências de massas de ar polares e verões quentes.



Figura 3.4. Ponto de localização da cidade de Caxias do Sul, RS, Brasil.

Fonte: (SMDETE, 2014).

A cidade está situada na extremidade leste da encosta superior do nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil. A latitude sul é de 29°10'25'' e a longitude oeste é de 51°12'21''. Ocupa uma área territorial de 1.652,308 quilômetros quadrados, que

corresponde a 0,55% da área do estado (IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística –, 2016). Sua altitude é de 760 m acima do nível do mar. O clima é subtropical. A temperatura oscila entre -1,4 °C e 33,6 °C durante o ano, de modo que a média permanece ao redor dos 16 °C (Dalegrave et al., 2017a).

Em Caxias do Sul (Figura 3.5), com o desenvolvimento de acentuado número de indústrias e o alto tráfego de veículos pela cidade, os índices de poluição preocupam (IBGE, 2016). Mesmo assim, a estação de monitoramento de ar está desativada desde o ano de 2009, devido a problemas técnicos e carência de recursos para mantê-la ativa, não existindo acompanhamento que possa embasar planejamento e medidas de preservação do ar na região estudada.



Figura 3.5. Vista aérea da cidade de Caxias do Sul.

Fonte: (SMDETE, 2014).

A população de Caxias do Sul possui, atualmente, 479.236 mil habitantes (Fonte: IBGE – 16/05/2017), dos quais 96,29% vivem na área urbana e 3,71%, na área rural, sendo a segunda maior cidade no estado em número de habitantes.

A economia da cidade está constituída por, aproximadamente, 34 mil estabelecimentos comerciais. Somente o setor da indústria tem um número estimado de 6.224 empresas e, dentre elas, cerca de 2.094 são do polo metal-mecânico da cidade. Isso faz com que a economia do município seja a terceira do Estado do Rio Grande do Sul, com Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 15,69 bilhões.

A renda *per capita* de Caxias do Sul, em 2010, era de R\$ 36.034,00, enquanto a renda *per capita* do estado estava no patamar de R\$ 22.244,00. Como é uma cidade relativamente grande, com indústrias, amplo comércio e várias instituições de ensino, há muita necessidade de deslocamento, o que faz grande parte da população utilizar ônibus municipais, motocicletas ou automóveis particulares (Figura 3.6).



Figura 3.6. Rua central de Caxias do Sul.

Fonte: (Damasceno, 2018).

3.2.1.2. Tráfego

Por conta da mobilidade urbana, a cidade conta com a segunda maior frota do estado. Apresenta um índice de 1,6 habitante por veículo, número que ultrapassa a metade da população, o que é considerado preocupante pela prefeitura. A cidade é movida a

combustível, sendo o carro e os ônibus os transportes prioritários. Pelos dados do DETRAN de abril de 2018, Caxias do Sul tem uma frota de 310.163 veículos, incluindo motocicletas, caminhões, ônibus e tratores. A volumosa frota é reflexo das boas condições econômicas e do hábito de grande parte da população em priorizar os carros em detrimento de outros meios de locomoção, como o transporte público e bicicletas.

Na Tabela 3.1, estão listados os componentes da frota de veículos registrados na cidade, comparando-se com o número de veículos no Estado do Rio Grande do Sul e, também, no Brasil, segundo dados do DENATRAN, em 2017.

Tabela 3.1. Frota de veículos registrados

Veículos	Caxias do Sul	Rio Grande do Sul	Brasil
Automóveis	204.376	4.071.134	51.296.981
Caminhões	9.360	222.940	2.684.227
Caminhões - Trator	2.571	54.597	593.892
Camionetes	23.636	483.609	6.680.333
Camionetas	12.966	234.926	3.053.759
Microônibus	1.530	20.361	383.325
Motocicletas	31.633	1.039.618	20.942.633
Motonetas	5.649	177.316	3.833.159
Ônibus	1785	40.032	601.522
Tratores	244	7.675	30.896
Utilitários	3.559	48.525	637.211

Fonte: Ministério das Cidades (DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito –, 2017).

Em zonas urbanas, o tráfego de veículos automotores constitui uma importante fonte de poluição atmosférica, sendo essencial o seu conhecimento para a análise dos dados de concentração de NO₂ monitorizados nessas áreas. O Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Sul (DETRAN-RS) tem por finalidade gerenciar, fiscalizar, controlar

e executar, em todo o território do estado, as atividades de trânsito, nos termos da legislação própria e, assim sendo, possui os registros de todos os veículos automotivos que circulam na cidade.

Os valores absolutos dos veículos registrados e que circulam pela cidade são os demonstrados a partir de dados apresentados pelo DETRAN-RS, que é o órgão responsável por esse controle. A partir disso, expõem-se, também, dados em relação à distribuição do tipo de combustível usado na frota veicular, como está demonstrado na Tabela 3.2, segundo o DENATRAN, em junho de 2017.

Tabela 3.2. Frota veicular por combustível – Junho de 2017

Tipo de combustível	Número de veículos
Álcool	9.251
Álcool – Gás natural veicular	222
Álcool - Gasolina	105.749
Diesel	27.760
Elétrico – Fonte Externa	1
Elétrico – Fonte Interna	6
Gás Metano	6
Gás natural veicular	1
Gasolina	149.993
Gasolina/ Álcool – Gás natural	1082
Gasolina/Elétrico	28
Gasolina/ Gás natural veicular	3.802
Sem Informação	14.231

Fonte: DENATRAN (junho 2017).

3.2.2. Coleta de dados e Instrumentos de Investigação

Constituíram a população-alvo indivíduos de gênero masculino com idades de 20 a 60 anos, não fumantes, que exercem a atividade de condutores de ônibus ou função administrativa em escritório da empresa pesquisada, na cidade de Caxias do Sul, RS, Brasil. A amostra foi dividida em dois grupos assim discriminados:

- *Grupo Alvo*: 30 indivíduos (50,8% da amostra), condutores de ônibus, não fumantes, que não apresentaram doenças respiratórias e responderam ao questionário sobre hábitos de vida e extensão do tempo em que atuam profissionalmente nessa função;
- *Grupo Controle*: 29 indivíduos (49,2% da amostra), funcionários da mesma empresa, porém do setor administrativo (escritório), não fumantes e que não apresentaram doenças respiratórias.

Esses profissionais integrantes da pesquisa, inicialmente, responderam a um questionário sobre hábitos de vida; depois, durante a coleta de dados, transportaram um amostrador passivo de NO₂ e, ao final do período, submeteram-se a exame de espirometria, realizado pela pesquisadora no ambulatório de medicina do trabalho da empresa.

Os critérios de inclusão da amostra foram a aceitação pelos motoristas e funcionários do setor administrativo de participarem do estudo, a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e o fato de não fumarem e não apresentarem doenças respiratórias. Consequentemente, os critérios de exclusão foram os motoristas não aceitarem participar, não assinarem o TCLE, serem fumantes e apresentarem doenças respiratórias.

3.2.3. Período e técnica de amostragem

A investigação foi feita em duas etapas distintas: no período do inverno de 2017 e no do verão de 2018. Os meses de junho e julho de 2017 e janeiro de 2018 foram escolhidos

para se obterem dados representativos das semanas típicas de inverno e de verão, respetivamente. Essa prática fundamenta-se na previsível variabilidade sazonal dos níveis atmosféricos de NO₂, bem como na do padrão de ventilação dos espaços interiores considerados na investigação. Durante as campanhas, foram registados dados meteorológicos, dados de qualidade do ar exterior, bem como dados de exposição ao NO₂ do *Grupo Alvo* e do *Grupo Controlo*.

Todos os participantes da pesquisa, no final do período, realizaram o exame de espirometria (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Período de realização das campanhas e dados monitorizados

Campanha	Período	Dados Monitorizados
Inverno	28/06/2017 a 20/07/2017	<ul style="list-style-type: none">• Meteorologia;• Concentração de NO₂ exterior em 3 pontos da cidade;• Exposição ao NO₂ (<i>Grupo Alvo</i> e <i>Grupo Controlo</i>);• Exame de espirometria (<i>Grupo Alvo</i> e <i>Grupo Controlo</i>).
Verão	03/01/2018 a 24/01/2018	

Foram utilizados amostradores passivos da PASSAM (PASSAM, 2018), empresa que realiza tanto a produção dos amostradores quanto a análise de seu conteúdo, de acordo com o padrão ISO/IEC 17025 (Anexo E), garantindo, assim, a emissão de dados analíticos confiáveis, passíveis de avaliação estatística tecnicamente sólida e defensável.

Na avaliação da qualidade do ar em locais de trabalho, durante o dia, ou, quando há necessidade de mapear uma cidade em busca da região onde um poluente tem maior concentração, os amostradores passivos são utilizados com vantagens em relação às técnicas ativas. O uso desses amostradores, na maioria das vezes, passa despercebido aos usuários (Brait e Filho, 2010), já que são pequenos e não emitem ruído, não interferindo nas atividades laborais (Melchert e Cardoso, 2006).

Tais amostradores (Anexo F) são constituídos por um dispositivo passivo que não requer energia para o seu funcionamento e faz a coleta do NO_2 por meio de difusão molecular ao longo de um inerte tubo absorvente, neste caso, contendo trietanolamina (PASSAM, 2018). O NO_2 é adsorvido quimicamente, na forma de nitrito, e analisado por espectrofotometria a 430 nm, pelo método de Saltzmann. O amostrador que é exposto na Figura 3.7 consiste em um tubo de polipropileno com diâmetro interno de 9,8 mm e 7,35 cm de comprimento, que pode ser colocado em um abrigo especial para protegê-lo de chuvas e minimizar a influência do vento no caso de aplicação externa.



Figura 3.7. Amostradores passivos de NO_2 utilizados.

Fonte: (PASSAM, 2018).

O NO_2 pode ser avaliado por meio de técnicas de espectrofotometria e fluorimetria, que são exames extremamente precisos e confiáveis ao darem um resultado quantitativo, exigindo longos procedimentos laboratoriais. A análise espectroscópica explora a interação de radiação eletromagnética com átomos e moléculas para fornecer informações químicas e físicas (estruturais), qualitativas e quantitativas, que estão contidas no material absorvido (Malaspina et al., 2018).

3.2.4. Observação meteorológica

As informações meteorológicas registadas durante as campanhas foram obtidas a partir da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para os períodos entre junho e julho de 2017 e, também, janeiro de 2018.

Dos dados disponíveis para este estudo, apenas foram considerados relevantes os relativos à temperatura e à velocidade do vento, pois se considerou que esses seriam os parâmetros condicionantes dos padrões de ventilação dos espaços interiores, bem como, de forma meramente indicativa, do transporte e dispersão dos poluentes no exterior.

Uma vez baixados os dados no Microsoft Excel, eles foram organizados e inseridos no programa WRPLOT VIEW (Lakes Environment, 2018). Esse programa usa os dados meteorológicos, a fim de construir a Rosa dos Ventos. Foi utilizado, então, o WRPLOT VIEW, para elaborar gráficos e demonstrar o comportamento dos ventos em Caxias do Sul, durante o período da pesquisa.

Como referencial de comparação para as variáveis meteorológicas observadas, foi usada a Normal Climatológica (NC) mais recente (1981-2010) da região para os meses de junho e julho (inverno) e janeiro (verão) (INMET, 2018).

3.2.5. Avaliação do NO₂ no ambiente exterior

Em geral, a avaliação da qualidade do ar urbano é suportada pela observação em pontos de amostragem representativos de zonas sob a influência direta das emissões de tráfego – as Estações de “tráfego” – e de zonas consideradas longe dessas mesmas emissões – as Estações de “fundo”.

Assim, nas campanhas de inverno de 2017 e verão de 2018, foi realizado o monitoramento da concentração de NO₂ em vários pontos da cidade, tendo como objetivo uma indicação dos níveis observados em locais sob influência de tráfego (amostrador na principal via da cidade – Rua Sinimbu) e de fundo (amostrador num jardim urbano – Parque Getúlio

Vargas). Esses dois pontos foram complementados por um outro (Apêndice L), relevante para o estudo, a garagem de estacionamento da empresa de ônibus (Figura 3.8). Dessa forma, foi obtida a indicação dos níveis de concentração de NO₂ nos ambientes externos percorridos pelos ônibus em seus trajetos habituais.



Figura 3.8. Mapa da garagem de estacionamento da empresa de ônibus, em Caxias do Sul, Brasil.

Fonte: Google maps e arquivo pessoal.

Os pontos de amostragem sob a influência de tráfego e o ponto dito de fundo merecem especial descrição. A Rua Sinimbu (tráfego) é a principal rua da cidade de Caxias do Sul, bem centralizada, com comércio expressivo e grande movimento de automóveis e ônibus. Esse ponto de amostragem (Apêndice M), além de ser localizado na rua principal da cidade, também é próximo de uma paragem de ônibus com vasta movimentação de veículos e pessoas (Figura 3.9).

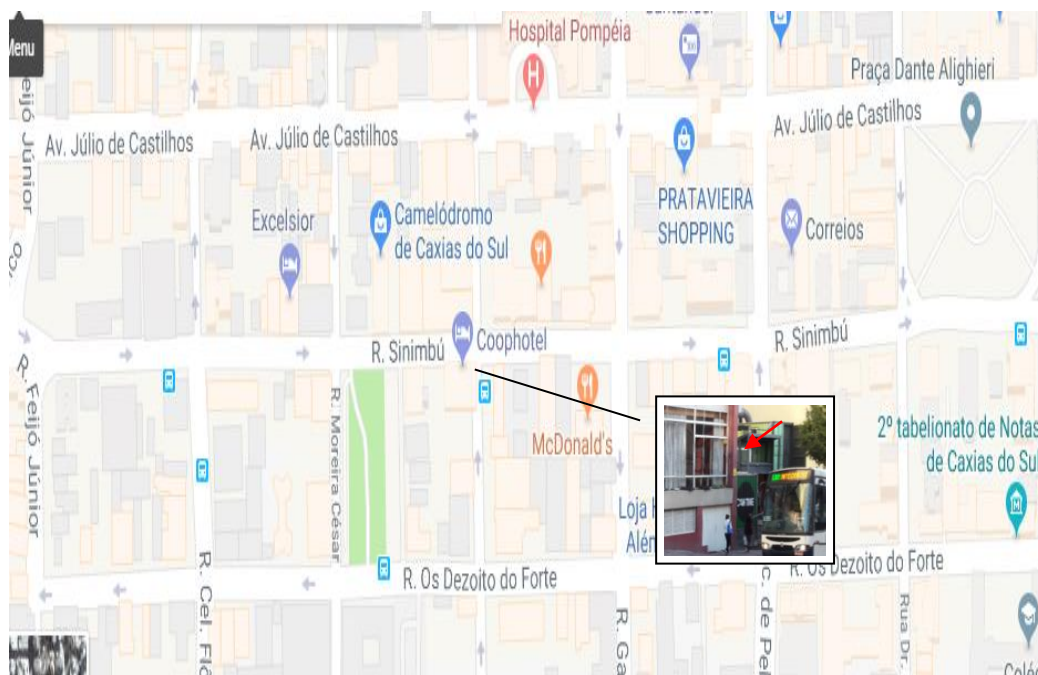


Figura 3.9. Mapa da Rua Sinimbu, em Caxias do Sul, Brasil.

Fonte: Google maps e arquivo pessoal.

O jardim escolhido para a realização da amostragem de fundo (Apêndice N) foi o Parque Getúlio Vargas (Parque dos Macaquinhos), que fica em local central da cidade, rodeado pelas Ruas Dr. Montauray, Alfredo Chaves e Dom José Barea. Trata-se de um parque público, bastante arborizado, com pistas para caminhadas, bancos e gramados (Figura 3.10).

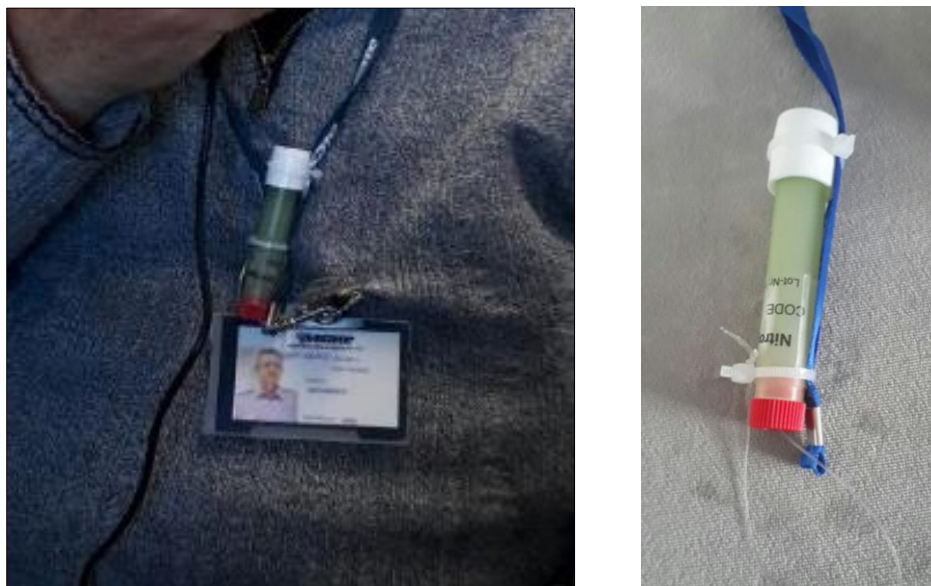


Figura 3.11. Amostrador passivo de NO₂ utilizado preso ao crachá.

Fonte: Arquivo pessoal.

Cada participante foi responsável pelo registro das datas e horas de exposição do seu amostrador, isto é, a anotação dos dias e horários de início e término de suas jornadas de trabalho. Após as três semanas de coleta, esses difusores foram enviados para análise laboratorial, a fim de ser determinado o doseamento dos níveis de NO₂ a que cada participante esteve submetido durante a sua jornada de trabalho.

Cabe aqui enfatizar que a comparação com o valor guia médio anual da OMS para o NO₂ (40 µg.m⁻³), que será usada como referência em todo o trabalho, é apenas indicativa, uma vez que a técnica aplicada (difusão passiva), embora corresponda a uma média integrada, diz respeito tão somente a seis semanas de medidas, distribuídas por duas campanhas sazonais (inverno e verão).

Em atenção às orientações da empresa PASSAM, fabricante dos amostradores utilizados neste estudo, no exterior, os equipamentos foram colocados a 2-3 metros de altura, em abrigos apropriados, garantindo proteção das intempéries e uma correta circulação do ar por todos os lados.

3.2.7. Espirometria

As provas de função pulmonar foram realizadas nas dependências da empresa, pela mesma equipe de pesquisadores. Utilizou-se, acoplado a um computador, o espirômetro MIR MINISPIR (MIR, Roma, Itália), fabricado em 2015, com capacidade de registro gráfico em conformidade com os critérios da *American Thoracic Society (ATS)* – *European Respiratory Society* (Miller et al., 2005).

A espirometria é a mensuração do ar que entra e do que sai dos pulmões. Ela permite auferir as medidas do volume de ar inspirado e expirado, além dos fluxos respiratórios, ajudando na avaliação dos dados resultantes da manobra de expiração (Pereira, 2002). Esse teste pode ser utilizado como um método preventivo, além de possibilitar a definição de um diagnóstico e a quantificação de alterações ventilatórias. Trata-se de um exame que exige a colaboração e a compreensão do indivíduo que a ele se expõe e deve ser aplicado por um profissional capacitado. Os valores obtidos foram comparados com os valores previstos como adequados para a população avaliada. Durante a realização, a técnica e os critérios de aceitabilidade e de reprodutibilidade do teste de espirometria seguiram os padrões adotados pelo Consenso Brasileiro de Espirometria. Esses exames foram realizados pela manhã, com a determinação das curvas volume-tempo e fluxo-volume.

Os participantes obtiveram cuidadosa descrição das técnicas a serem realizadas e foram orientados a descansar por cinco a dez minutos antes do exame. Foi-lhes enfatizada a importância de evitarem vazamentos em torno do bucal, para não haver erros, e, também, de realizarem uma inspiração máxima seguida de expiração máxima e sustentada, até que o examinador sinalize o término do teste (o técnico demonstrava o procedimento, usando um tubo). Também lhes foi solicitado que ficassem sentados durante a realização dos testes, com a cabeça em posição neutra e utilizando um clipe nasal. Não foram efetuados testes de broncodilatação, e as medidas foram tomadas pelo mesmo examinador, conforme estudos (Pereira, 2002, Pereira et al., 2014, Moreira et al., 2008).

A inspiração até a Capacidade Pulmonar Total (CPT), antes da expiração forçada, não deveria ser muito rápida, e a pausa pós-inspiratória não deveria exceder 3 segundos. A duração da manobra de expiração forçada foi estipulada em 6 segundos, no mínimo. Foram realizadas de 3 a 8 tentativas, encerrando-se após a obtenção de 3 curvas aceitáveis e 2 reprodutíveis, conforme demonstrado na Figura 3.12.

O objetivo da espirometria foi a obtenção dos volumes e capacidades pulmonares (Pereira et al., 2014). Para tanto, a curva volume-tempo foi elaborada de acordo com os critérios estabelecidos pela American Thoracic Society (Miller et al., 2005), sendo escolhida a melhor de três curvas aceitáveis (Costa e Jamami, 2001). Assim, os parâmetros analisados por meio da espirometria foram os valores da capacidade vital forçada (CVF), o volume do fluxo expiratório no primeiro segundo (VEF_1), o fluxo expiratório forçado nos momentos 25% e 75% da CVF ($FEF_{25-75\%}$), o volume de reserva expiratório (VRE), a capacidade inspiratória (CI) e o índice de Tiffeneau (VEF_1/CVF), os quais foram observados de acordo com os valores preditos pelo II Consenso Brasileiro de Espirometria (Pereira et al., 2007).

O equipamento padrão ouro para executar este tipo de análise é o espirômetro com registro de gráfico direto, de acordo com os critérios da American Thoracic Society (ATS). Os critérios aceitos para a capacidade vital forçada (CVF) são descritos como de início satisfatório do teste, com um volume retroextrapolado menor que 5% da CVF ou 150 ml, manobra de valsava, vazamento de ar e obstrução bucal, ausência de tosse e esforço insuficiente que possam comprometer a análise da curva. O tempo expiratório tem duração média de seis segundos. E, como critério de reprodutibilidade do exame, considera-se a diferença máxima de 10% nos parâmetros CVF e volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF_1), entre as medidas de duas curvas (Pereira, 2002).



Figura 3.12. Motorista realizando exame de espirometria.

Fonte: Arquivo Pessoal.

Como referido anteriormente, para serem incluídos na pesquisa, todos os participantes leram o TCLE – com as informações sobre o estudo –, concordaram com ele e o assinaram.

3.3. Análise dos dados

Para possibilitar a realização da análise estatística, inicialmente, foi feito o ajuste dos dados coletados. Houve um dado faltante de uma amostra de NO_2 em que o indivíduo participante manteve o amostrador muito sujo, dificultando a sua interpretação. O problema foi resolvido substituindo-se esse dado pela média dos demais resultados.

A amostra utilizada no estudo foi calculada com base no grau de confiança de 95% e margem de erro de 10%, com alfa de $\leq 20\%$ de um $n = 59$. As amostras foram pareadas, pois os grupos são heterogêneos. O pareamento é um método simples de garantir que

casos e controles sejam comparáveis em relação a fatores importantes (Hulley et al., 2015). Após o pareamento foi realizada uma análise de frequência simples intragrupos.

A estatística descritiva do trabalho consta de gráficos para as variáveis qualitativas (gênero, raça) e histogramas para as variáveis quantitativas (idade, índice de poluição atmosférica, tempo de exposição diária em minutos, tempo de exercício da função em anos, temperatura, umidade do ar e valores encontrados no exame de espirometria). Os dados foram apresentados por frequência absoluta e relativa, descrições em média (desvio padrão) ou mediana (intervalo interquartil), conforme a simetria das variáveis. A análise ocorreu a partir dos valores basais de espirometria nas diferentes estações do ano.

Foi implementado, ainda, o Teste T ou de Student, para comparar o valor médio das capacidades pulmonares entre os dois grupos, e o teste de Mann-Whitney para comparar a mediana da variável em causa, caso essas variáveis não apresentassem normalidade. E, para verificar a associação entre os índices de NO₂ e os índices de espirometria, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson, que permite encontrar a correlação de desfecho nos valores verificados, pois é um teste não paramétrico, normalmente aplicado para duas amostras independentes.

Procedeu-se a uma análise de correlação simples, mediante o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson (r), com o objetivo de perceber o nível e as lógicas de associação entre as variáveis de características individuais de cada participante e as variáveis ambientais das duas estações do ano investigadas. O coeficiente de correlação de Pearson varia entre -1 (correlação negativa perfeita ou inversa, i.e., quando uma das variáveis aumenta e a outra diminui) e 1 (correlação positiva perfeita, quando ambas aumentam ou diminuem simultaneamente). O valor 0 significa que não há relação entre as variáveis x e y. Assim, quanto mais próximo esse valor estiver de 1 ou de -1, mais forte será a associação entre as duas variáveis. Por convenção, um $r < 0,2$ indica uma associação muito baixa; entre 0,2 e 0,39, ela é classificada como baixa; entre 0,4 e 0,69, moderada; entre 0,7 e 0,89, alta; e, entre 0,9 e 1, tem-se uma associação muito alta (Pestana e Gageiro, 2003).

O nível de significância estabelecido nos testes estatísticos foi de 5% ou $p < 0,05$. Todos os testes foram bidirecionais e, dessa forma, buscou-se demonstrar os resultados por meio de gráficos e tabelas, empregando-se o *software* Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) (Hulley et al., 2003).

O projeto foi submetido ao comitê de ética e pesquisa da Universidade Fernando Pessoa (Portugal) (Anexo G) e, também, ao da Faculdade da Serra Gaúcha (Brasil), sendo aprovado nas duas instituições, além de ser inserido na Plataforma Brasil, com o Certificado de Apresentação para Apreciação Ética – CAAE – sob o número 51368215.8.0000.5668. Em anexo, inclui-se o Parecer Consubstanciado de número 1.489.252 (Anexo H). E, ainda, para que os participantes se tornassem parte efetiva deste estudo, foi-lhes solicitada a assinatura do TCLE, após terem recebido os devidos esclarecimentos sobre os objetivos do trabalho e os procedimentos a serem realizados.

Capítulo IV

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os dados observados durante as campanhas de campo de inverno e de verão. Como referido anteriormente, serão apontados os dados relativos à meteorologia e à qualidade do ar exterior, bem como os dados atinentes à exposição ocupacional e à espirometria dos grupos *Alvo* (motoristas) e *Controlo* (pessoal administrativo).

Parte deste capítulo foi publicada em artigo na “Atmospheric Environment” (Heberle et al., 2019), bem como apresentada em conferências (Heberle et al., 2018c, Heberle et al., 2018d, Heberle et al., 2018a, Heberle et al., 2018b, Dalegrave et al., 2017a, Dalegrave et al., 2017b).

4.1. Apresentação dos resultados

Como já explicitado, a informação recolhida visou a avaliar a exposição dos motoristas (*Grupo Alvo*) ao dióxido de nitrogênio presente no ar interior dos ônibus, usando como controlo a exposição observada num grupo de pessoal administrativo (*Grupo Controlo*). Para além disso, pretendeu-se, de forma indicativa, avaliar a influência da qualidade do

ar exterior na qualidade do ar interior dos ônibus, assim como aferir a importância das variações sazonais nos níveis verificados desse poluente.

4.1.1. Caracterização da amostra

Participaram do estudo 59 indivíduos que foram separados em 2 grupos: 30 motoristas (50,8%) e 29 funcionários do setor administrativo (49,2%), que não apresentaram doenças respiratórias e não se declararam fumantes. Em relação ao gênero dos participantes, foram identificados 21 (35,6%) do sexo feminino e 38 (64,4%) do sexo masculino. Pôde-se observar que, no grupo de motoristas, a maioria é do gênero masculino (93,3%), enquanto o *Grupo Controle* é formado por maioria do gênero feminino (65,5%), o que permite concluir-se que essa possa ser uma particularidade da função que esses profissionais exercem. A média de idades no grupo administrativo é de 33,3 ($\pm 9,6$) anos e, no dos motoristas, é de 45,5 ($\pm 8,3$) anos. Esses dados aparecem demonstrados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Caracterização da amostra

Variáveis	Motoristas n = 30	Escritório n = 29	p
Sexo masculino, n.º (%)	28 (93,3)	10 (34,5)	<0,001 ^a
Idade, anos	45,5 \pm 8,3	33,3 \pm 9,6	<0,001 ^b
Tempo de exposição, min	7824 \pm 891	7889 \pm 267	0,709 ^b
Tempo de profissão, anos			<0,001 ^c
mediana	14	6	
mínimo – máximo	3 – 28	1 – 26	

Os dados são apresentados como contagem (percentual), média \pm desvio-padrão ou mediana (mínimo–máximo).

P: significância estatística baseada nos testes (a) exato de Fisher, (b) t de Student, (c) U de Mann-Whitney.

4.1.2. Observação meteorológica

O comportamento da ação dos poluentes atmosféricos está, em grande parte, dependente dos fenômenos meteorológicos. Por esse motivo, a análise dos dados da qualidade do ar tende a se tornar mais correta se for acompanhada das informações meteorológicas do mesmo período.

O ar atmosférico é formado por, além de oxigênio, muitos compostos em concentrações menores que atuam como reagentes e, como fonte de energia, a luz solar, promovendo reações fotoquímicas (fotólise) (Bucco, 2010). Tais reações são dependentes de algumas variáveis, como temperatura, concentração dos reagentes, reatividade das moléculas e outros (Ho et al., 2017, Li et al., 2018). Essas transformações podem ter a duração de minutos ou, até, de anos (Bucco, 2010). No caso do NO₂, o tempo estimado é de um dia, atuando em direções e distâncias variadas, conforme o vento transportar (Godish, 2004, Zhang et al., 2017).

Como já mencionado, a informação meteorológica registrada durante as campanhas foi obtida a partir da estação meteorológica do INMET. Dos dados disponíveis para este estudo, apenas foram qualificados como relevantes os relativos à temperatura e à velocidade do vento, uma vez que se considerou serem esses os parâmetros condicionantes dos padrões de ventilação dos espaços interiores, bem como, de forma meramente indicativa, do transporte e dispersão dos poluentes no exterior.

Como referencial de comparação para os parâmetros meteorológicos observados, foi usada a Normal Climatológica (NC) mais recente (1981-2010) da região para os meses de junho e julho (inverno) e janeiro (verão) (INMET, 2018). Na Tabela 4.2, apresentam-se as variáveis meteorológicas consideradas relevantes e observadas durante a campanha de inverno.

Nos meses de inverno, normalmente, a qualidade do ar tende a piorar, pois as condições do tempo não são favoráveis à dispersão dos poluentes (Bucco, 2010). Ela varia em função das especificidades do ambiente e das principais características naturais que têm

influência no transporte e dispersão dos poluentes, tais como a velocidade e a direção do vento, a estabilidade atmosférica, a altitude, a topografia e os obstáculos.

Tabela 4.2. Apresentação das variáveis meteorológicas consideradas relevantes e observadas durante a campanha de inverno

Hora	Temperatura	Velocidade do Vento
	Média (Min.; Máx.) (°C)	Média (Min.; Máx.) (m.s ⁻¹)
09h	13,7 (5,0; 23,0)	11,9 (2,0; 30,0)
12h	16,7 (8,0; 27,0)	14,9 (6,0; 31,0)
18h	14,9 (3,0; 23,0)	8,9 (4,0; 15,0)
24h	11,6 (-1,0; 18,0)	8,3 (0,0; 16,0)

Negligenciar os efeitos sobre as emissões veiculares da variabilidade de temperatura, tipo de estrada, velocidade do veículo e comportamento do tráfego (marcha lenta, aceleração, desaceleração ou cruzeiro) resulta em subestimação das concentrações de exposição de diversos poluentes e, em especial, do NO₂ (Chart-Asa e Gibson, 2015).

Segundo vários estudos, a concentração de poluentes depende da quantidade que é emitida e do grau de ventilação do ambiente para diluí-lo (Bucco, 2010). Já o volume de poluentes que são emitidos no ar depende do tipo e do número de fontes poluidoras (Lee et al., 2011, Son et al., 2004, Zhang e Batterman, 2013). Sendo assim, verifica-se, por meio da rosa dos ventos construída com os dados climatológicos obtidos durante o período de observação e processados no WRPLOT VIEW, que, durante a campanha do inverno de 2017, no período compreendido entre os dias 28/06/2017 e 20/07/2017, predominaram os ventos do quadrante nordeste (NE) na maior parte do tempo e que, também, os ventos mais fortes sopraram dessa direção, atingindo velocidades máximas entre os 4,2 m.s⁻¹ e os 8,6 m.s⁻¹. A velocidade do vento, classificada como calma, foi quase inexistente durante as três semanas da campanha de inverno. A Figura 4.1 evidencia que, nesse período, a região de Caxias do Sul recebeu os ventos (Apêndice O),

geralmente, do nordeste (NE). A predominância de ventos de NE deve-se ao efeito de Coriolis², que ocasiona o movimento do ar no sentido anti-horário, para as células de alta pressão, no hemisfério Sul.

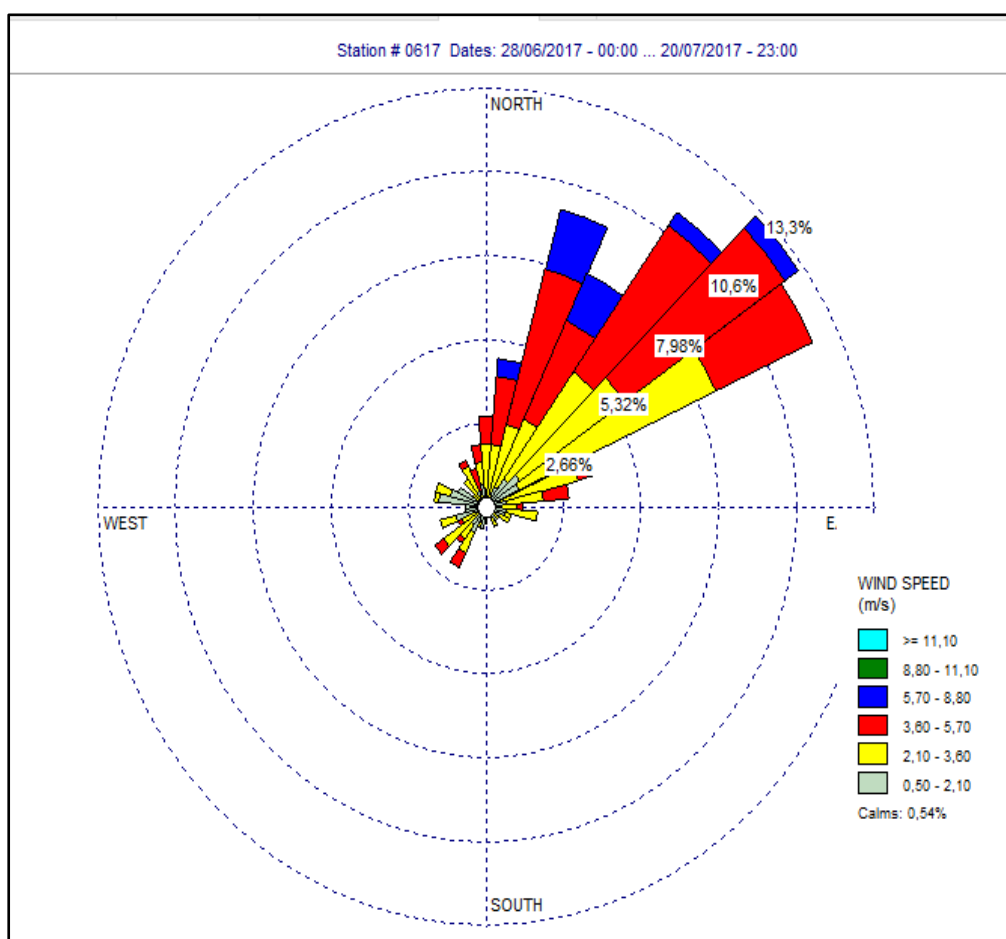


Figura 4.1. Rosa dos ventos durante a campanha de inverno.

² Força ou efeito de Coriolis é um sistema de referência em rotação uniforme, de modo que os corpos em movimento aparecem sujeitos a uma força perpendicular à direção do seu movimento. Em 1889, Ferrel disse o seguinte: "se um corpo move-se em qualquer direção sobre a superfície terrestre, há uma força de deflexão decorrente da rotação da Terra que o deflete para a direita no hemisfério norte e para a esquerda no hemisfério sul".

Observando-se a velocidade do vento para o período de inverno estudado, constata-se, na Figura 4.2, uma predominância de velocidade do vento entre $2,1 \text{ m.s}^{-1}$ e $3,6 \text{ m.s}^{-1}$, que totalizou 39,3% das direções examinadas, seguidas pela classe de $3,6 \text{ m.s}^{-1}$ a $5,7 \text{ m.s}^{-1}$, que representou 31,9% das direções dos ventos monitorados em Caxias do Sul, entre as datas de 28 de junho de 2017 e 20 de julho do mesmo ano (Apêndice P).

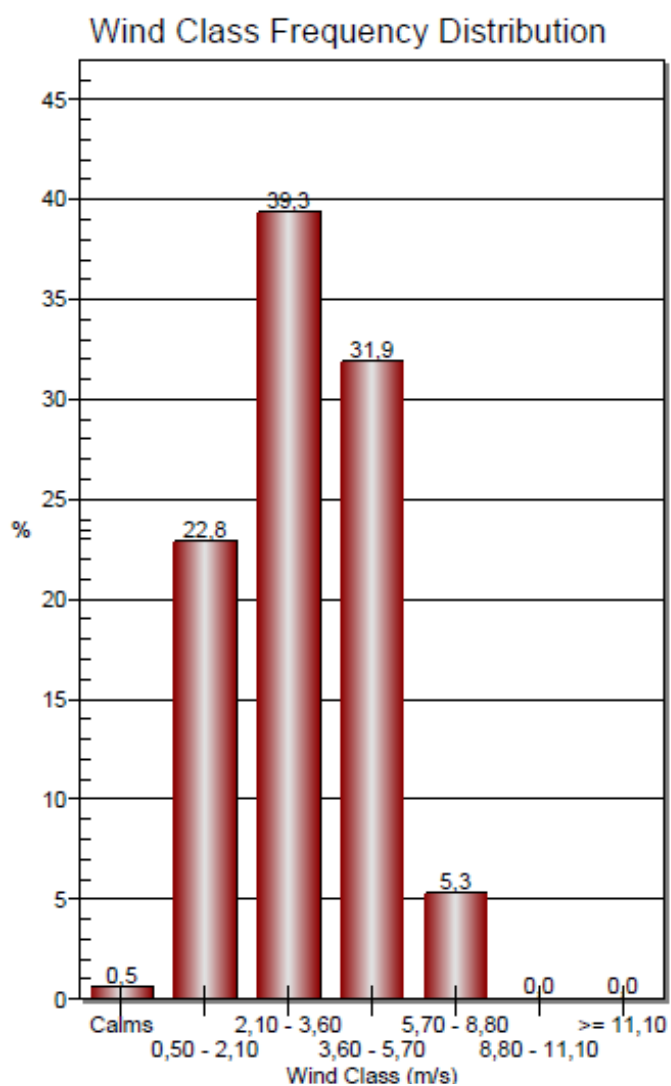


Figura 4.2. Frequência e distribuição da velocidade do vento durante a campanha de inverno.

Durante a campanha de inverno, que se estendeu entre os dias 28 de junho e 20 de julho de 2017, houve uma oscilação importante entre as temperaturas registradas. O valor médio da temperatura foi de 16,0 °C, cerca de 3,6 °C acima da temperatura média da NC da região para os meses de junho e julho. Por outro lado, foram identificados gradientes de temperatura bastante significativos, com um valor mínimo observado de -1,0 °C, que se compara com o valor mínimo médio para o mesmo período da NC de 9,1 °C, e um valor máximo de 27,0 °C, que se compara com o valor máximo médio para o mesmo período da NC de 17,1 °C. Sendo assim, esse foi considerado um inverno ameno com alguns registros de temperatura muito próximos dos valores referidos no período do verão, o que, de certa forma, acaba influenciando, também, nos níveis da concentração de NO₂ encontrados.

Essa mudança climática importante explica a dificuldade do ar em subir, de modo que, assim, acaba acontecendo a dispersão dos poluentes, o que é chamado de inversão térmica, fato que ocorre com frequência na região de Caxias do Sul.

Relativamente à campanha de verão (Tabela 4.3), compreendida entre os dias 03 e 24 de janeiro de 2018, houve uma maior variação da direção dos ventos, porém predominaram, igualmente, na maior parte dos dias, os ventos do quadrante NE, sudeste (SE) e noroeste (NO). A velocidade do vento, classificada como calma, foi quase inexistente durante as três semanas da campanha do verão, figurando em apenas 1,14% do período observado.

Tabela 4.3. Apresentação das variáveis meteorológicas consideradas relevantes e observadas durante a campanha de verão

Hora	Temperatura	Velocidade do Vento
	Média (Min; Máx.) (°C)	Média (Min.; Máx.) (m.s ⁻¹)
09h	18,5 (18,3; 18,7)	2,9 (1,0; 6,0)
12h	21,5 (20,1; 21,7)	2,8 (1,2; 6,1)
18h	25,6 (24,6; 26,6)	2,7 (2,2; 6,9)
24h	21,3 (21,2; 21,9)	2,6 (0,0; 5,7)

Durante a campanha de verão, a temperatura média foi de 25,0 °C, com máximas de 32,0 °C e mínima de 21,0 °C. Em comparação com a NC, verifica-se que o valor médio observado nesse período está 3,8 °C acima do esperado. Da mesma forma, o valor mínimo apurado está 3,7 °C acima do aguardado, e o valor máximo, 5,4 °C. Essas temperaturas são atípicas nesse tempo, uma vez que os meses de janeiro e fevereiro são considerados os mais quentes do ano.

No que diz respeito à velocidade do vento para o período do verão estudado, janeiro de 2018, identifica-se, na Figura 4.3, uma predominância de velocidade do vento entre 2,1 m.s⁻¹ e 3,6 m.s⁻¹, o que totalizou 49,1% das direções observadas, seguidas pela classe de 0,50 m.s⁻¹ a 2,1 m.s⁻¹, que representou 25,8 % das direções dos ventos monitorados em Caxias do Sul (Apêndice Q) e, ainda, uma velocidade um pouco maior, chegando a valores entre 3,6 m.s⁻¹ e 5,7 m.s⁻¹, equivalendo a 22,5 % entre as datas de 03 e 24 de janeiro de 2018 (Figura 4.4).

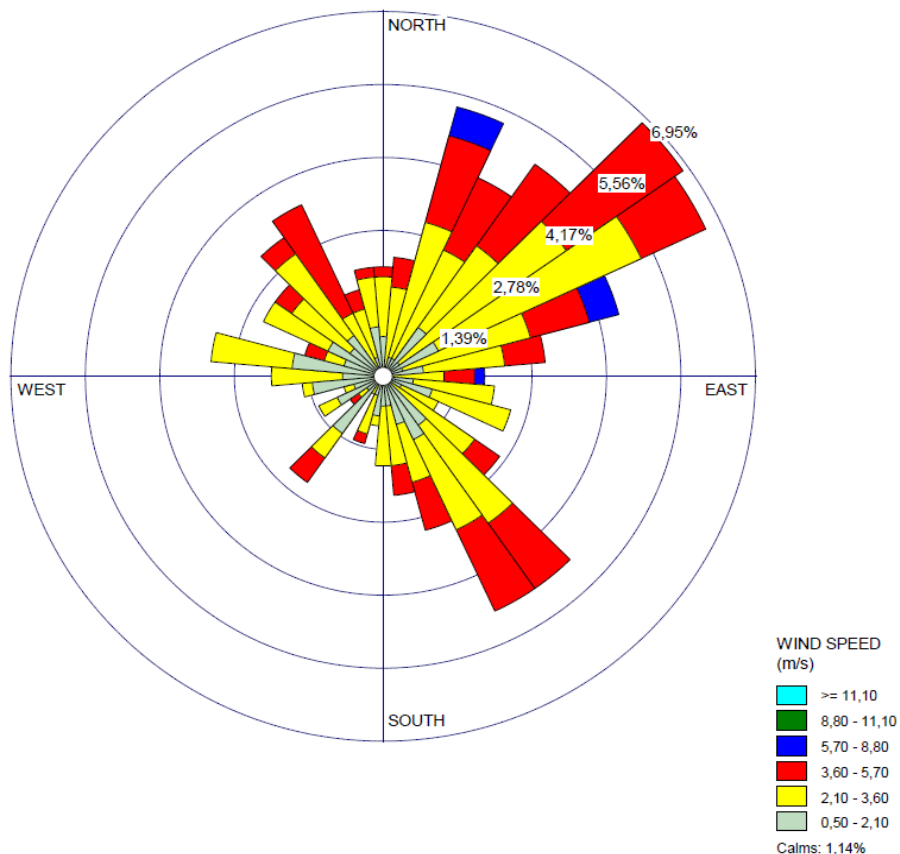


Figura 4.3. Rosa dos ventos durante a campanha de verão.

Na Figura 4.4, demonstra-se a frequência e a distribuição da velocidade do vento em Caxias do Sul, no período de 3 a 24 de janeiro de 2018 (Apêndice R).

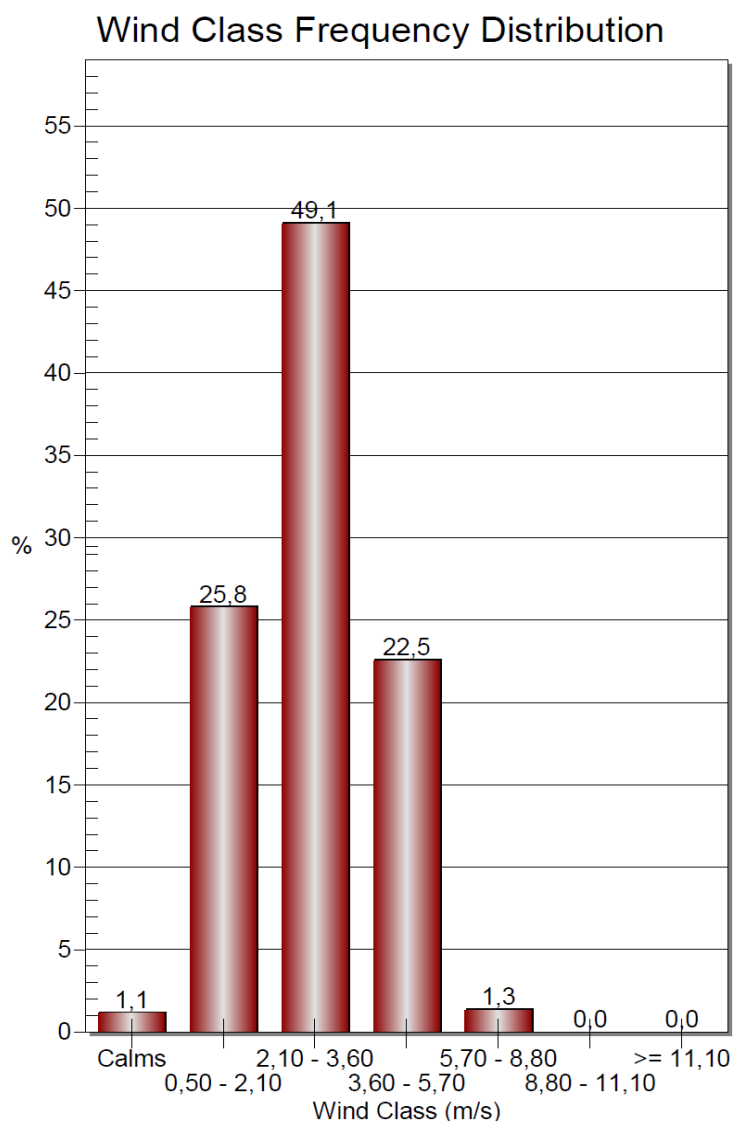


Figura 4.4. Frequência e distribuição da velocidade do vento durante a campanha de verão.

4.1.3. Avaliação do NO₂ no ambiente exterior

Foi monitorada a concentração de NO₂ em três locais diferentes da cidade: na Rua Sinimbu que fica na região central, no Parque Getúlio Vargas e no estacionamento da empresa de ônibus. Os valores identificados no inverno e no verão estão apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Valores de concentração de NO₂ no ambiente exterior, durante as campanhas de inverno e de verão

Locais	NO ₂ inverno ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	NO ₂ verão ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Diferença relativa observada (%)	Valor médio observado ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
Garagem de ônibus	47,9	17,5	- 63,5	32,7
Rua Sinimbu (Tráfego)	28,6	27,5	- 3,8	28,1
Parque Getúlio Vargas (Fundo)	19,5	10,2	- 47,7	14,9
Valor médio	32,0	18,4	- 42,5	

A qualidade do ar nesses locais foi monitorada para fornecer uma amostra breve da exposição em tais pontos, em estações do ano diferentes, variando entre os funcionários do escritório que ficam no prédio próximo à garagem dos ônibus e os motoristas que trabalham, durante algumas horas do dia, em deslocamentos na área urbana da cidade.

Em média, os valores mais elevados observam-se na garagem dos ônibus, seguindo-se os da estação de “tráfego” da Rua Sinimbu e, por último, os verificados na estação de “fundo” do Parque Getúlio Vargas. De forma genérica, os valores de NO₂, no inverno, são, proporcionalmente, maiores que os índices apontados no verão ($p < 0,001$), conforme teste t de Student.

As diferenças dos valores observados nas distintas estações do ano, em termos relativos, variam entre uns modestos - 3,8%, no caso da estação de “tráfego” da Rua Sinimbu e os - 63,5% da garagem de ônibus.

4.1.4. Exposição ao NO₂ no ambiente interior

As medições das concentrações de NO₂ em cabinas de veículos são bastante limitadas a pouquíssimos estudos anteriores, os quais, em sua grande maioria, mediram outros

poluentes associados (Martin et al., 2016), o que foi crucial na motivação para a realização deste trabalho.

Na Tabela 4.5, apresentam-se os resultados das observações efetuadas junto aos grupos *Alvo* e *Controlo*, para as campanhas de inverno e verão. A avaliação da significância estatística das diferenças observadas foi realizada buscando-se recurso a um teste t de Student.

Tabela 4.5. Concentração de NO₂ no ambiente interior, durante as campanhas de inverno e de verão

Variáveis	<i>Grupo Alvo</i> n=30	<i>Grupo Controlo</i> n=29	p
NO ₂ inverno, µg.m ⁻³			< 0,001
média±DP	47,7±16,6	23,9±6,5	
mediana	48,4	23,3	
mínimo – máximo	16,5 – 91,0	9,2 – 46,7	
NO ₂ verão, µg.m ⁻³			< 0,001
média±DP	39,0±12,8	11,9±6,2	
mediana	38,4	10,8	
mínimo – máximo	15,8 – 66,7	2,7 – 33,9	

Os dados são apresentados como concentração (µg.m⁻³), média±desvio-padrão ou mediana (mínimo–máximo). NO₂: dióxido de nitrogênio. p: significância estatística baseada no teste t de Student.

Como pode ser observado, quer no inverno quer no verão, existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,001$) entre os grupos *Alvo* e *Controlo*: os valores de inverno que foram verificados são mais altos que os de verão em ambos os grupos (comparação estatística não apresentada na Tabela 4.5).

4.1.5. Espirometria

Quando se comparam os resultados da avaliação da capacidade pulmonar (Tabela 4.6) realizada no período do verão, nos dois grupos, chama a atenção que o índice de Tiffenau (VEF_1/CVF) apontado no *Grupo Alvo* é de 78,8 ($\pm 8,1$) com mediana de 80,99, mínima de 50,20 e máxima de 92,20. Já, no *Grupo Controlo*, o índice encontrado foi de 81,8 ($\pm 5,4$) com mediana de 81,90, mínima de 72,70 e máxima de 93,50, não havendo diferença significativa ($p = 0,094$) entre os grupos.

No período do inverno, quando foram avaliadas as variáveis da espirometria, o índice de Tiffenau (VEF_1/CVF) do *Grupo Alvo* apresentou uma média de 78,6 ($\pm 9,1$) com mediana de 81,25, mínima de 50,00 e máxima de 90,30 com o $p = 0,593$ (t Student); no *Grupo Controlo*, a média foi de 76,8 ($\pm 16,0$) com mediana de 80,30, mínima de 36,10 e máxima de 96,90. Esses valores são considerados normais, mesmo evidenciando níveis elevados de NO_2 .

Tabela 4.6. Valores de espirometria encontrados

Variáveis	<i>Grupo Alvo</i> n=30	<i>Grupo Controlo</i> n=29	p
Sexo masculino, n.º (%)	28 (93,30)	10 (34,5)	<0,001 ^a
Idade, anos	45,50±8,30	33,3±9,60	<0,001 ^b
VEF ₁ /CVF verão, %	78,80±8,10	81,8±5,40	0,094 ^b
VEF ₁ /CVF inverno, %	78,60±9,10	76,8±16,0	0,593 ^b
PFE verão, L.s ⁻¹	7,83±2,35	7,45±1,51	0,459 ^b
PFE inverno, L.s ⁻¹	6,38±1,84	5,06±2,00	0,010 ^b
FEF _{25/75%} verão, L.s ⁻¹	3,85±1,17	3,59±1,08	0,376 ^b
FEF _{25/75%} inverno, L.s ⁻¹	3,57±1,14	3,37±1,32	0,546 ^b
CVF verão, L	4,83±0,88	4,34±0,96	0,046 ^b
CVF inverno, L	4,36±0,74	4,10±0,98	0,272 ^b

Os dados são apresentados como contagem (percentual), média±desvio-padrão ou mediana (mínimo–máximo). VEF₁/CVF: razão entre volume expiratório forçado no primeiro segundo e capacidade vital forçada; PFE: pico de fluxo expiratório; FEF_{25/75%}: fluxo expiratório forçado médio; CVF: capacidade vital forçada. p: significância estatística baseada nos testes: (a) exato de Fisher, (b) t de Student.

Em relação ao *Grupo Alvo* (Figura 4.5), no período do inverno, a CVF parece ter uma queda que não é observada no *Grupo Controlo*. Nesse grupo, a maior diferença encontrada em termos de função pulmonar diz respeito à CVF que, no inverno, foi menor. Estatisticamente, no gráfico de diferença de médias padronizadas, quando são descobertos valores que vão de - 0,20 a 0,20, eles são considerados como diferença de magnitude trivial pequena.

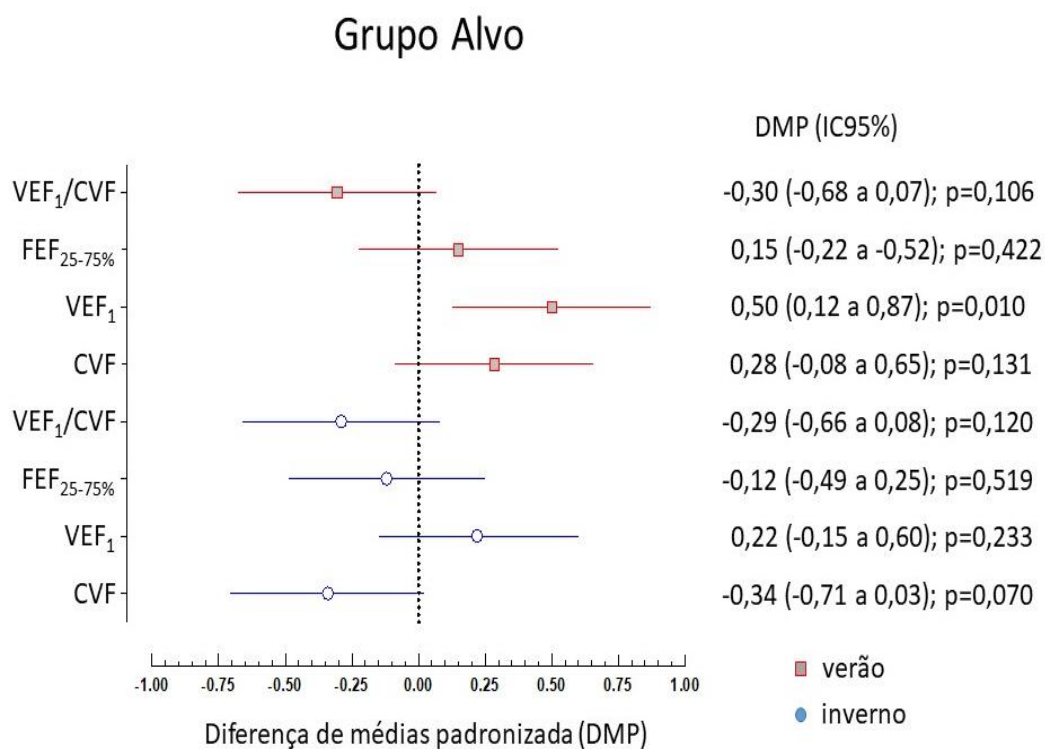


Figura 4.5. Valores de função pulmonar observados no *Grupo Alvo* comparados com os valores de função pulmonar previstos, estratificados por estação climática.

VEF₁/CVF : razão entre Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo e Capacidade Vital Forçada; FEF_{25/75%}: Fluxo Expiratório Forçado Médio; CVF: Capacidade Vital Forçada.

Na Figura 4.6, estão destacados os valores de função pulmonar observados no *Grupo Controle*, comparados com os valores de função pulmonar previstos, estratificados por estação climática.

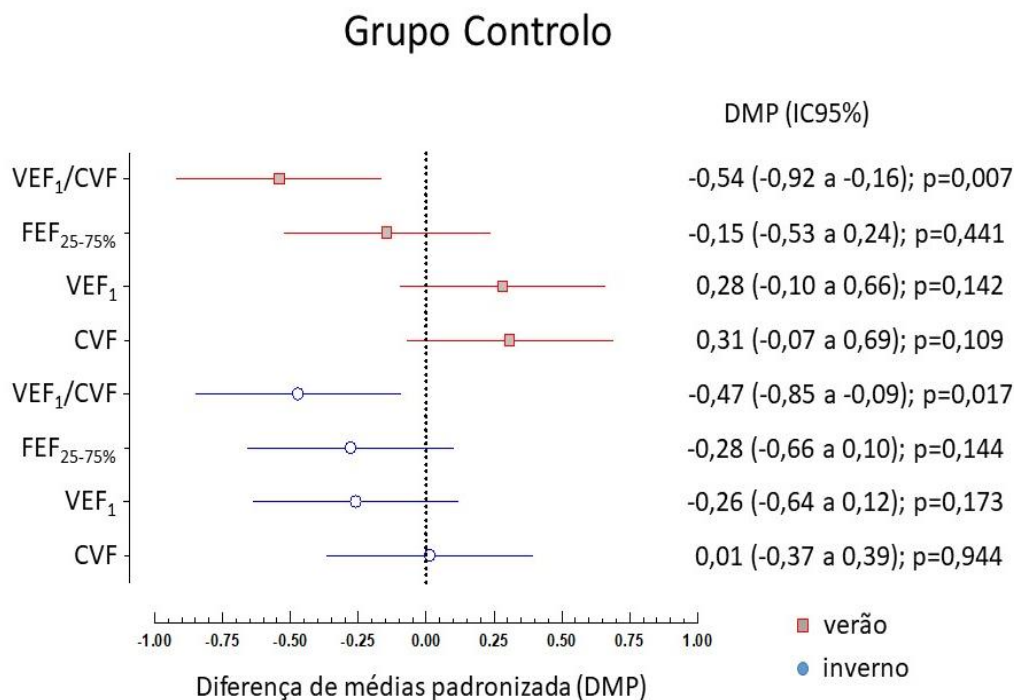


Figura 4.6. Valores de função pulmonar observados no *Grupo Controlo* comparados com os valores de função pulmonar previstos, estratificados por estação climática. VEF₁/CVF : razão entre Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo e Capacidade Vital Forçada; FEF_{25-75%}: Fluxo Expiratório Forçado 25-75%; VEF₁: Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo; CVF: Capacidade Vital Forçada.

4.2. Discussão dos resultados

O ar exterior também influencia a qualidade do ar no interior dos ônibus e, nesta pesquisa, observou-se que tal influência era acrescida, uma vez que os motoristas, tendencialmente, viajam com a janela lateral sempre aberta.

As condições meteorológicas que impulsionam a dispersão de poluentes foram obtidas do INMET. Importa salientar, no entanto, que, nas proximidades dos locais onde foram realizadas as medições, as condições podem ser afetadas pela presença de edifícios, árvores e outros fatores capazes de reduzir a velocidade do vento e aumentar a

turbulência. Com esta restrição de representatividade em mente, de forma genérica, pode-se concluir que, tanto as condições meteorológicas de inverno, quanto as de verão, foram bastante afastadas do expectável, tendo-se como referência a NC para a estação de Caxias do Sul. Na campanha de inverno, foram observadas temperaturas mais elevadas do que as esperadas em alinhamento com um inverno ameno; e, no verão, foram verificados valores igualmente mais elevados do que os previstos pela NC, o que sugere um verão quente. Em termos da velocidade de vento, variável do mesmo modo relevante para as condições de transporte e dispersão dos poluentes atmosféricos, observaram-se valores acima dos da NC, o que pode indiciar melhores condições de transporte e dispersão dos poluentes durante as campanhas do que é o habitual.

Essas circunstâncias poderão ter influenciado os resultados observados de NO₂, pois as condições meteorológicas (temperatura e velocidade do vento) registradas durante as campanhas foram bastante diferentes das da NC (1981-2010) para a estação de Caxias do Sul, o que poderá ter determinado os padrões de ventilação natural dos espaços interiores em estudo.

Em relação ao ar exterior, mais especificamente o NO₂ observado nas duas estações do ano, em Caxias do Sul, entende-se que ostentem valores relativamente baixos, tendencialmente inferiores ao valor guia da OMS para a média anual (40 µg.m⁻³ – o valor de referência usado neste estudo), embora chame a atenção o alto nível relativo de NO₂ existente na garagem dos ônibus, no período do inverno (47,9 µg.m⁻³). Esse valor, provavelmente, será fruto da ação direta das emissões dos ônibus no estacionamento, associado a condições de transporte e dispersão limitadas, típicas de situações de inverno. Por outro lado, nesse ponto de observação, para além das condições adversas de transporte e dispersão já referidas, há uma outra circunstância não desprezável associada ao aumento das emissões durante o inverno, decorrente do arranque a frio dos ônibus. De fato, no inverno, o período transiente até se atingirem as condições de funcionamento a quente é maior, o que justifica um aumento das emissões de NO₂ durante a estação, no parque de ônibus (Yang et al., 2014). No verão, o valor observado está dentro do expectável para

essa localização, ligeiramente abaixo do valor da estação de tráfego, mas acima do da estação de fundo.

Como seria de esperar, os valores observados na estação de “tráfego” (Rua Sinimbu) são significativamente superiores aos verificados na estação de “fundo” (Parque Getúlio Vargas), fruto da maior exposição direta da estação de “tráfego” às emissões rodoviárias da Rua Sinimbu. Em média, a concentração de NO₂ encontrada na estação de “fundo” é 47,0% inferior à que foi achada na estação de tráfego, sendo, no inverno - 31,8% e, no verão, essa diferença é mais expressiva, - 62,9%. Outro aspecto relevante é a estabilidade sazonal dos valores observados na Rua Sinimbu (- 3,8% do inverno para o verão), quando comparados com a discrepância dos valores sazonais observados no Parque Getúlio Vargas (- 47,7% do inverno para o verão). Na verdade, a Estação de “fundo” (Parque Getúlio Vargas), por estar mais afastada das fontes emissoras mais intensas e localizadas, como é o caso da Rua Sinimbu, é mais atreita à influência dos fatores meteorológicos que afetam as condições de transporte e dispersão de poluentes, o que justifica o padrão sazonal mais marcado entre os observados.

A presença de NO₂ em ambientes coletivos é conhecida pelo impacto ambiental e na saúde humana, sendo o transporte rodoviário considerado uma das principais fontes de NO₂ em áreas urbanas. Em 2008, os motores de veículos contribuíram com cerca de 62% das emissões antropogênicas em Sydney, e existe a preocupação de que os ocupantes dos veículos possam estar expostos a concentrações muito elevadas de NO₂ (Martin et al., 2016).

Arrumando-se os três valores que induziam muita discrepância, o valor p é um teste t realizado sobre os logs das medidas. Após as análises, calculando-se, separadamente, as similaridades para o *Grupo Alvo* e o *Grupo Controle*, foi encontrada uma correlação significativamente forte, intra e entre grupos ($p < 0,001$), quando observada a concentração de NO₂ presente nesses grupos.

Assim, de acordo com o que foi demonstrado na Tabela 4.5, em conformidade com as análises realizadas durante as 3 semanas de uso dos amostradores passivos, pode-se

afirmar que há maior concentração de NO_2 no ar inalado pelos motoristas (*Grupo Alvo*, $p < 0,001$), o qual apresenta uma diferença de 93,8% na comparação com o grupo do escritório (*Grupo Controle*), no período do inverno. De igual forma, na análise da situação dos mesmos grupos no período do verão, percebe-se, também, uma diferença média bastante expressiva ($p < 0,001$) e ainda mais acentuada, de 246%.

Quando realizado o cruzamento entre as concentrações de NO_2 examinadas e a função exercida por esses profissionais, utilizando-se um Teste Qui-quadrado, observa-se que há, proporcionalmente, mais motoristas com níveis de concentração de NO_2 maior que o valor de referência usado neste trabalho ($40 \mu\text{g.m}^{-3}$), sendo o $p < 0,001$.

Examinando-se, agora, de forma detalhada, os elementos da amostra, verifica-se que, no inverno, há um número significativamente maior de motoristas expostos a níveis de concentração de NO_2 superiores ao valor de referência ($p < 0,001$) (Figura 4.7).

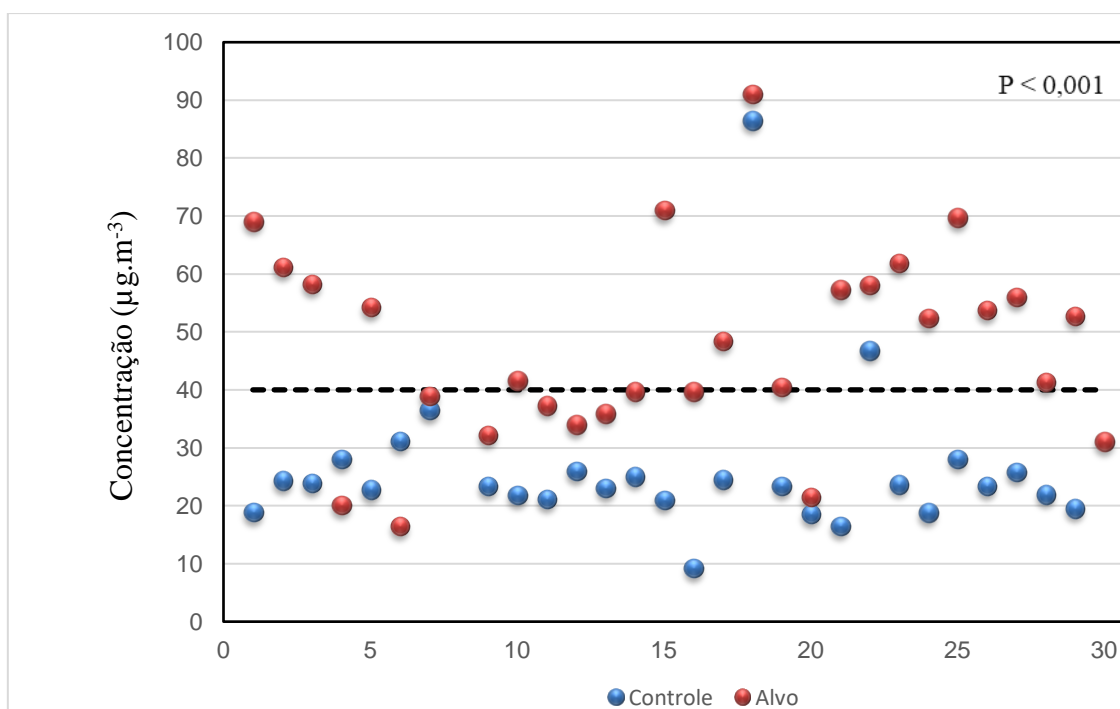


Figura 4.7. Nível de exposição ao NO_2 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) na campanha de inverno. A linha tracejada representa a referência para o NO_2 usada neste estudo ($40 \mu\text{g.m}^{-3}$).

No período do verão de 2018, ao contemplar-se o registro da exposição ao NO₂ no grupo, percebe-se que, também, há mais motoristas expostos a níveis de concentração superiores a 40 µg.m⁻³ do que não expostos ($p < 0,001$) (Figura 4.8). Na verdade, 46,7% dos trabalhadores sujeitam-se a valores superiores à referência que compara com os 60,0% de trabalhadores que, no inverno, estão na mesma circunstância.

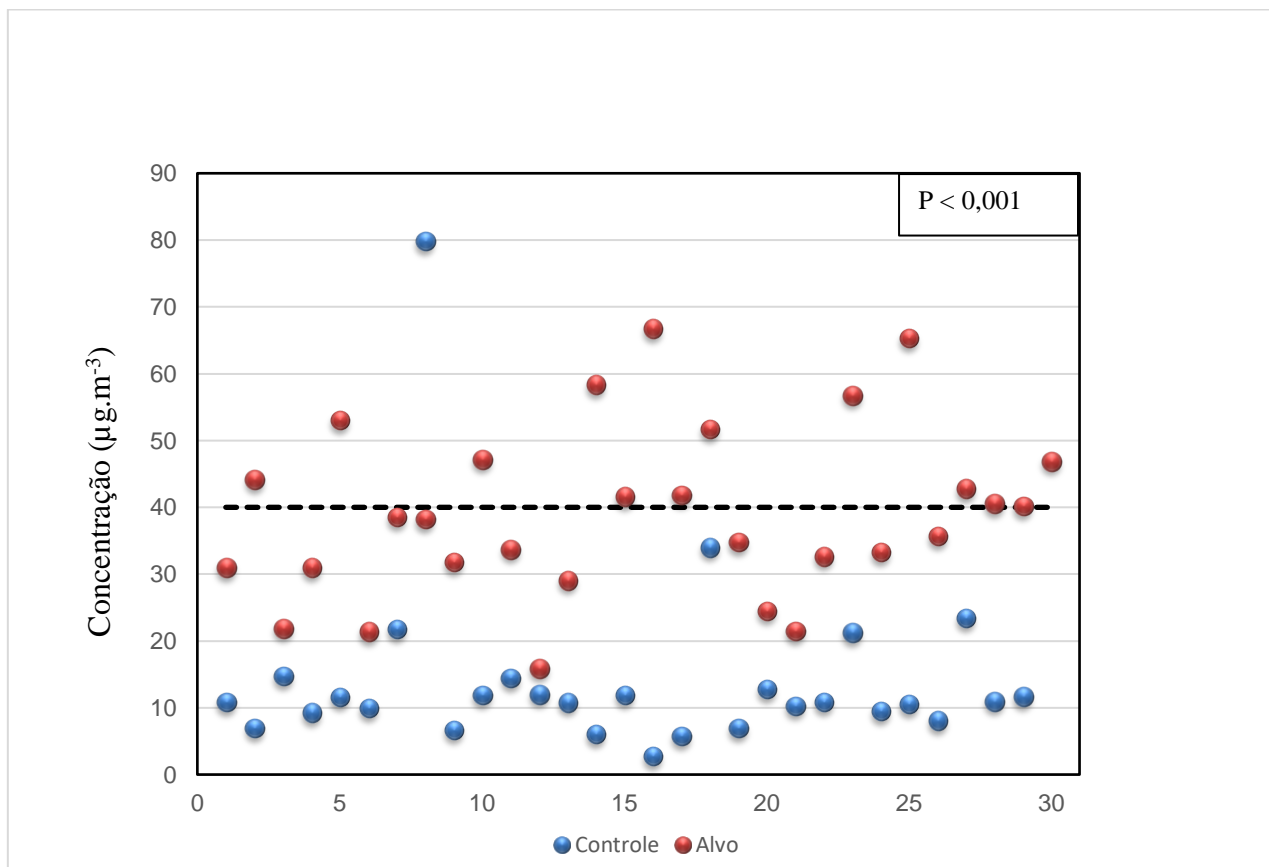


Figura 4.8. Nível de exposição ao NO₂ (µg.m⁻³) na campanha de verão. A linha tracejada representa a referência para o NO₂ usada neste estudo (40 µg.m⁻³).

Quando avaliado em relação às concentrações de NO₂ no inverno, o *Grupo Alvo* apresentou uma concentração de 47,7 (±16,6) µg.m⁻³, mediana de 48,4 µg.m⁻³, mínima de 16,5 µg.m⁻³, máxima de 91,0 µg.m⁻³. No *Grupo Controle*, por sua vez, o NO₂ encontrado foi de 23,9 (±6,47) µg.m⁻³, mediana de 23,3 µg.m⁻³, mínima de 9,2 µg.m⁻³ e máxima de 46,7 µg.m⁻³.

Isso confirma o resultado já esperado de que, também no ar interior, os valores de NO₂ são, significativamente, mais acentuados no inverno do que no verão. No inverno, para o *Grupo Alvo*, os valores médios observados ultrapassam a referência (47,7 µg.m⁻³) e, no verão, eles andam muito próximos dessa mesma referência (39,0 µg.m⁻³), havendo uma grande diferença entre os grupos ($p < 0,001$).

Em virtude dos achados neste estudo, chama a atenção que, no período do inverno, grande parte dos ônibus monitorados internamente mostraram concentração de NO₂ acima dos níveis encontrados na rua principal da cidade, no parque e na garagem dos ônibus. Dos indivíduos acompanhados durante a jornada de trabalho, 29 motoristas (87,9%) apresentaram concentração de NO₂ indoor (179%) maior que os níveis verificados na Rua Sinimbu, centro da cidade, onde existe alto tráfego de carros e ônibus ($p < 0,001$).

O mesmo acontece na comparação com os resultados verificados na garagem dos ônibus, onde 16 dos motoristas (48,5%) apresentaram concentrações de NO₂ maiores (107%) que as existentes nesse local ($p < 0,001$), conforme demonstrado na Figura 4.9.

Em relação ao Parque, a concentração de NO₂ dentro dos ônibus foi 246% superior ($p < 0,001$). Esses resultados indicam uma tendência para a ampliação dos níveis de NO₂ no interior dos ônibus, com potencial impacto na saúde dos motoristas e passageiros.

Confirma-se, por conseguinte, a conclusão de outros estudos que defendem que o ar interior dos ônibus está acima dos valores estabelecidos por órgãos fiscalizadores e normas estabelecidas sobre a qualidade do ar e prevenção de algumas doenças relacionadas à má qualidade do ar, principalmente, durante a jornada de trabalho, quando os profissionais ficam expostos por um grande período de tempo, diferentemente dos passageiros dos ônibus que permanecem no interior do veículo por menos tempo (Cançado et al., 2006, Chen et al., 2015, Dapper et al., 2016, Duan et al., 2016, EEA, 2017, Khreis et al., 2017, Martin et al., 2016, Molle et al., 2013).

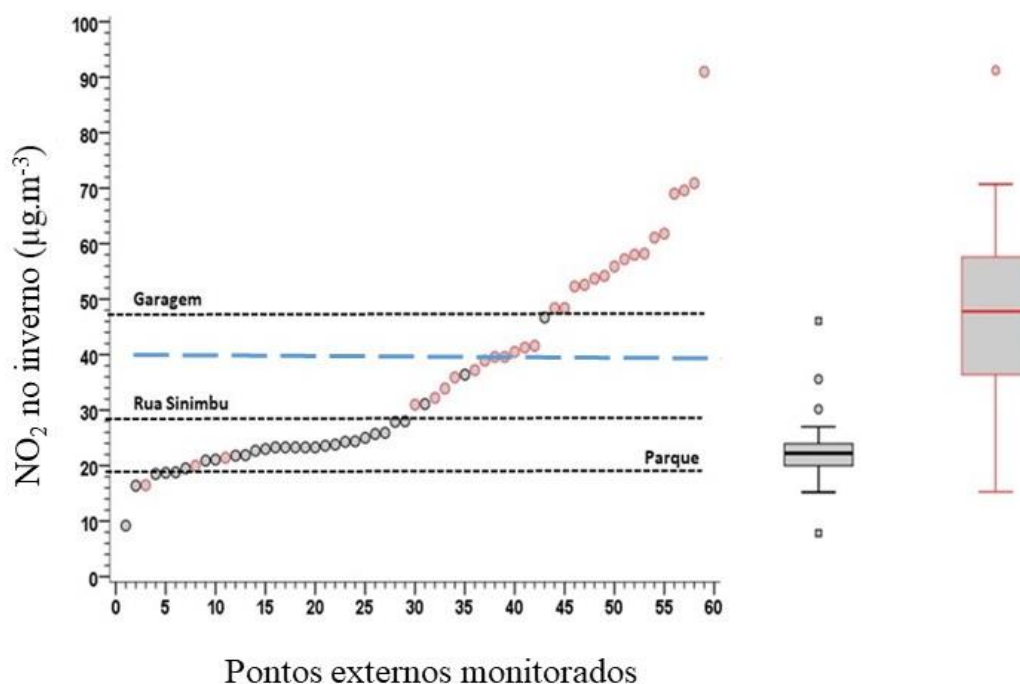


Figura 4.9. Dispersão dos valores de concentração de NO_2 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) na campanha de inverno, entre o *Grupo Alvo* (em vermelho) e o *Grupo Controle* (em preto), em relação aos locais externos analisados.

Por seu lado, no *Grupo Controle*, apenas dois elementos no inverno (6,9% da amostra) e um elemento no verão (3,4% da amostra) estão expostos a valores superiores ao da referência. Esses resultados, quando comparados com o que é observado nos amostradores do *Grupo Alvo*, evidenciam a enorme diferença entre um e outro grupo, em termos de exposição ao NO_2 .

Assim, foram observados estes valores de concentração de NO_2 no verão, no *Grupo Alvo*: uma média de $39,0 (\pm 12,8) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a mediana de $38,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, mínima de $15,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ e um máximo de $66,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, acima das concentrações nos três pontos externos monitorados, conforme demonstrado na Figura 4.10.

Já no *Grupo controle*, foi registada uma média de $11,9 (\pm 6,3) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, com mediana de $10,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, mínima de $2,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ e máxima de $33,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nota-se uma diferença significativa no desvio padrão verificado no *Grupo Alvo* face ao *Grupo Controle*, o que

poderá ser justificado por se tratar de um microambiente mais heterogêneo no caso dos ônibus, quando comparados com o ambiente interior do edifício administrativo.

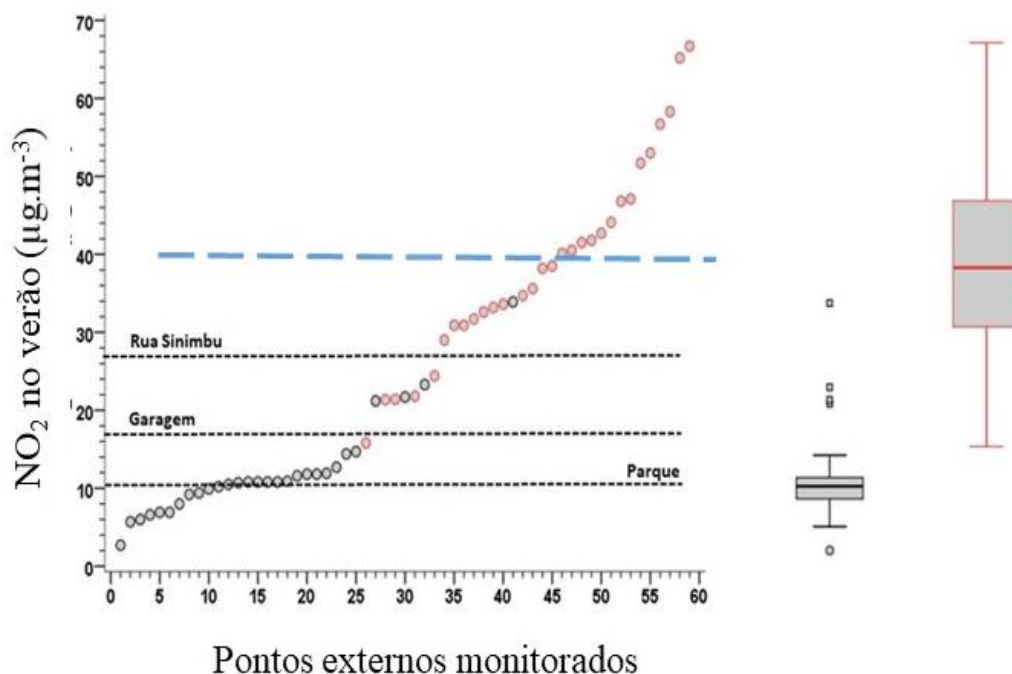


Figura 4.10. Dispersão dos valores de concentração de NO_2 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) na campanha de verão entre o *Grupo Alvo* (em vermelho) e o *Grupo Controle* (em preto), em relação aos locais externos analisados.

A importância da qualidade do ar exterior na exposição dos motoristas é evidenciada pelo padrão de ventilação do veículo. De fato, em particular durante o verão, os motoristas viajam com a janela lateral sempre aberta. Isso explica o paralelismo do padrão observado no exterior e no interior, isto é, valores mais altos de inverno no exterior correspondem, igualmente, a valores mais elevados no interior dos ônibus. O mesmo se passa no verão.

Como já foi estudado, os níveis de poluentes atmosféricos no interior dos veículos são, frequentemente, mais altos que os dos mesmos poluentes analisados na rua (Son et al., 2004), os quais dependem da complexidade das fontes de poluição, do modo como

ocorrem e, inclusive, da qualidade do ar externo, do estado dos veículos utilizados e do comportamento ao dirigir esses veículos (Cançado et al., 2006, Molle et al., 2013).

Durante as últimas décadas, foram implementadas, na União Europeia, várias medidas para regulamentar as emissões de poluentes atmosféricos, as quais resultaram em melhorias da qualidade do ar. Contudo, assim como no Brasil, uma grande parte da população da UE está sujeita às concentrações de contaminantes acima do nível de referência estabelecido (Guerreiro et al., 2015).

Os valores-limite de concentrações para a proteção da saúde humana foram estabelecidos pela União Europeia dentro das especificações dos limites máximos nacionais de emissões (UE, 2001), da Diretiva de Qualidade do Ar (UE, 2008) e, mais recentemente, foram revisados dentro do Pacote de Políticas para o Ar Limpo (CE, 2013). Os padrões europeus de qualidade do ar foram determinados para exposição a prazos curtos (de hora em hora) e longos (anuais), sendo idênticos às diretrizes para o NO₂, estabelecidas pela Organização Mundial de Saúde (OMS), para uma melhor qualidade do ar (WHO, 2006).

A avaliação dos valores medidos em diferentes prazos provou que a concentração média anual limite máxima foi fixada em 40 µg.m⁻³ e é mais restritiva que a do horário limite médio de concentração. Além do risco que o NO₂ representa para o ser humano, emissões e a subsequente deposição de NO₂ contribuem para a eutrofização e a acidificação dos ecossistemas e, por conseguinte, a diretiva relativa à qualidade do ar também coloca limites de concentração (limite de concentração média anual de 30 µg.m⁻³) para garantir a proteção da vegetação e dos ecossistemas (Vizcaino e Lavallo, 2018).

Existem estudos sobre os principais efeitos do NO₂ na saúde, a curto prazo, os quais associam maior responsividade das vias aéreas, aumento dos marcadores de inflamação e diminuição da função pulmonar. Daí surgiu a motivação para a realização desta pesquisa – avaliar a função pulmonar dos motoristas –, considerando que, em muitos trabalhos, há relatos de riscos a que essa população está exposta.

No tocante à função pulmonar, sua interpretação é, habitualmente, baseada em comparações dos dados obtidos individualmente, com valores de referência previstos (Pereira et al., 2014). Os volumes e capacidades pulmonares variam de acordo com alguns fatores: gênero, idade, altura, peso, raça. Para cada medida de capacidade pulmonar, existe um valor normal previsto e um limite inferior. Os valores abaixo desse limite revelam a presença de anormalidade. Na avaliação do exame de espirometria, a manobra de CVF é a principal indicadora de doença restritiva. Quando ocorre sua redução e os níveis de Tiffeneau e $FEF_{25-75\%}$ são normais, tem-se doença restritiva. O VEF_1 , normalmente, apresenta-se reduzido nas doenças restritivas, por ser uma variável retirada da CVF, sendo considerado padrão-ouro para a classificação de doenças obstrutivas de vias aéreas, quando acompanhado de redução nos níveis de Tiffeneau (Pereira et al., 2014).

Ao se analisar o Índice de Tiffeneau (VEF_1/CVF) dos indivíduos que constituem o alvo deste estudo, percebeu-se que o grupo do escritório apresentou níveis mais baixos que os encontrados nos motoristas, tanto no inverno quanto no verão, porém de forma pouco significativa (Figura 4.11). Esse índice expressa a fração representada pelo VEF_1 com relação à CVF, e seu valor deveria representar 68 a 85% da CVF, considerando-se 80% para o valor de normalidade e, abaixo disso, classificando-se como uma patologia obstrutiva; porém, neste estudo, foram observadas características mais restritivas em alguns participantes. O $FEF_{25-75\%}$ refere-se às vias aéreas de médio e pequeno calibre. Esta variável é mensurada em determinado intervalo de volume expiratório, sendo um importante preditor para patologias obstrutivas.

Sobretudo, quando é avaliada a exposição dos trabalhadores aos níveis de NO_2 , a análise de variância utilizando o Teste t indica que não há diferença significativa entre os tempos médios de exposição do *Grupo Alvo* e do *Grupo Controle* ($p = 0,709$), mas alguns motoristas, dependendo da época, acabam tendo uma rotina de mais horas de trabalho. Talvez esses motoristas que laboram além dos limites estabelecidos estejam colocando sua saúde em risco, por estarem expostos durante mais tempo. Mas, para se poder afirmar

isso, é preciso acompanhá-los por um período maior de tempo. Correlacionam-se as concentrações de NO₂, no inverno, e os índices de VEF₁/CVF, o que é demonstrado na Figura 4.11.

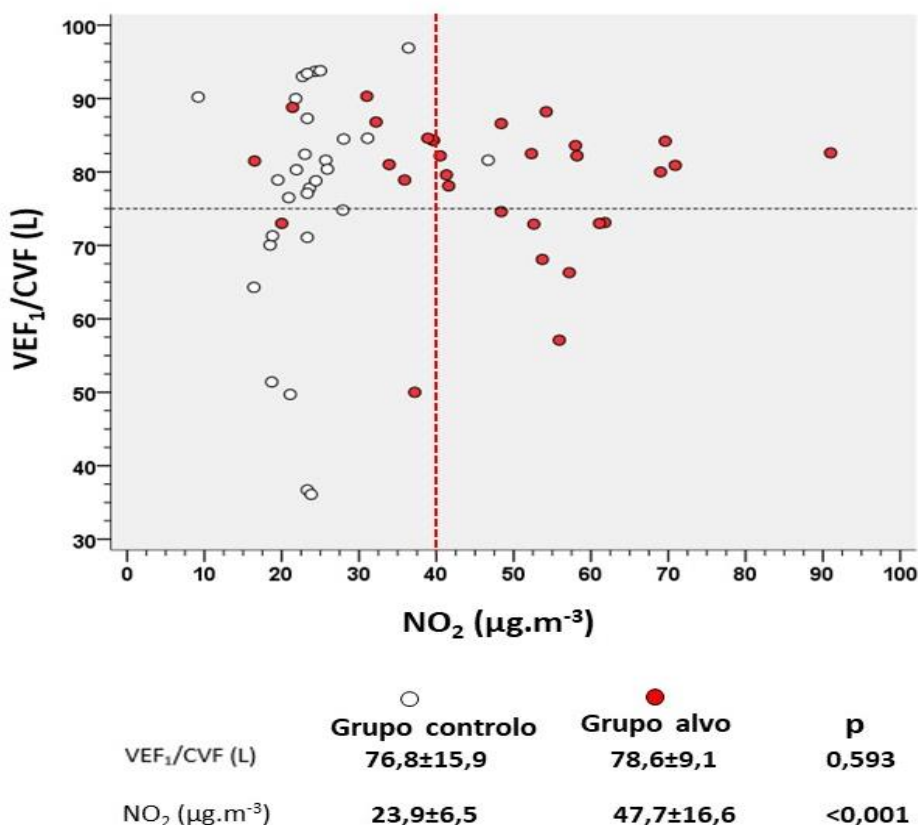


Figura 4.11. Gráfico de dispersão de pontos entre a razão VEF₁/CVF e níveis de NO₂ (µg.m⁻³) na campanha de inverno. VEF₁/CVF : razão entre Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo e Capacidade Vital Forçada. A linha tracejada no limite de 75 litros significa valor de normalidade para esse índice.

Na Figura 4.11, o NO₂ encontrado foi de 47,7 (±16,6) µg.m⁻³, estando acima dos padrões recomendados pelo OMS, que é de 40 µg.m⁻³ (Tabela 4.5). O *Grupo Controle* apresentou uma concentração de 23,9 (±6,5) µg.m⁻³, com o p < 0,001. Porém, o que chama a atenção é que, mesmo com esses níveis de concentrações de NO₂, o Índice de Tiffeneau verificado

nos dois grupos não apresentou significância estatística. Considerando-se que o valor-limite anual aceitável para a saúde humana é de $40 \mu\text{g.m}^{-3}$, segundo a OMS (referência para este estudo), classificam-se os valores de NO_2 em dois grupos: até $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ (61,8%), e acima de $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ (38,2%).

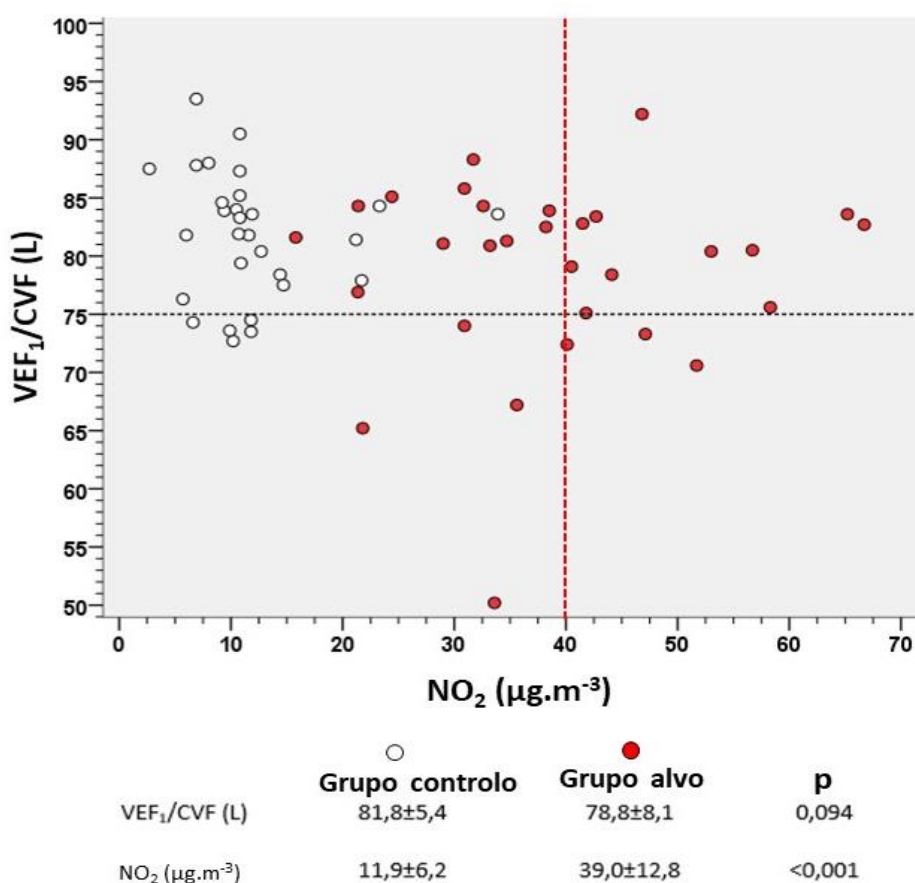


Figura 4.12. Gráfico de dispersão de pontos entre a razão VEF₁/CVF e níveis de NO₂ ($\mu\text{g.m}^{-3}$) na campanha de verão.

VEF₁/CVF: razão entre Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo e Capacidade Vital Forçada; NO₂: dióxido de nitrogênio. A linha tracejada no limite de 75 litros significa valor de normalidade para esse índice.

De igual forma, nos valores de NO₂ encontrados no mesmo período do verão, há uma grande diferença entre os grupos ($p < 0,001$), sendo verificados, no *Grupo Alvo*, valores de concentração de NO₂, de 39,0 ($\pm 12,8$) $\mu\text{g.m}^{-3}$, mediana de 38,4 $\mu\text{g.m}^{-3}$, mínima de 15,8 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e máxima de 66,7 $\mu\text{g.m}^{-3}$. No *Grupo Controlo*, a pesquisa mostra média de 11,9 ($\pm 6,2$) $\mu\text{g.m}^{-3}$, com mediana de 10,8 $\mu\text{g.m}^{-3}$, mínima de 2,7 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e máxima de 33,9 $\mu\text{g.m}^{-3}$, conforme está demonstrado na Figura 4.12.

Com o objetivo de perceber o nível e as lógicas de associação entre as variáveis de avaliação de capacidade pulmonar e os níveis de concentração de NO₂, procedeu-se a uma análise de correlação simples, por meio do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson (r). Nas Tabelas 4.7 e 4.8, apresentam-se os valores de coeficientes de correlação e o seu nível de significância, que é uma medida de probabilidade de erro ao extrapolar o resultado da amostra para a população da qual ela foi retirada. É possível identificar associações estatisticamente significativas entre as variáveis VEF₁/CVF e FEF_{25/75%}.

Tabela 4.7. Matriz de correlação entre NO₂ ($\mu\text{g.m}^{-3}$), valores de espirometria, tempo de exercício profissional e tempo de exposição ao NO₂ ($\mu\text{g.m}^{-3}$) durante o inverno

Atividade	Tempo profissão (anos)	NO ₂ inverno ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Tempo exposição (min)	CVF inv.	
<i>Grupo Controlo</i>	VEF ₁ /CVF inverno	-0,041	0,154	-0,140	-0,100
	Tempo profissão (anos)	1	-0,351	-0,029	
	NO ₂ inverno	-0,351	1	0,097	0,197
	Tempo exposição (min)	-0,029	0,097	1	
	FEF _{25/75%} inv.	-0,259	0,160	0,049	0,343
<i>Grupo Alvo</i>	VEF ₁ /CVF inverno	-0,296	-0,129	-0,057	0,081

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: O caso dos condutores de transporte público.

Tempo profissão (anos)	1	0,318	0,085	
NO ₂ inverno	0,318	1	0,001	-0,225
Tempo exposição (min)	0,085	0,001	1	
FEF _{25/75%} inv.	-0,382	-0,222	0,154-0,100	0,418

** Correlação significativa < 0,01;

* Correlação significativa < 0,05;

NO₂: Dióxido de Nitrogênio; VEF₁/CVF : razão entre Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo e Capacidade Vital Forçada; FEF_{25/75%}: Fluxo Expiratório Forçado 25-75%; CVF: Capacidade Vital Forçada.

Pela análise das correlações para a amostra observada, retiram-se conclusões similares às do total da amostra, pois a maioria das associações não evidencia conexões significativas entre os níveis de concentração de NO₂ encontrados e os níveis de função pulmonar da população estudada.

Atualmente, a compreensão dos impactos da poluição do ar causados pelo tráfego é muito limitada, mas existe um grande número de pesquisas que buscam respostas para essa preocupação mundial. Em trabalho de Zhang e Batterman (2013), é relatado que o crescimento do tráfego e os congestionamentos de trânsito levam ao aumento de emissões dos veículos, o que degrada a qualidade do ar ambiente e, inclusive, provoca o excesso de morbidade e mortalidade para condutores, passageiros e indivíduos que morem perto de rodovias. O estudo sugere que os riscos à saúde causados pelo crescimento do tráfego de veículos são, potencialmente, significativos, alertando que isso pode variar, ampliando sobremaneira os perigos à população.

Tabela 4.8. Matriz de correlação entre NO₂ (µg.m⁻³) e valores de espirometria no verão

Atividade		NO ₂ verão	VEF ₁ /CVF verão	FEF _{25/75%} verão
<i>Grupo Controlo</i>	VEF ₁ /CVF verão	-0,177	1	0,685**
	FEF _{25/75%} verão	-0,316	0,685**	1
	CVF verão	-0,206	-0,248	0,460*
<i>Grupo Alvo</i>	VEF ₁ /CVF verão	0,053	1	0,739**
	FEF _{25/75%} verão	0,067	0,739**	1
	CVF verão	-0,029	-0,288	0,253

** Correlação significativa < 0,01;

* Correlação significativa < 0.05;

NO₂: Dióxido de Nitrogênio (µg.m⁻³); VEF₁/CVF : razão entre Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo e Capacidade Vital Forçada; FEF_{25/75%} : Fluxo Expiratório Forçado Médio; CVF: Capacidade Vital Forçada.

Pode ser que a magnitude do efeito ou o tempo de exposição desses trabalhadores pesquisados não tenham sido suficientes para causar um dano na capacidade pulmonar que pudesse ser verificado por meio do método utilizado. Talvez esses indivíduos, futuramente, venham a apresentar problemas respiratórios, mas, hoje, não se conseguiu identificar, de forma significativa, alterações, por meio do exame de espirometria. É possível que os níveis de exposição ao NO₂ tivessem que ser maiores, ou observados por mais tempo, para que se pudessem detectar com mais precisão os riscos a que essa população está exposta.

Estudos recentes têm mostrado que a exposição crônica aos níveis de poluentes atmosféricos em ambientes fechados, como é o caso do NO₂, pode ter impactos ainda mais elevados sobre a capacidade pulmonar, as doenças respiratórias e a mortalidade do que a exposição aguda (Cançado et al., 2006, Chen et al., 2015, Dapper et al., 2016, Duan et al., 2016, EEA, 2017, Khreis et al., 2017, Martin et al., 2016), porém, nesta pesquisa,

tal relação não foi identificada, atribuindo-se isso ao pequeno nível de amostragem que pode ter afetado as respostas.

Sabe-se que o ambiente ocupacional tem influência sobre a função pulmonar dos indivíduos, e existem relatos de tempo de latência, em média, de 10 a 15 anos de exposição a resíduos tóxicos para haver manifestação de problemas respiratórios. Esse tempo de demora é consequência do fato de as alterações iniciarem pelas vias aéreas distais, devido ao tamanho das partículas dos poluentes, de modo que a tendência é que as alterações na função pulmonar se apresentem à medida que a doença evolua, e a forma mais comum é a doença pulmonar obstrutiva (Souza et al., 2014).

Em uma importante publicação da revista *Lancet*, em 2014, foi, também, destacado que as gerações de tráfego e energia são as principais fontes de poluição do ar urbano. A ideia de que a poluição do ar exterior pode atingir a capacidade pulmonar e causar exacerbações de asma preexistente é suportada por uma base de evidências que estão sendo acumuladas por várias décadas, com vários outros estudos, sugerindo uma contribuição para a pesquisa em saúde. O artigo discute os efeitos da poluição do ar relacionados com tráfego misto, gases poluentes (ozônio, NO₂ e dióxido de enxofre) e material particulado. Foca em estudos clínicos, epidemiológicos e experimentais publicados nos últimos 5 anos e, de uma perspectiva mecanicista, declara que poluentes atmosféricos, provavelmente, causem lesão oxidativa das vias respiratórias, levando a inflamação, remodelação e aumento do risco de sensibilização.

Embora vários poluentes tenham sido associados à asma, a força da evidência é variável (Guarnieri e Balmes, 2014). Num trabalho elaborado no Canadá, a qualidade do ar foi classificada em seis categorias: boa, quando as concentrações de todos os poluentes estão abaixo de 50%; regular, quando a concentração de, pelo menos, um dos poluentes atinge o seu padrão de qualidade; inadequada, quando a concentração de, pelo menos, um dos poluentes está entre o seu padrão de qualidade e os níveis de atenção; má, quando a concentração de, pelo menos, um dos poluentes está entre os seus níveis de atenção e de alerta; péssima, quando a concentração de, pelo menos, um dos poluentes está entre os

seus níveis de alerta e de emergência; crítica, quando a concentração de, pelo menos, um dos poluentes está acima do nível de emergência (Crouse et al., 2015).

Na comparação com os resultados aqui alcançados, verifica-se uma condição inadequada do ar no interior dos ônibus, porque os valores encontrados em vários veículos estão acima dos valores considerados aceitáveis, evidenciando a importância de um controle maior dos poluentes, visto serem prejudiciais à saúde respiratória das pessoas expostas.

Em outra pesquisa em que foram monitoradas algumas ruas, os pontos de amostragem localizados nas ruas principais de grande tráfego acusaram uma concentração anual média de NO_2 igual a $63 \mu\text{g.m}^{-3}$, enquanto, nas ruas adjacentes, média $58 \mu\text{g.m}^{-3}$. Já nas ruas principais e residenciais do subúrbio, as medidas atingiram $38 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $30 \mu\text{g.m}^{-3}$. Este monitoramento foi realizado com amostradores passivos em várias estações, e os pontos de coleta foram divididos em três grupos: nos pontos próximos às ruas principais, obtiveram-se $41 \mu\text{g.m}^{-3}$; nos locais intermediários, $36 \mu\text{g.m}^{-3}$; e, nos locais afastados, $30 \mu\text{g.m}^{-3}$. A média mensal atingida na consideração de todos os pontos foi de $36 \mu\text{g.m}^{-3}$ (Kuriyama et al., 1997).

Em estudo similar conduzido nos mesmos locais, os níveis de NO_2 eram 34% maiores em toda a região monitorada. As concentrações urbanas médias ficaram na faixa de $19 \mu\text{g.m}^{-3}$, nos pontos distantes da rua principal e, em cerca de $94 \mu\text{g.m}^{-3}$, nos locais próximos das ruas principais. Utilizaram amostradores passivos, e as médias semanais de NO_2 variaram de $76 \mu\text{g.m}^{-3}$ ao norte a $13 \mu\text{g.m}^{-3}$ ao sul (Campbell et al., 1994).

Também Barros et al. (2013) registraram valores médios de $77,2 \mu\text{g.m}^{-3}$ no inverno e $65,3 \mu\text{g.m}^{-3}$ durante o verão, junto a uma grande linha de tráfego na cidade do Porto, em Portugal. Esses resultados estão alinhados com os encontrados no presente estudo, na estação da Rua Sinimbu, com valores de NO_2 , quer de inverno quer de verão, muito acima dos observados no Parque Getúlio Vargas, local afastado das fontes emissoras rodoviárias.

A exposição controlada ao NO₂ parece ter um efeito inflamatório leve das vias aéreas em níveis elevados de exposição, o que é improvável de ser encontrado em ambientes não experimentais, mas induz inflamação pulmonar. Em contraste com os dados experimentais inconsistentes sobre o NO₂, o corpo de dados observacionais que apoiam seu papel na exacerbação da incidência de asma e na diminuição da capacidade pulmonar continua a crescer em amplitude e consistência. Em conformidade com várias pesquisas que buscam os efeitos agravantes do NO₂ na saúde humana, sugere-se que, embora a concentração durante a exposição seja considerada baixa para provocar algum tipo de sintoma clínico importante (Kuriyama et al., 1997), a longo prazo, pode levar a alterações bioquímicas e pulmonares que ocasionem doenças pulmonares crônicas (EPA, 2018).

Algumas publicações indicam que o tipo de combustível influencia muito na quantidade de poluentes emitidos. Em altas concentrações, dependendo do tempo de exposição, eles podem prejudicar a saúde e oferecer riscos à população, sendo um exemplo, o diesel que libera até cinco vezes mais NO₂ que os demais agentes poluidores (Malheiros, 2014). No presente estudo, verificou-se que a concentração desse poluente foi maior no grupo dos motoristas, justamente, por eles estarem mais próximos de suas fontes emissoras, o que confirma os diversos relatos de outras pesquisas.

Behrentz et al. (2005) mostraram que as concentrações de poluentes dentro dos ônibus são maiores em comparação com o ar exterior. Também Rim et al. (2008) estudaram a qualidade do ar nos ônibus escolares, no centro do Texas, descobrindo que as concentrações de NO_x, na cabine, eram 1,3 a 10 vezes maiores do que as concentrações de NO_x na estrada. No caso do presente estudo, embora os valores encontrados no interior dos ônibus sejam significativamente superiores aos encontrados no exterior, a diferença observada não foi tão expressiva. Este fato poderá estar associado ao padrão de condução com janela aberta, observado pela generalidade dos motoristas que participaram do presente estudo.

Asmi et al. (2009), por seu turno, investigaram a exposição dos motoristas e dos passageiros a partículas dentro de ônibus e bondes em Helsinki, na Finlândia, concluindo

que a distribuição do número de partículas e as concentrações de poluentes nas cabines dos condutores dos ônibus foram ligeiramente aumentadas em comparação com a presença do ar no fundo dos ônibus.

Ainda, em relação à concentração de NO₂ no interior dos ônibus, um importante estudo sobre a exposição de passageiros à poluição atmosférica do trânsito foi realizado em Paris, nos principais modos de transporte da cidade, durante os horários de pico. Os resultados revelaram que as concentrações de NO₂ eram mais baixas nos trens, em comparação com as medidas dentro dos ônibus. Além disso, outra pesquisa também relata que os passageiros que viajam dentro dos ônibus articulados estão muito mais expostos ao NO₂ do que aqueles que utilizam os ônibus rígidos (Molle et al., 2013). Isso serve para ilustrar o quão complexos podem ser os efeitos da qualidade do ar no local de trabalho e para mostrar que os estudos precisam evoluir, a fim de que se sejam consideradas que levem a promover alterações nesses locais de trabalho, contribuindo para o bem-estar dos indivíduos que ali precisam desenvolver suas atividades laborais (RCP, 2016).

Embora não se tenha dúvidas de que os poluentes comumente encontrados no ar interior possam causar muitos efeitos nocivos (EPA, 2017), há uma incerteza considerável sobre o que influiria nas concentrações ou nos períodos de exposição para produzir problemas de saúde específicos. Também é sabido que as pessoas reagem de forma muito diferente à exposição a poluentes atmosféricos internos. Pesquisas adicionais, portanto, são necessárias para melhor se entenderem os efeitos sobre a saúde, após a exposição às médias das concentrações de poluentes encontradas dentro dos ônibus.

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: O caso dos condutores de transporte público.

Capítulo V

5. CONCLUSÃO

Os estudos realizados propiciaram muitas reflexões. Serviram, entre os tantos detalhes apontados no desenvolvimento da pesquisa, para se obter um panorama a respeito de como está sendo vista a situação de trabalhadores que se expõem a níveis elevados de agentes poluidores em suas atividades laborais.

Trata-se de uma área ainda pouco explorada e, por isso, muito há a ser feito. Esta constatação permite que se demonstre uma preocupação em sugerir ações futuras que, de algum modo, possam contribuir para o preenchimento das lacunas hoje observáveis.

Assim, nesta parte conclusiva, optou-se por arrolar uma série de ideias que emergiram das testagens a que foram submetidos os grupos de profissionais participantes do estudo, almejando, sempre, uma continuidade que seja eficaz no beneficiamento da saúde em geral. E, como não poderiam ser olvidadas, mencionam-se as dificuldades encontradas no percurso, pois, para que sejam minimizadas conforme se deseja, precisam ser conhecidas. Finalizando, apontam-se linhas futuras de investigação que conduzam às melhorias desejáveis à saúde e ao bem-estar de trabalhadores.

5.1. Conclusões principais

Este trabalho visou a avaliar o impacto na saúde resultante da exposição dos motoristas de ônibus a NO₂ durante a sua jornada laboral, numa cidade brasileira de média dimensão – Caxias do Sul. Para a obtenção deste efeito, foi usado como indicador o resultado da avaliação das alterações da função respiratória por espirometria.

Participaram do estudo 59 indivíduos que foram separados em 2 grupos: 30 motoristas (50,8% - *Grupo Alvo*) e 29 funcionários do setor administrativo (49,2% - *Grupo Controlo*), que não apresentavam doenças respiratórias e não se declararam fumantes. Em relação ao gênero dos participantes, foram identificados 21 (35,6%) do sexo feminino e 38 (64,4%) do sexo masculino. Observou-se que, no *Grupo Alvo*, a maioria é do gênero masculino (93,3%), enquanto o *Grupo Controlo* é formado por maioria do gênero feminino (65,5%), o que permite concluir que essa possa ser uma particularidade da função exercida por esses profissionais. A média de idades no grupo do setor administrativo é de 33,3 ($\pm 9,6$) anos e, no dos motoristas, é de 45,5 ($\pm 8,3$).

O trabalho foi desenvolvido recorrendo-se a amostradores passivos para a determinação de NO₂, nos diferentes ambientes monitorizados. Essa técnica mostrou-se válida porque o modelo de amostrador utilizado neste estudo admite a amostragem por três semanas, demonstrando, assim, uma boa abrangência amostral. Ela é, igualmente, eficaz na obtenção de dados confiáveis para o objetivo inicial da pesquisa, principalmente, levando-se em conta o fato de que, no Estado do Rio Grande do Sul, há um déficit considerável no controle e monitoramento da qualidade do ar. Por outro lado, a técnica permite, ainda, avaliar a exposição efetiva apenas durante o período de interesse, pois possibilita a interrupção da observação quando necessário. No caso do presente estudo, a avaliação da exposição pessoal foi feita apenas durante o período laboral e interrompida fora dele.

Durante as campanhas sazonais, foram observadas as condições meteorológicas, a qualidade do ar exterior, a exposição ao NO₂ dos grupos em avaliação, bem como a

função respiratória desses indivíduos por espirometria. Os dados meteorológicos foram obtidos com a estação meteorológica do INMET da cidade de Caxias do Sul. No entanto importa salientar que, nas proximidades dos locais onde foram realizadas as medições, as condições podem ter sido afetadas pela presença de edifícios, árvores e outros fatores capazes de reduzir a velocidade do vento e aumentar a turbulência.

Para se ter uma estimativa dos níveis de NO₂ que podem ser observados nos locais por onde circulam os ônibus na cidade, foram monitorados três pontos com envolventes diferenciados. Um dos pontos escolhidos, a Rua Sinimbu, recebe impulso direto das emissões de tráfego; outro, longe desse tipo de influência, é o Parque Getúlio Vargas; e o terceiro é a garagem de recolha dos ônibus, que envolve o edifício administrativo.

Como controlo da avaliação efetuada em relação aos motoristas (*Grupo Alvo*), um grupo de pessoal administrativo (*Grupo Controlo*) foi, igualmente, avaliado quanto à exposição ao NO₂. Para ambos os grupos, a avaliação foi feita por amostragem passiva, em duas campanhas de três semanas, uma de inverno e outra de verão. Os amostradores foram expostos apenas durante a jornada de trabalho, sendo fechados nas horas pós-laborais.

O trabalho permitiu que se extraíssem diversas conclusões relevantes, nomeadamente:

- Em termos meteorológicos, houve uma tendência para estações, quer de verão quer de inverno, mais quentes e ventosas que a Normal Climatológica da região, o que terá propiciado melhores condições de transporte e dispersão dos poluentes, bem como de maior propensão às transformações fotoquímicas de NO₂ durante o verão;
- No exterior, os valores de NO₂ observados na estação de “tráfego” são, em média, significativamente superiores (47,1%) aos tomados na estação de “fundo”, mas inferiores (-16,1%) aos da estação colocada na garagem de recolha dos ônibus;
- Também no exterior, em média, os valores de NO₂ registados no período de inverno são 42,5% mais elevados do que os observados no verão;

- Os valores de NO₂ verificados no interior dos ônibus são, significativamente, superiores aos observados, em média, no exterior, cerca de 33,4% no inverno e 54,4% no verão;
- Os valores de NO₂ observados no interior do edifício administrativo são, significativamente, inferiores aos observados no exterior, cerca de -22,5% no inverno e cerca de -28,4% no verão;
- Os motoristas (*Grupo Alvo*) estão expostos a valores de NO₂ significativamente superiores aos do pessoal administrativo (*Grupo Controle*), cerca de 45,6% no inverno e 64,5% no verão;
- Os valores de exposição ao NO₂ de inverno são, significativamente, superiores aos de verão em ambos os grupos (*Alvo*, com mais 16% e *Controle*, com mais 45,2%);
- O número de motoristas (*Grupo Alvo*) expostos a valores de NO₂ superiores ao nível de referência é, significativamente, superior ao dos não expostos, sendo mais expressivo no inverno (60,0%) do que no verão (46,7%);
- O pessoal administrativo (*Grupo Controle*), apenas marginalmente está exposto a valores de NO₂ superiores ao valor de referência (6,9% dos indivíduos no inverno e 3,4% no verão);
- Ocorreram alterações nas espirometrias, tanto no VEF₁ como no FEF_{25-75%} -, porém não se identificaram alterações estatisticamente relevantes. Para se poder determinar com mais precisão os riscos à saúde respiratória, os níveis de exposição ao NO₂ teriam que ser maiores, ou a exposição deveria ocorrer por um tempo mais prolongado;
- No *Grupo Alvo*, a Capacidade Vital Forçada apresentou uma queda, quando comparada ao *Grupo Controle*, porém esta diferença é de magnitude pequena;
- No Índice de Tiffeneau (VEF₁/CVF), o *Grupo Controle* apresentou níveis mais baixos que os do *Grupo Alvo* nas diferentes estações, mas de forma pouco significativa;

- Não foram observados sintomas clínicos relevantes de alterações pulmonares resultantes dos níveis de concentração de NO₂ encontrados.

Relativamente ao método de amostragem por difusão passiva, esse revelou ser bastante vantajoso, cumprindo o objetivo de monitoramento do ar por três semanas e, também, pela facilidade de sua utilização. Mesmo não possibilitando a verificação dos exatos momentos de concentrações máximas e mínimas de NO₂ em “tempo real”, a pesquisa mostrou a importância da técnica e da sua aplicabilidade para a obtenção de médias de concentrações, podendo, inclusive, ser usada em cidades que não contam com qualquer tipo de monitoramento para revelar a concentração de poluentes.

De acordo com os resultados encontrados, as concentrações de NO₂ dentro dos ônibus municipais estão bastante distantes de estarem em conformidade com a referência da OMS (40 µg.m⁻³), expondo os motoristas a níveis de NO₂ que os colocam em situação de potencial impacto a sua saúde.

Por outro lado, a prática observada de a totalidade dos motoristas conduzirem os ônibus, tendencialmente, com a sua janela aberta, quer no verão quer no inverno, pode ter contribuído para que os valores registrados tenham sido mais baixos do que aqueles que, eventualmente, se observam dentro dos ônibus, junto aos passageiros. Assim, se, por um lado, esta prática (conduzir de janela aberta) ajuda a mitigar a exposição ao poluente por parte dos motoristas, por outro lado, levanta a possibilidade de, dentro dos ônibus, os passageiros estarem sujeitos a valores bastante superiores.

Estes resultados, sugerem, ainda, assumindo-se que o NO₂ é um bom indicador para a presença de outros poluentes de origem antropogênica, que tanto os motoristas como os passageiros poderão estar expostos a valores não seguros de concentração de poluentes no ar interior dos ônibus, devendo, por esta razão, haver prosseguimento deste tipo de estudos de modo a serem aprofundados.

5.2. Limitações do estudo

Este estudo apresenta limitações associadas ao número amostral reduzido, devido ao relativo alto custo da técnica utilizada e à falta de laboratórios no Brasil que façam este tipo de análise, tornando-se muito difícil a apresentação de resultados mais expressivos estatisticamente. Mais pesquisas são necessárias para caracterizar exposições e riscos atribuíveis à poluição atmosférica, especificamente, no que diz respeito ao NO₂. Os níveis de riscos dependem de muitos fatores, incluindo-se o tráfego, o volume, os diferentes veículos, as estradas e ruas e a meteorologia.

Enquanto os riscos para a saúde, segundo muitas pesquisas, podem ser previstos e são potencialmente significativos, as incertezas também são altas, o que faz com que sejam necessárias informações adicionais para a confirmação dos achados. Alguns estudos relatam que os riscos à saúde devido à exposição ao NO₂ variam e que os principais fatores determinantes são a concentração, dependente das emissões e das condições meteorológicas, assim como a duração do tempo em que estes trabalhadores permanecem expostos.

Assim, apesar de o presente estudo já contemplar observações sazonais e em diversos ambientes exteriores e microambientes interiores, como foi salientado, o número delas terá que ser alargado para dar robustez estatística aos achados, uma vez que se trata, sem dúvida, da principal limitação deste trabalho.

De igual modo, a técnica de observação do impacto na saúde poderia ser revista e melhorada. Os resultados apresentados nesta pesquisa constituirão um banco de dados e informações importantes para, futuramente, evoluir com novos trabalhos que visem ao desenvolvimento de estratégias relacionadas à prevenção de complicações na saúde da população e a melhorias na qualidade de vida. Para maior certeza, podem-se incluir os exames de análise de hemoglobina (sangue) e o Exame de Mineralograma, bastante

utilizado na medicina ortomolecular, o qual consiste em análise de saliva, sangue, urina e cabelo.

5.3. Linhas de futuras investigações

Cada vez mais cresce a preocupação com o ar atmosférico e com a crise ambiental do planeta que a população enfrenta, o que traz a necessidade de se conhecer a qualidade do ar respirado. A partir disso, citam-se a importância do desenvolvimento sustentável das cidades e do aprimoramento de estudos que realmente permitam avaliar a qualidade do ar, possibilitando, assim, uma real compreensão dos efeitos do ar que é respirado sobre a saúde respiratória da população envolvida.

A poluição oriunda de veículos automotores em meio urbano representa grande parte dessa emissão, e o aumento da quantidade de veículos agrava a situação. Nesse contexto, estão os ônibus urbanos. É de extrema importância ressaltar que os veículos movidos a diesel, em muitos países, são os grandes responsáveis por parte da emissão do Material Particulado decorrente desse tipo de transporte, bem como de NO₂.

Apesar de a espirometria ser um exame específico para questões de função pulmonar, faz-se necessário, também, realizar um estudo com acompanhamento longitudinal da população mais exposta às concentrações elevadas de NO₂, com complementação de avaliações fisiológicas de outros sistemas, como o cardiovascular. Salienta-se, ainda, a importância de estudos que relatem os efeitos da proximidade das pessoas, direta e/ou indiretamente, às fontes de poluição.

Sugere-se, também, verificar concentrações de NO₂ e MP. Visto que esses dois poluentes, normalmente, aparecem associados em muitas pesquisas, a medida tornaria possível a obtenção de registros mais significativos da saúde respiratória dos indivíduos.

Para complementar esses dados, pode-se comparar o número de consultas médicas com o de episódios de sintomas respiratórios registradas no principal hospital da cidade, nos mesmos períodos observados, utilizando-se outros marcadores além da espirometria, tais como o Exame de Mineralograma e a análise clínica de sangue, avaliando hemoglobina, pois, em situações de altas concentrações de poluentes emitidos pelos automóveis, a síntese da hemoglobina é prejudicada, diminuindo a capacidade de oxigenação no organismo e aumentando a incidência de alterações respiratórias e cardiovasculares.

Recomenda-se uma análise efetiva dos resultados da qualidade do ar que procure replicar os modelos de circulação de massas de ar no local estudado, ofertando solidez às questões dos componentes meteorológicos, a fim de se identificarem as direções dos ventos com mais impacto sobre as concentrações e dispersão dos poluentes do ar, em especial, o NO₂.

Considera-se que os resultados aqui apresentados, mesmo com as limitações encontradas, possam contribuir como indicadores dos locais mais adequados para a instalação de amostradores da qualidade do ar e, assim, possibilitar a avaliação da situação na cidade, relativamente a esta matéria. Propõe-se que as regiões centrais da cidade sejam monitoradas em mais pontos, correlacionando mais poluentes, nas diferentes estações do ano, pois, desse modo, será possível avaliar o nível de comprometimento ambiental e elaborar programas de prevenção.

Assim, em relação à saúde ocupacional, que foi a principal motivação deste estudo, pode-se ter uma maior abrangência da pesquisa, indicando-se fomentar ações em nível de saúde pública municipal, para elaboração de estratégias de melhoria da qualidade do ar, investigando-se outros grupos de trabalhadores que também estejam expostos aos riscos ocupacionais decorrentes do NO₂, tais como cobradores de ônibus, patrulhas de trânsito, motoristas de caminhão e motoristas de táxis, entre tantos outros, principalmente, nas zonas onde, mencionadamente, tenham sido encontrados os níveis mais elevados desse poluente.

Conclui-se que o campo é vasto. Muitas pesquisas ainda podem e devem ser feitas a fim de contribuir com o desenvolvimento da ciência e promover o bem-estar e a saúde dos trabalhadores.

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: O caso dos condutores de transporte público.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

- AL-HEMOUD, A., AL-AWADI, L., AL-KHAYAT, A. & BEHBEHANI, W. 2018. Streamlining IAQ guidelines and investigating the effect of door opening/closing on concentrations of VOCs, formaldehyde, and NO₂ in office buildings. *Building and Environment*, 137, 127-137.
- ANDERSEN, Z. J., LOFT, S., KETZEL, M., STAGE, M., SCHEIKE, T., HERMANSEN, M. N. & BISGAARD, H. 2008. Ambient air pollution triggers wheezing symptoms in infants. *Thorax*, 63, 710-6.
- ANVISA 2003. Instrução Normativa nº 2, de 16 de janeiro de 2003. [Em linha]. Disponível em <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RE_09_2003.pdf/f4af80d4-8516-4f9c-a745-cc8b4dc15727>. [Consultado em 14/01/2019]. 14, 35-37.
- ARBEX, M. A., MARTINS, L. C., PEREIRA, L. A. A., NEGRINI, F., CARDOSO, A. A., MELCHERT, W. R., ARBEX, R. F., SALDIVA, P. H. N., ZANOBETTI, A. & BRAGA, A. L. F. 2007. Indoor NO₂ air pollution and lung function of professional cooks. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 40, 527-534
- ARBEX, M. A., SANTOS, U. D. P. S., MARTINS, L. C., SALDIVA, P. H. N., PEREIRA, L. A. A. & BRAGA, A. L. F. 2012. Air pollution and the respiratory system. *J Bras Pneumol.*, 38, 643-655.
- ASMI, E., ANTOLA, M., YLI-TUOMI, T., JANTUNEN, M., AARNIO, P., MAKELA, T., HILLAMO, R. & HAMERI, K. 2009. Driver and passenger exposure to aerosol particles in buses and trams in Helsinki, Finland. *Sci Total Environ*, 407, 2860-7.

- AYOADE, J. O. 2003. Climate Change: Synopsis of its Nature, Causes, Effects and management. . *Vantage Publishers*.
- BAIRD, C. 2002. Química Ambiental. *Bookman*, 2 ed.
- BARROS, N., FONTES, T., SILVA, M. P. & MANSO, M. C. 2013. How wide should be the adjacent area to an urban motorway to prevent potential health impacts from traffic emissions? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 50, 113-128.
- BEHRENTZ, E., SABIN, L. D., WINER, A. M., FITZ, D. R., PANKRATZ, D. V., COLOME, S. D. & FRUIN, S. A. 2005. Relative importance of school bus-related microenvironments to children's pollutant exposure. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55, 1418-1430.
- BHATT, B. & SEEMA, M. S. 2012. Occupational Health Hazards: A Study of Bus Drivers. *Journal of Health Management*, 14, 201-206.
- BHATT, H., SATTLER, M. L. & MATTINGLY, S. P. 2013. Determination of Safe Roadway Buffer Width to Protect Human Health from NO₂ Exposure: A Case Study for Grand Prairie, TX. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 03.
- BRAGA, A., BOHM, G. M., PEREIRA, L. A. A. & SALDIVA, P. 2001. Poluição Atmosférica e Saúde Humana. *REVISTA USP*, 51, 58-71.
- BRAIT, C. H. H. B. & FILHO, N. R. A. 2010. Desenvolvimento e aplicação de sistema passivo de coleta de poluentes atmosféricos para monitoramento de Cd, Cr, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn e particulados totais. *Quim. Nova*, 33, 7-13.
- BRITO, H. P. 2005. Análise das emissões atmosféricas geradas por veículos automotores em Natal – RN. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade federal do RN)*.
- BROOK, R. D., RAJAGOPALAN, S., POPE, C. A., 3RD, BROOK, J. R., BHATNAGAR, A., DIEZ-ROUX, A. V., HOLGUIN, F., HONG, Y., LUEPKER, R. V., MITTLEMAN, M. A., PETERS, A., SISCOVICK, D., SMITH, S. C., JR., WHITSEL, L. & KAUFMAN, J. D. 2010. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121, 2331-78.
- BUCCO, M. V. S. 2010. Construção e testes de validação de amostradores passivos para dióxido de nitrogênio e ozônio. *Dissertação (Mestrado Profissional em meio ambiente urbano e industrial do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná)*.

- CAMPBELL, G. W., STEDMAN, G. W. & STEVENSON, K. 1994. A survey of nitrogen dioxide concentrations in the United Kingdom using diffusion tubes, July–December 1991. *Atmospheric Environment*, 28, 477-486.
- CANÇADO, J. E. D., BRAGA, A., PEREIRA, L. A. A., ARBEX, M. A., SALDIVA, P. H. N. & SANTOS, U. D. P. 2006. Clinical repercussions of exposure to atmospheric pollution. *J Bras Pneumol.*, 32, S5-S11.
- CAO, Q., YU, D., GEORGESCU, M., WU, J. & WANG, W. 2017. Impacts of future urban expansion on summer climate and heat-related human health in eastern China. *Environ Int*, 112, 134-146.
- CARDOSO, J. P. & OLIVEIRA, M. N. D. D. 2011. Temporal trend for respiratory diseases in the city of Salvador. *RBPS*, 24, 31-39.
- CETESB 2011. Qualidade do ar no estado de São Paulo 2010 / CETESB. [Em linha]. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-doar/31-publicacoes-e-relatorios>>. [Consultado em 02/06/2018]. 234.
- CETESB 2018. Padrões de qualidade do ar. [Em linha]. Disponível em <<http://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>>. [Consultado em 25/01/2018].
- CHART-ASA, C. & GIBSON, J. M. 2015. Health impact assessment of traffic-related air pollution at the urban project scale: influence of variability and uncertainty. *Sci Total Environ*, 506-507, 409-21.
- CHEN, G., WAN, X., YANG, G. & ZOU, X. 2015. Traffic-related air pollution and lung cancer: A meta-analysis. *Thoracic Cancer*, 6, 307.
- CONAMA 1990. Resolução 003/1990. [Em linha]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>. [Consultado em 12/01/2018], 15937-15939.
- CONAMA 2018. Resolução 491/201. [Em linha]. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>. [Consultado em 20/07/2019], 155-156.
- CORTES, P. L. & CARNEIRO, A. J. S. 2014. Comparação entre Crescimento da frota de veículos automotores movidos a gasolina na cidade de São Paulo e níveis de emissões de poluentes. *ENGEMA (Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente)*.

- COSTA, A. F., HOEK, G., BRUNEKREEF, B. & PONCE DE LEON, A. C. M. 2017. Effects of NO₂ exposure on daily mortality in Sao Paulo, Brazil. *Environ Res*, 159, 539-544.
- COSTA, D. & JAMAMI, M. 2001. Bases fundamentais da espirometria. *Rev Bras Fisioter*, 5, 95-102.
- CROUSE, D. L., PETERS, P. A., HYSTAD, P., BROOK, J. R., VAN DONKELAAR, A., MARTIN, R. V., VILLENEUVE, P. J., JERRETT, M., GOLDBERG, M. S., POPE, C. A., 3RD, BRAUER, M., BROOK, R. D., ROBICHAUD, A., MENARD, R. & BURNETT, R. T. 2015. Ambient PM_{2.5}, O₃, and NO₂ Exposures and Associations with Mortality over 16 Years of Follow-Up in the Canadian Census Health and Environment Cohort (CanCHEC). *Environ Health Perspect*, 123, 1180-6.
- DALEGRAVE, F., GOMBOSKI, S. M., BARROS, N. & DA ROSA, M. G. 2017a. Efeitos da qualidade do ar interior na capacidade pulmonar de motoristas de ônibus. *Anais da 37ª Semana Científica do Hospital de Clínicas de Porto Alegre*. [Em linha] Disponível em: <https://www.hcpa.edu.br/downloads/pesquisa/RevistaCientifica/2017/anais_semana_cient_hcpa_2017.pdf>. [Consultado em 12/01/2019]. 37.
- DALEGRAVE, F., GOMBOSKI, S. M., BARROS, N. & DA ROSA, M. G. 2017b. Efeitos da qualidade do ar interior na capacidade pulmonar de motoristas de ônibus. *Anais do SsOA 2017 - II Congresso Luso-Brasileiro de Segurança e Saúde Ocupacional e Ambiental*.
- DAMASCENO, M. 2018. Número de carros em Caxias do Sul ultrapassa metade da população. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2018/09/numero-de-carros-em-caxias-do-sul-ultrapassa-metade-da-populacao-cjmdknylr05a801mnbivymeix.html>>. [Consultado em 15/10/2018].
- DAPPER, S. N. 2016. Estudo da associação dos efeitos da poluição do ar na saúde da população de Canoas - RS. *Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Santa Maria)*.
- DAPPER, S. N., SPOHR, C. & ZANINI, R. R. 2016. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. *ESTUDOS AVANÇADOS*, 30, 83-97.
- DENATRAN - DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO 2017. Frota de veículos. [Em linha] Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/610-frota-2017>>. [Consultado em 15/01/2018].

- DUAN, Z., HAN, X., BAI, Z. & YUAN, Y. 2016. Fine particulate air pollution and hospitalization for pneumonia: a case-crossover study in Shijiazhuang, China. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 9, 723-733.
- EEA 2017. Air pollution harms human health and the environment. *European Environment Agency*. [Em linha]. Disponível em <<https://www.eea.europa.eu/themes/air/intro>>. [Consultado em 18/02/2018].
- EPA 2017. Introduction to Indoor Air Quality. Indoor Air Pollution and Health. [Em linha]. Disponível em <<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>>. [Consultado em 19/01/2018].
- EPA 2018. The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality. [Em linha]. Disponível em <<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/inside-story-guide-indoor-air-quality>>. [Consultado em 19/01/2018].
- FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL 2010. 1 ° Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do Estado do Rio Grande do Sul – ano base: 2009. [Em linha]. Disponível em: <http://www.detran.rs.gov.br/upload/1426084172_INVENT%C3%81RIO%20RS%202009.pdf>. [Consultado em 13/01/2018].
- FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL 2017. Rede Estadual de Monitoramento Automático da Qualidade do Ar, Relatório 2016. [Em linha]. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/arg/Relatorio%20da%20Qualidade%20do%20Ar_2016.pdf>. [Consultado em 25/01/2018].
- FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL 2018. Monitoramento da qualidade do ar. [Em linha]. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/boletim_ar_automatica.asp>. [Consultado em 13/01/2018].
- FIELD, C. B., BARROS, V. R., MACH, K. & MASTRANDREA, M. 2014. *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability*, Cambridge University Press Cambridge and New York.
- GAO, P., LIU, S., YE, W., LIN, N., MENG, P., FENG, Y., ZHANG, Z., CUI, F., LU, B. & XING, B. 2015. Assessment on the occupational exposure of urban public bus drivers to bioaccessible trace metals through resuspended fraction of settled bus dust. *Sci Total Environ*, 508, 37-45.
- GHANBARI GHOZIKALI, M., HEIBATI, B., NADDAFI, K., KLOOG, I., OLIVERI CONTI, G., POLOSA, R. & FERRANTE, M. 2016. Evaluation of Chronic

Obstructive Pulmonary Disease (COPD) attributed to atmospheric O₃, NO₂, and SO₂ using Air Q Model (2011–2012 year). *Environmental Research*, 144, 99-105.

GIRARDI, G. 2014. Poluição do ar em São Paulo é duas vezes superior aos níveis aceitáveis pela OMS. *Estadão*. [Em linha] Disponível em: <https://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,poluicao-do-ar-em-sp-e-duas-vezes-superior-aos-niveis-aceitaveis-pela-oms,1163484>. [Consultado em 15/10/2018].

GODISH, T. 2004. Air quality. *Lewis Publishers*, 4^a ed.

GUARNIERI, M. & BALMES, J. R. 2014. Outdoor air pollution and asthma. *The Lancet*, 383, 1581-1592.

HEBERLE, S. M., CARDOSO, H. & BARROS, N. 2018a. Efeitos deletérios da exposição à poluição em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica: Uma revisão bibliográfica. *Anais - VI Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG*. [Em linha]. Disponível em <<http://ojs.fsg.br/index.php/pesquisaextensao/article/view/3389>>. [Consultado em 11/01/2018]. 6, 473-78.

HEBERLE, S. M., CORSO, D. I., BARROS, N. & DA ROSA, M. G. 2018b. Análise de concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂) indoor em ônibus municipais de Caxias do Sul. *Anais da XII Mostra Científica do CESUCA*. [Em linha]. Disponível em <<http://ojs.cesuca.edu.br/index.php/mostrac/article/view/1446>>. [Consultado em 12/01/2019]. 12, 183-91.

HEBERLE, S. M., DA COSTA, G. M., BARROS, N. & ROSA, M. S. G. 2018c. The Effects of Atmospheric Pollution in Respiratory Health. In: HUSSAIN, C. M. (ed.) *Handbook of Environmental Materials Management*. Cham: Springer International Publishing.

HEBERLE, S. M., DALEGRAVE, F., BARROS, N. & ROSA, M. S. G. 2018d. Avaliação da capacidade pulmonar de motoristas de ônibus. *Anais - VI Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG*. [Em linha]. Disponível em <<http://ojs.fsg.br/index.php/pesquisaextensao/article/view/3391>>. [Consultado em 11/01/2018]. 6, 380-83.

HEBERLE, S. M., LORINI, C., BARROS, N. & ROSA, M. S. G. 2019. Evaluation of bus driver exposure to nitrogen dioxide levels during working hours. *Atmospheric Environment*, 216, 116906.

HO, H. C., WONG, M. S., YANG, L., SHI, W., YANG, J., BILAL, M. & CHAN, T. C. 2017. Spatiotemporal influence of temperature, air quality, and urban

- environment on cause-specific mortality during hazy days. *Environ Int*, 112, 10-22.
- HULLEY, S. B., CUMMINGS, S. R., BROWNER, W. S., GRADY, D. & NEWMAN, T. B. 2015. Delineando a pesquisa clínica. *Artmed*, 4°.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA 2016. Dados gerais de Caxias do Sul. [Em linha]. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?lang=&codmun=430510&search=rio-grande-do-sul/caxias-do-sul/infograficos:-dados-gerais-do-municipio>>. [Consultado em 15/01/2018].
- INMET 2018. Normais Climatológicas do Brasil. [Em linha]. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. [Consultado em 06/11/2018].
- KANTOR JUNIOR, O. 1997. Pulmonary function tests in children and adolescents. *Jornal de Pediatria*, 73.
- KAWANO, M. 2003. Desenvolvimento, validação e aplicação de um modelo matemático para dispersão de poluentes atmosféricos. . *Dissertação de mestrado (Mestre em Engenharia ambiental Universidade Federal de Santa Catarina – SC)*.
- KHREIS, H., KELLY, C., TATE, J., PARSLOW, R., LUCAS, K. & NIEUWENHUIJSEN, M. 2017. Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int*, 100, 1-31.
- KÜNZLI, N., PEREZ, L. & RAPP, R. 2010. Air quality and health. *European Respiratory Society*.
- KURIYAMA, G. S., MOREIRA, J. C. & DA SILVA, C. R. S. 1997. Nitrogen dioxide (NO₂) occupational exposure assessment on Rio de Janeiro's city traffic wards. *Cad Saúde Públ*, 13, 677-683.
- LAKES ENVIROMENT 2018. WRPLOT. [Em linha]. Disponível em: <<http://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>>. [Consultado em 15/01/2018].
- LEE, K., YANG, W. & BOFINGER, N. D. 2011a. Impact of Microenvironmental Nitrogen Dioxide Concentrations on Personal Exposures in Australia. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50, 1739-1744.

- LEE, Y. L., WANG, W. H., LU, C. W., LIN, Y. H. & HWANG, B. F. 2011b. Effects of ambient air pollution on pulmonary function among schoolchildren. *Int J Hyg Environ Health*, 214, 369-75.
- LI, T., HORTON, R. M., BADER, D. A., LIU, F., SUN, Q. & KINNEY, P. L. 2018. Long-term projections of temperature-related mortality risks for ischemic stroke, hemorrhagic stroke, and acute ischemic heart disease under changing climate in Beijing, China. *Environ Int*, 112, 1-9.
- MAGALHÃES, A. M. A. T. 2009. Avaliação do contributo na qualidade do ar interior hospitalar da humidade e dos fungos. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)*.
- MALASPINA, P., CASALE, M., MALEGORI, C., HOOSHYARI, M., DI CARRO, M., MAGI, E. & GIORDANI, P. 2018. Combining spectroscopic techniques and chemometrics for the interpretation of lichen biomonitoring of air pollution. *Chemosphere*, 198, 417-424.
- MALHEIROS, T. 2014. Relatório sobre a poluição atmosférica de São Carlos. [Em linha]. Disponível em <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/258782/mod_resource/content/0/Modelo%20de%20Relat%C3%B3rio.pdf>. [Consultado em 12/10/2018].
- MAPS, G. 2018. Visate. [Em linha]. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/VISATE/@-29.2023822,-51.199311,795a,35y,39.02t/data=!3m1!1e3!4m2!1m6!3m5!1s0x0:0x6ad5ca1cfdbf8726!2sVISATE!8m2!3d-29.1962291!4d-51.1983792!3m4!1s0x0:0x6ad5ca1cfdbf8726!8m2!3d-29.1962291!4d-51.1983792>>. [Consultado em 20/11/2018].
- MARENCO, J. A. 2014. Apresentação de resultados dos relatórios de clima do IPCC e do INPE. [Em linha]. Disponível em <<http://brasil.campusvirtuaisp.org/node/180891>>. [Consultado em 17/01/2018].
- MARTIN, A. N., BOULTER, P. G., RODDIS, D., MCDONOUGH, L., PATTERSON, M., RODRIGUEZ DEL BARCO, M., MATTES, A. & KNIBBS, L. D. 2016. In-vehicle nitrogen dioxide concentrations in road tunnels. *Atmospheric Environment*, 144, 234-248.
- MELCHERT, W. R. & CARDOSO, A. A. 2006. A low-cost passive sampler for monitoring nitrogen dioxide in air. *Quím. Nova*, 29, 365-367.
- MILLER, M. R., HANKINSON, J., BRUSASCO, V., BURGOS, F., CASABURI, R., COATES, A., CRAPO, R., ENRIGHT, P., VAN DER GRINTEN, C. P.,

- GUSTAFSSON, P., JENSEN, R., JOHNSON, D. C., MACINTYRE, N., MCKAY, R., NAVAJAS, D., PEDERSEN, O. F., PELLEGRINO, R., VIEGI, G. & WANGER, J. 2005. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J*, 26, 319-38.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE 1998. Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998. [Em linha]. Disponível em <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523_28_08_1998.html>. [Consultado em 14/01/2019].
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA 2018a. Mudanças Climáticas. Departamento de Educação Ambiental da Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental do Ministério do Meio Ambiente (DEA/SAIC/MMA), [Em linha]. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/informma/item/8266>>. [Consultado em 14/01/2019].
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA 2018b. Poluentes atmosféricos. [Em linha]. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>>. [Consultado em 28/05/2018].
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA 2018c. Poluentes atmosféricos. [Em linha]. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>>. [Consultado em 28/05/2018].
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE 2011. 1 Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários - Relatório Final. *Brasil*, 1.
- MOLLE, R., MAZOUÉ, S., GÉHIN, É. & IONESCU, A. 2013. Indoor–outdoor relationships of airborne particles and nitrogen dioxide inside Parisian buses.
- MONN, C., BRÄNDLI, O., SCHINDLER, C., ACKERMANN-LIEBRICH, U., LEUENBERGER, P., AM, A. P. M. & PA, P. 1998. Personal exposure to nitrogen dioxide in Switzerland. *Science of the Total Environment*, 215, 243-251.
- MOREIRA, D. M., TIRABASSI, T. & MORAES, M. R. 2008. Meteorology and atmospheric pollution. *Ambiente & Sociedade* XI, 1-13.
- NETTER, F. H. 2000. Atlas de Anatomia Humana. *Artmed*, 2ed.
- NGO, N. S., GATARI, M., YAN, B., CHILLRUD, S. N., BOUHAMAM, K. & KINNEY, P. L. 2015. Occupational exposure to roadway emissions and inside informal settlements in sub-Saharan Africa: A pilot study in Nairobi, Kenya. *Atmospheric Environment*, 111, 179-184.
- NOVAES, P., DO NASCIMENTO SALDIVA, P. H., KARA-JOSE, N., MACCHIONE, M., MATSUDA, M., RACCA, L. & BERRA, A. 2007. Ambient levels of air

pollution induce goblet-cell hyperplasia in human conjunctival epithelium. *Environ Health Perspect*, 115, 1753-6.

NOVAES, P., SALDIVA, P. H., MATSUDA, M., MACCHIONE, M., RANGEL, M. P., KARA-JOSE, N. & BERRA, A. 2010. The effects of chronic exposure to traffic derived air pollution on the ocular surface. *Environ Res*, 110, 372-4.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE 2008. Vigilância global, prevenção e controlo das doenças respiratórias crónicas: uma abordagem integradora. *Lisboa*.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, I. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis 1*.

PASSAM 2018. Laboratory for environmental analysis and air pollution. [Em linha]. Disponível em: <<http://www.passam.ch/wp/>>. [Consultado em 15/01/2018].

PEREIRA, C. A. D. C. 2002. Espirometria. *J Bras Pneumol.*, 28, 1-82.

PEREIRA, C. A. D. C., DUARTE, A. A. O., GIMENEZ, A. & SOARES, M. R. 2014. Comparison between reference values for FVC, FEV1, and FEV1/FVC ratio in White adults in Brazil and those suggested by the Global Lung Function Initiative 2012. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 40, 397-402.

PEREIRA, C. A. D. C., SATO, T. & RODRIGUES, S. C. 2007. Novos valores de referência para espirometria forçada em brasileiros adultos de raça branca. *J Bras Pneumol.*, 33, 397-406.

PESTANA, M. H. & GAGEIRO, J. N. 2003. Análise de dados para ciências sociais. A complementaridade do SPSS. *Edições Silabo*, Lisboa.

PLANETA BIOLOGIA 2011. Sistema Respiratório. [Em linha]. Disponível em <<http://planetaebiologia.blogspot.com/2011/10/>>. [Consultado em 12/02/2018].

PORTIER, C., THIGPEN, T. K., CARTER, S., DILWORTH, C., GRAMBSCH, A., GOHLKE, J., HESS, J., HOWARD, S., LUBER, G., LUTZ, J., MASLAK, T., PRUDENT, N., RADTKE, M., ROSENTHAL, J., ROWLES, T., SANDIFER, P., SCHERAGA, J., SCHRAMM, P., STRICKMAN, D., TRTANJ, J. & WHUNG, P.-Y. 2010. A Human Health Perspective On Climate Change: A Report Outlining the Research Needs on the Human Health Effects of Climate Change. *Environmental Health Perspectives/National Institute of Environmental Health Sciences*.

- RASSLAN, Z., SAAD JUNIOR, R., STIRBULOV, R., FABBRI, R. M. A. & LIMA, C. A. D. C. 2004. Evaluation of Pulmonary Function in Class I and II Obesity. *J Bras Pneumol* 30, 508-14.
- RCP 2016. Every breath we take: the lifelong impact of air pollution. Report of a working party. *Royal College of Physicians*.
- RILEY, E. A., SCHAAL, L., SASAKURA, M., CRAMPTON, R., GOULD, T. R., HARTIN, K., SHEPPARD, L., LARSON, T., SIMPSON, C. D. & YOST, M. G. 2016. Correlations between short-term mobile monitoring and long-term passive sampler measurements of traffic-related air pollution. *Atmos Environ (1994)*, 132, 229-239.
- RIM, D., SIEGEL, J., SPINHIRNE, J., WEBB, A. & MCDONALD-BULLER, E. 2008. Characteristics of cabin air quality in school buses in Central Texas. *Atmospheric Environment*, 42, 6453-6464.
- SALDIVA, P. H. N., ANDRADE, M. D. F., MIRAGLIA, S. G. E. K. & ANDRÉ, P. A. 2010. O etanol e a saúde. In: Etanol e Bioeletricidade A cana de açúcar no futuro da matriz energética/ [coordenaçãoe organização Eduardo L. Leão de Sousa e Isaias de Carvalho Macedo] *Luc Projetos de Comunicação*, São Paulo.
- SILVA, L. C. C., RUBIN, A. S. & SILVA, L. M. C. 2000. Avaliação funcional pulmonar. *Reivinter*.
- SMDETE 2014. Perfil Socioeconômico de Caxias do Sul. *Secretaria do Desenvolvimento Econômico, Trabalho e Emprego de Caxias do Sul*.
- SON, B., YANG, W., BREYSSE, P., CHUNG, T. & LEE, Y. 2004. Estimation of occupational and nonoccupational nitrogen dioxide exposure for Korean taxi drivers using a microenvironmental model. *Environ Res*, 94, 291-6.
- SOUZA, J. B. D., REISEN, V. A., SANTOS, J. M. & FRANCO, G. C. 2014. Principal components and generalized linear modeling in the correlation between hospital admissions and air pollution. *Revista de Saúde Pública*, 48, 451-458.
- SULLIVAN, R. & PRYOR, S. 2014. Quantifying spatiotemporal variability of fine particles in an urban environment using combined fixed and mobile measurements. *Atmos. Environ.*, 89, 664-71.
- TIAN, L., HO, K. F., WANG, T., QIU, H., PUN, V. C., CHAN, C. S., LOUIE, P. K. & YU, I. T. 2014. Ambient carbon monoxide and the risk of hospitalization due to chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Epidemiol*, 180, 1159-67.

- VIZCAINO, P. & LAVALLE, C. 2018. Development of European NO₂ Land Use Regression Model for present and future exposure assessment: Implications for policy analysis. *Environmental Pollution*, 240, 140-154.
- WANG, L., MORAWSKA, L., JAYARATNE, E. R., MENGERSEN, K. & HEUFF, D. 2011. Characteristics of airborne particles and the factors affecting them at bus stations. *Atmospheric Environment*, 45, 611-620.
- WEINMAYR, G., ROMEO, E., DE SARIO, M., WEILAND, S. K. & FORASTIERE, F. 2010. Short-term effects of PM₁₀ and NO₂ on respiratory health among children with asthma or asthma-like symptoms: a systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect*, 118, 449-57.
- WHO 2013. Combined or multiple exposure to health stressors in indoor built environments. An evidence-based review prepared for the WHO training workshop “ Multiple environmental exposures and risks “ [Em linha]. Disponível em: <http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0020/248600/Combined-or-multiple-exposure-to-health-stressors-in-indoor-built-environments.pdf>. [Consultado em 10/01/2018].
- WORLD HEALTH ORGANIZATION 2003. Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide *Health Documentation Services WHO Regional Office for Europe*. [Em linha]. Disponível em: <http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf>. [Consultado em 15/01/2018].
- WU, S. 2014. Association of Cardiopulmonary Health Effects with Source-Appointed Ambient Fine Particulate in Beijing, China: A Combined Analysis from the Healthy Volunteer Natural Relocation (HVNR) Study. *Environmental Science & Technology*, 48, 3438-48.
- YANG, G., WANG, Y., ZENG, Y., GAO, G. F., LIANG, X., ZHOU, M., WAN, X., YU, S., JIANG, Y., NAGHAVI, M., VOS, T., WANG, H., LOPEZ, A. D. & MURRAY, C. J. L. 2013. Rapid health transition in China, 1990–2010: findings from the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet*, 381, 1987-2015.
- YANG, R., LOU, D.-M. & TAN, P.-Q. 2014. Exhaust Emission Characteristics of Heavy Duty Diesel Engine During Cold and Warm Start. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 7, 121-126.
- ZHANG, K. & BATTERMAN, S. 2013. Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Sci Total Environ*, 450-451, 307-16.

ZHANG, Y., QU, S., ZHAO, J., ZHU, G., LU, X., SABEL, C. E. & WANG, H. 2017. Quantifying regional consumption-based health impacts attributable to ambient air pollution in China. *Environ Int*, 112, 100-106.

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: O caso dos condutores de transporte público.

APÊNDICES

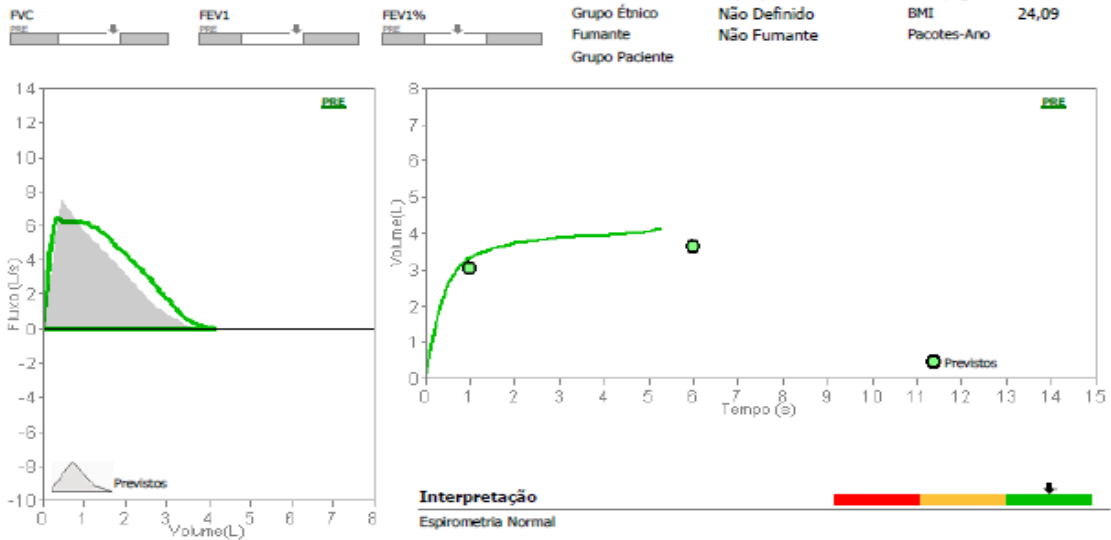
Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: O caso dos condutores de transporte público.

Apêndice A. Teste de Função Pulmonar.

Resultados de Teste de Funções pulmonares

Data da Visita 11/07/2017

Cód. Paciente	18	Idade	37
Sobrenom	Dogenski	Sexo	Feminino
Nome	Jossara	Altura, cm	163
Data de Nascimento	26/05/1980	Peso, kg	64
Grupo Étnico	Não Definido	BMI	24,09
Fumante	Não Fumante	Pacotes-Ano	
Grupo Paciente			



PRE data da Curva 11/07/2017 17:08:26

Parâmetros	LLN	Prev	Best	%Prev	Z-score	PRE#1	PRE#2	PRE#3	POST	%Prev	%Des
FVC	l	3,00	3,64	4,14*	114	1,28	4,14		*		
FEV1	l	2,40	3,01	3,38*	112	0,99	3,38		*		
FEV1/FVC	%	74,3	82,8	81,6*	99	-0,24	81,6		*		
PEF	l/s	5,71	7,62	6,50*	85	-0,97	6,50		*		
ELA	Anos		37	37	100		37				
FEF2575	l/s	1,73	3,03	3,64	120	0,77	3,64				
FET	s		6,00	5,26	88		5,26				
FVC	l	3,00	3,64								
FEV1/VC	%	74,3	82,8								

*Melhores valores de todas as curvas - BTPS 1,092 25 °C (77 °F) - Previstos Pereira

Conclusão / Laudo Médico

Assinatura

Instrumento em uso
Minispir II S/N C06614

Apêndice B. Artigo Publicado: Evaluation of bus driver exposure to nitrogen dioxide levels during working hours.

Atmospheric Environment 216 (2019) 116906



Evaluation of bus driver exposure to nitrogen dioxide levels during working hours



Sandra Magali Heberle^{a,b,c,*}, Claudia Lorini^b, Michele S.G. Rosa^d, Nelson Barros^a

^a Energy, Environment and Health Research Unit, FP-ENAS - UFP: University Fernando Pessoa, Praça 9 de Abril, 349, 4249-004, Porto, Portugal

^b Department of Physical Therapy, Serra Gaúcha University (FSG), 95020-472, Caxias do Sul, Brazil

^c Department of Physical Therapy, Cesuca University, 94940-243, Cachoeirinha, Brazil

^d Cardiovascular Centre, CCUL: University of Lisbon, 1649-004, Lisbon, Portugal

Abstract: Nitrogen dioxide (NO₂) is a harmful gas with impacts on human health. Human exposure to this pollutant causes an inflammatory response of the respiratory system and increased susceptibility to pulmonary infections. NO₂ also promotes the formation of nitrosamines, some of which are potentially carcinogenic. Bus drivers are chronically exposed to potentially high levels of NO₂ during their working hours. The objective of this study was to compare the NO₂ exposure of urban bus drivers (target group) with that of office workers (control group) during working hours. This is an observational study of a population comprising 59 people, of which 30 were bus drivers (50.8%) and 29 were administrative workers (49.2%). All participants used a passive NO₂ sampler that was only exposed while the participant was working. The data were collected over three-week sampling campaigns, one in winter (from June 28, 2017, to July 20, 2017) and the other

in summer (from January 3, 2018, to January 24, 2018), in Caxias do Sul, Brazil. For control purposes, NO₂ levels were also measured at three different city locations, one directly affected by traffic emissions (traffic station), the second far from these emissions (background station), and the third in the bus parking garage. In general, the results showed that the exposure of bus drivers to NO₂ was significantly higher than that of administrative workers ($P < 0.001$), with differences close to 75%. In winter, normally the NO₂ values are higher than the summer values. These results also suggest that, assuming that NO₂ is a good indicator of the presence of other pollutants of anthropogenic origin, both drivers and passengers may be exposed to unsafe concentration levels of pollutants present inside buses. Therefore, this type of study should be continued and expanded upon.

Apêndice C. Capítulo de Livro Publicado: The Effects of Atmospheric Pollution in Respiratory Health

09/2018

The Effects of Atmospheric Pollution in Respiratory Health | SpringerLink



The Effects of Atmospheric Pollution in Respiratory Health

Handbook of Environmental Materials Management pp 1-16 | Cite as

- Sandra Magali Heberle (1)
- Gustavo Marques da Costa (2) Email author (markesdakosta@hotmail.com)
- Nelson Barros (1)
- Michele S. G. Rosa (3)

1. Energy, Environment and Health Research Unit, FP-ENAS - UFP: University Fernando Pessoa, , Porto, Portugal
2. Universidade Feevale, , Novo Hamburgo, Brazil
3. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS, , Porto Alegre, Brazil

Living reference work entry

First Online: [07 August 2018](#)

Received: 31 May 2018

Accepted: 21 July 2018

© Springer Nature Switzerland AG 2018

Chaudhery Mustansar Hussain

Handbook of Environmental Materials Management

10.1007/978-3-319-58538-3_171-1

Abstract

This research consists of a review developed based on studies on the association between air pollution and respiratory health, more specifically, on the effects of NO₂ (nitrogen

dioxide), particularly on bus drivers. The Revolution Industrial accelerated the emission of pollutants from an anthropogenic origin. The air pollution is present in the world in the most different scenarios. Approximately 50% of the planet's population lives in cities and urban agglomerations and is exposed to progressively higher levels of air pollutants. Driving vehicles in high traffic routes can increase the level of exposure to NO₂ by reducing lung capacity. Therefore, studies in the Medline and B-on databases, which have evaluated the levels of NO₂ concentration due to the emission of motor vehicles and their effects on human health, are being sought. On the other hand, the lists of references of the selected articles were also revised, allowing in this way to broaden the research carried out. The research period included studies published until July 2016, with a series of articles, abstracts, and full texts which were screened to identify suitable studies and, therefore, to select the research to be used. The inclusion criteria for articles were those that analyzed the association of NO₂ and the effects on human health, particularly in bus drivers.

Keywords Air pollution - Nitrogen dioxide - Traffic - Transport - Indoor air quality - Bus drivers

Introduction

Atmospheric pollution is defined as the introduction into the atmosphere of any matter or energy that will significantly alter its properties, thereby affecting the "health" of the animal or plant species that depend on it, having contact with it, or it may cause physicochemical changes in the mineral species that are approaching it (World Health Organization [2002](#)).

Air pollution has become an increasingly frequent problem in large urban centers with technological developments, increasing population and means of transport Girardi ([2014](#)) and IBGE ([2016](#)). Therefore, the traffic of motor vehicles, which provides an extremely important contribution to the population, becomes harmful due to the emission of a series of polluting compounds (Arbex et al. [2012](#)).

Emissions of pollutants by vehicles are the result of the combustion or evaporation of the fuel as well as the wear of the various components, particularly, tires and brakes. The most commonly used fuels for transportation are gasoline, for cars (lighter vehicles), and diesel for buses and trucks (heavier vehicles). Fuels such as ethanol (ethanol and methanol), gasoline, alcohol blend, natural gas (NGV), and liquefied petroleum gas (LPG) are also used in lighter vehicles (Loureiro [2005](#)). The human being is highly exposed to this pollution in one way or another, and most major pollutants can affect lung function and cause severe damage to health, because air quality directly interferes with the respiratory system, and can also reach the systemic circulation through the lungs due to its large area of contact causing deleterious effects on organs and systems (Brook et al. [2010](#); Lee et al. [2011](#); European Environment Agency [2013](#)).

Pulmonary function is, therefore, an important marker of the effects of air pollution on the exposed population, being an objective, quantitative, and early predictor of morbidity and cardiorespiratory mortality. Studies have also shown the acute and chronic effects of pollutants on lung function in children, adolescents, healthy adults, and those with previous respiratory diseases (Künzli et al. [2010](#); Hesterberg et al. [2009](#)).

Therefore, particulate and gaseous pollutants, emitted from various sources, increase the symptoms of diseases, whose main effects on human health are the following: indisposition; irritation in the eyes, throat, and nostrils; alteration in lung function, respiratory and cardiovascular diseases; frequent visits to the emergency room; increased hospitalizations; and even deaths (Arbex et al. [2012](#); Organização Mundial da Saúde [2008](#)).

It is necessary, then, to establish the limits of the health effects that are intended to be evaluated. The health effects of the population, due to exposure to environmental pollutants, are diverse, exhibiting different intensities and manifesting themselves with different latency times. Among the main ones, the following are mentioned: behavioral and cognitive events; pulmonary and systemic inflammation; changes in airway caliber, vascular tone, and heart rate control; reproductive changes; morbidity and mortality due to cardiorespiratory diseases; and increased incidence of neoplasia, and considering the

multiplicity of possible outcomes, it is necessary to objectively explain what adverse effects are to health, clarification that will facilitate the selection of useful events to determine the impact that some environmental modification will have on the population (Braga et al. [2001](#); Yang et al. [2013](#)).

However, although the concept of adverse or detrimental effect on human health is widely used for the definition of risk assessment or environmental management measures, a precise definition of the boundary between a finding of statistical significance and a change entailing a relevant injury to health still lacks better elucidation (Braga et al. [2001](#)). The most widely adopted definition to characterize an adverse health effect has been that advocated by the American Thoracic Society (1995), which explains health impairment “as a significant medical event”, characterized by one or more of the following factors:

1. Interference in activity normal of affected individuals
2. Episodic respiratory disease
3. Disabling disease
4. Permanent respiratory disease
5. Progressive respiratory dysfunction

Therefore, among the several factors that can generate the appearance of pulmonary or cardiovascular diseases, air pollution is one of the important causes that has been studied. Not only health researchers but also researchers from other areas are concerned with exploring this relationship between pollution and the development of respiratory diseases and thus seek preventive measures (Cardoso and Oliveira [2011](#); Freitas et al. [2004](#); Roseiro and Takayanagui [2006](#)). As a result, some studies have contributed to the search for pollution prevention, and in a study conducted by Cortes and Carneiro, in [2014](#), the importance of using public transportation as a form of emission reduction is mentioned. These authors emphasize, however, the need to evaluate the working conditions of driver subject to elevated levels of pollutants.

A study developed by Molle et al. ([2013](#)), PM_{2.5} and NO₂ with external levels, it was pointed out that, in the interior of the vehicle, these levels are higher and may cause health

damage to drivers who are subject to high concentrations during their workday. The PM can act as a transport vehicle for other air pollutants, such as pollutants, viruses, bacteria, organic substances, and odors (Tan and Zhang [2003](#)). Consequently, this internal combustion process, due to the decrease in pulmonary function in children and an increased risk of respiratory tract infections (LRTIs), especially in young children, is associated with an increase in hospital admissions.

Another study, conducted with 55 volunteers in the city of São Paulo, Brazil, who measured NO₂ levels individually for 7 days allowed the discovery of a considerable number of people with ocular irritation when exposed to elevated levels of this pollutant (NO₂). NO₂ was chosen as an indicator of the exposure to air pollution, and in this research, the passive NO₂ monitoring system was used because it is a simple and efficient strategy that does not interfere with daily activities, allowing a good sampling analysis for 3 weeks (Novaes et al. [2010](#)).

Nitrogen oxides are usually found in exhaust gases from processes involving the burning of fossil fuels, and among them, NO₂ is considered as the highest environmental and toxicological importance in the lower troposphere. NO₂ is present in significant concentrations in polluted atmospheres and is the most toxic (Novaes et al. [2007](#); Fisher et al. [2007](#); Atkinson [2013](#)).

The atmospheric levels of NO₂, observed in urban outskirts, vary with the time of day, the season, the proximity and the nature of the local sources of pollution, and with the meteorological factors. In general, peak concentrations occur twice a day in morning and evening hours and are attributed to emissions from road vehicle traffic (Kuriyama et al. [1997](#); Sullivan and Pryor [2014](#)), considering that in summer, NO₂ concentrations are higher and more damaging (Ryley [2016](#)).

NO₂ is an oxidizing gas soluble in tissues and, due to its degree of tissue solubility, reacts not only with the alveolar epithelium but also with the interstice and endothelium of the pulmonary capillaries. This oxidative injury has been enunciated as the main mechanism of pulmonary lesion formation. Most of the inhaled NO₂ is retained in the lungs and deposited, primarily, in the bronchi, respiratory and terminal bronchioles, with small

deposition in the alveoli. In this way, NO₂ can directly injure the lung by means of its oxidizing properties or, indirectly, by increasing susceptibility to respiratory infections (Samet [1991](#)). It is of immense importance to highlight that exposure to NO₂ is considered a sentinel event in occupational health, being associated with exposure to NO₂ the appearance of acute bronchitis, pneumonia, and pulmonary edema (Mullan and Murth [1995](#); Larsson et al. [2010](#)).

Therefore, NO₂ is considered a marker of pollutants derived from combustion produced by vehicular emissions and other sources, such as biomass burning (Novaes et al. [2010](#)). When NO₂ is absorbed by the smaller airways, at very high concentrations (above 200 ppm), it is quite dangerous, causing lung injury, fatal pulmonary edema, lung cancer, bronchopneumonia, and cardiovascular diseases (Hamra et al. [2015](#)). It causes impairment in mucociliary transport, decreasing macrophage function and local immunity at lower concentrations (Wu [2014](#)).

As NO₂ is derived mainly from diesel, which is a widely used fuel in buses and trucks, it is relevant to study the working conditions to which the drivers of these means of transport are exposed. The health and working conditions of urban public transport drivers can be considered as an essential element of dimensioning the quality of life of urban centers since different environmental and social interaction factors – among them, transit – contribute to the increase of stress and respiratory diseases (Battiston et al. [2006](#)). The work of the urban public transport driver is directly related to the environment in which it is carried out. Unlike the people who perform their professional activities indoors, this professional performs his work in a public environment, the traffic. It does not, therefore, have a restricted and well-defined place to carry out its tasks; on the contrary, it works outside the company's gates, being subject to weather conditions, such as climate, air pollution, and traffic conditions and pathways (Battiston et al. [2006](#)).

Air quality issues are increasingly among the most well-informed concerns of the population, and more accurate responses are expected, but there are still insufficient studies to prove the harm to individuals who are closest to sources of pollutant emissions. In modern cities, where industries have moved away from more populated regions, buses

become a predominant source of pollution. Therefore, exposure to urban air pollution is associated with increased effects on the respiratory health of the population.

Methods

This research consists of a literature review, developed based on studies on the association between air pollution and respiratory health, more specifically, the effects of NO₂. Linde and Willich (2003) point out that a systematic review is a form of research that is based on the literature as a data source, being considered able to present conflicting and/or coincident results and to provide support for future investigations (Hulley et al. 2003). The descriptors “air pollution,” “nitrogen dioxide,” “traffic or transport,” “indoor air quality,” and “bus drivers” were used in the Medline and B-on databases in order to obtain the articles analyzed. Reference lists of selected articles were also reviewed. The research period included studies published until the month of July 2016. A screening process was implemented based on article titles, abstracts, and full texts, to identify suitable studies. First, the summaries of the articles found were read, and therefore, the researches to be used in the analysis were selected. The criterion of inclusion of articles was the use of those who analyzed the association of NO₂ with health effects. As exclusion criterion, it was adopted to exclude those articles that analyzed only the association of meteorological conditions with health problems.

Results

This topic presents the main results of studies on air pollution, NO₂, and effects on human health. The inclusion criteria were filled with 28 studies indexed in Medline and B-on until July 2016. In total, 910 articles were found, using the descriptors in the Medline and B-on databases, of which 165 were inclusion criteria and were selected for the more detailed analysis (Fig. 1).

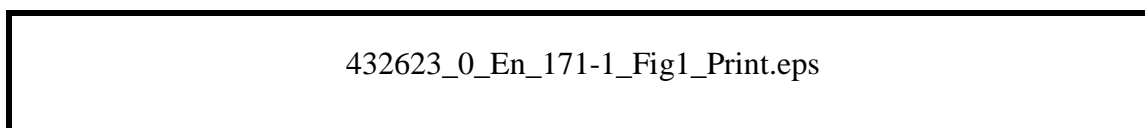


Fig. 1

Scheme for sorting articles of interest

The study by Simoni et al. ([2002](#)) (ID 23) (Table [1](#)) showed that there was a close relationship between the levels of the 2 inside of 33 ppb in winter and there was an increase in the occurrence of acute respiratory symptoms in nonsmoking adults. In elevated levels of NO₂, there was a prevalence of bronchitis and asthma. These effects are combined with the duration of exposure to which individuals are submitted during your daily routine. The same results were obtained (exposure indices) when the subjects were exposed to a low dose of NO₂ for an extended time (5 h) and when it no longer reaches for a higher concentration of NO₂ (50 ppb–101 µg/m³) for a shorter time (1 h). Exposure to NO₂ of 200 ppm (405 mg/m³) or higher places the life of the individual in danger. In 50–100 ppm levels (101 mg/m³–203 mg/m³), NO₂ damages lung function and irritates the eyes, nose, and throat. The higher the concentration of NO₂, even in a brief period, the more damaging it will be for the pulmonary function. **Table 1**

List of articles that met the inclusion criteria published until July 2016

ID	Reference	Variables evaluated		
		Diseases	Air pollutants	Study population
1	Behrentz et al. (2005)	Asthma, decreased lung function, stress, cardiovascular disease	PM, CO ₂ , NO ₂	All
2	Briggs et al. (2016)	Respiratory diseases	NO ₂	All
3	Brunekreef and Holgate (2002)	Respiratory diseases	PM, NO ₂	All

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: O caso dos condutores de transporte público.

4	Burr et al. (2004)	Respiratory diseases, decreased lung function, asthma, rhinitis, conjunctivitis	PM _{2,5} , PM ₁₀ , NO ₂	All
5	Cakmak et al. (2016)	Respiratory diseases	PM, CO ₂ , NO ₂	All
6	Cheng et al. (2006)	Respiratory syndromes and inflammatory effects	PM, CO ₂ , NO ₂	Adults
7	Chiu et al. (2015)	Decreased lung function	CO ₂ , NO ₂	All
8	Corfa et al. (2004)	Respiratory and cardiovascular diseases	PM, CO ₂ , NO ₂	All
9	Crouse et al. (2015)	Respiratory and cardiovascular diseases, COPD, diabetes, lung cancer	PM _{2,5} , O ₃ , NO ₂	All
10	Fitz et al. (2003)	Respiratory diseases and decreased lung function	PM _{2,5} e NO ₂	All
11	Gauderman et al. (2000)	Respiratory diseases and decreased lung function	PM, CO ₂ , NO ₂	Children
12	Gavinier and Nascimento (2014)	Cerebrovascular accident	NO ₂	Adults >50 years old

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: O caso dos condutores de transporte público.

13	Huang et al. (2016)	Reduction of FEV1 e PEF	PM 2,5, NO 2, BC e CO	Young adults
14	Hystad et al. (2013)	Respiratory diseases and lung cancer	NO 2	All
15	Lewné et al. (2006)	Respiratory diseases	NO 2	Adults
16	Lipfert and Wyzga (2008)	Premature mortality, asthma, decreased lung function, stress, diseases	CO 2, NO 2	All
17	Liu et al. (2010)	Respiratory diseases	PM, CO 2, NO 2	All
18	Molle et al. (2013)	Respiratory diseases	PM 2,5 e NO 2	All
19	Mölter et al. (2013)	Decreased FEV1, reduced lung volume	PM 10 e NO 2	3, 5, 8, 11 years old
20	Negrisoni and Nascimento (2013)	Pneumonia	NO 2	All
21	Riediker et al. (2003)	Fatigue, lack of concentration, and loss of cognitive ability	NO 2	Adults
22	Rim et al. (2008)	Decreased lung capacity	NO x	All

23	Simoni et al. (2002)	Impairs lung function; irritates the eyes, nose, and throat	NO ₂	Adults
24	Solomon et al. (2001)	Respiratory diseases and decreased lung function	NO ₂	All
25	Underhill et al. (2015)	Cardiopulmonary diseases, asthma, allergies, decreased lung function	PM _{2,5} , BC, NO ₂	Adults
26	Vuković et al. (2016)	Respiratory and cardiovascular diseases	PM, NO ₂	All
27	Wang et al. (2011)	Respiratory diseases and decreased lung function	CO ₂ , NO ₂	All
28	Zhang et al. (2016)	Asthma, chronic obstructive pulmonary disease (COPD).	PM, CO ₂ , NO ₂	All

Abbreviations: NO₂, nitrogen dioxide; CO₂, carbon dioxide; NO_x, nitrogen oxide; BC, black carbon; PM, particulate matter; PM_{2,5}, particulate matter of less than 2.5 µm in diameter; PM₁₀, particulate matter of less than 10 µm in diameter; COPD, chronic obstructive pulmonary disease; FEV₁, forced expiratory volume in 1 s; PEF, peak expiratory flow

Consider pulmonary function as an important indicator of respiratory health, and with the increasing air pollution, the respiratory system is at risk, because the gaseous pollutants and small particles in the air are absorbed through the nose and mouth. In most of the studies, there is a greater concern for two pollutants, NO₂ and PM₁₀, which are derived from sources related to traffic but are also raised in homes with wood or gas stove and

cigarette smoke. Both have been associated with respiratory diseases, as well as to cardiovascular morbidity and mortality (Brunekreef and Holgate [2002](#)).

Cheng et al. ([2006](#)) (ID 6) reported, in the cabins of buses, the air quality is dependent on temperature, relative humidity, and concentrations of air contaminants; these parameters can have a significant effect on the health and welfare of occupants, as well as the temperature and humidity, and have a direct impact on the comfort. The low air humidity has effects such as fatigue, headache, itchy skin and eyes, nose bleeding, as well as impaired lung function. Indoor air contaminants during transport include PM, CO₂, and NO₂. Fine particles are responsible for many respiratory syndromes, and the ultra slim nanoparticles pose more threats to the occupants inside because they can penetrate deeply into the respiratory system. The engine exhaust nanoparticles can move from the lungs to the brain, consequently, causing blood clotting and inflammatory effects (The Royal Society [2003](#); Dreher [2004](#)).

NO₂ is one of the main emissions of vehicles and roads; the concentration is very high, reaching 212 ppb (101,429 µg/m³) (Riediker et al. [2003](#)). This may result in driver fatigue, lack of concentration, and loss of cognitive ability, reducing the ability of the individual to operate the vehicle safely and generating a connection between air quality and transportation risks.

Lipfert and Wyzga ([2008](#)) (ID 16) refer, in your research, which, traditionally, the CO and NO₂ are considered routinely more pollutants monitored by being identified with the vehicular traffic, the largest emission source. They still reported that many studies indicate an association between exposure to vehicular traffic and various health complications, such as premature mortality, cardiac symptoms, lung cancer, hypertension, impaired respiratory health, decreased lung function, a prevalence of asthma, respiratory symptoms, stress, and, consequently, an increase in the number of hospitalizations.

Gauderman et al. ([2000](#)) (ID 11), in a cohort of 3035 schoolchildren, for 4 years, concluded that exposure to air pollution could lead to the reduction of maximum lung

function, which occurs at the beginning of adulthood and prevails to the increased risk of chronic respiratory diseases.

Negrisoni and Nascimento ([2013](#)) (ID 20) developed a study on the relationship between pollutants and hospitalizations for pneumonia in childhood. These authors found strong correlations between pollutants (except for the ozone) and hospitalizations. They have identified an acute effect of nitrogen dioxide in hospitalizations for pneumonia and concluded that the effect of the particulate matter presents itself later, 4 days after exposure.

Gavinier and Nascimento ([2014](#)) (ID 12), in Brazil, estimated the association between pollution and hospitalizations for cerebrovascular accident (CVA) in individuals 50 years of age or older. In the study they have done, it was possible to identify an association between NO₂ and hospitalizations per CVA ; these authors also noted that the increase of 10 µg m⁻³ of NO₂ represented an increase of four percentage points in the risk of hospitalization.

In Asia, the group of Zhang et al. ([2016](#)) (ID 28) conducted a systematic review of the literature, in December 2014, focusing on the search for diseases, pollutants, types of hospitalization, and age groups of subjects. These researchers report that the association between exposure to air pollution in the short term and morbidity due to chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and asthma has been observed in several studies. By 26 works consulted, they concluded that the increase in the period of the person's exposure to air pollution results in greater risk for developing COPD and asthma in the population, especially in the elderly and children. These, for your time, tend to be more susceptible to the effects of air pollution on asthma morbidity cases.

In another research, Chiu et al. ([2015](#)) (ID 7) suggest the increased frequency of ventilation of bus cabins as a beneficial procedure to maintain the security of travel, with the best quality for occupants. Bus cabins are specifically built for volatile organic compounds (VOCs), which can be issued from the cabin furnishings, due to increase in temperature by exposure to sunlight, being hazardous to the health of drivers who

normally spend prolonged periods inside the bus. Thus, the authors claim that the increased temperature accelerates the spread of volatile organic compounds.

The group of Underhill et al. ([2015](#)) (ID 25), in their study, describes air pollution, including fine particles (PM_{2.5}) and black carbon (BC) NO₂. According to research, she is very well known by your impact as a cause of pulmonary heart diseases and has been a source of concern in developing countries. They infer that vehicle traffic may be related to poor air quality, due to the rapid expansion of metropolitan areas and concomitant with the peaks of traffic and the use of pollution-generating fuels. Understand that the burden of traffic-related exposure may be greater in underdeveloped areas, due to the scarcity of actions in the regulation of pollution and air quality control, as well as limitations in the availability of healthcare of the population.

The increase in the external concentration NO₂, due to the burning of fuel and the high traffic intensity, smoking, poor natural ventilation, and heaters with pollutant emissions, is associated with high concentrations of NO₂ inside. Seasonal variation and wind were also displayed to being related to the variation in levels inside. In a cohort study, with about of 2,500,000 of Canadians, during 16 years of follow-up, Crouse et al. ([2015](#)) (ID 9) investigated the association between mortality due to environmental concentrations of PM_{2.5}, O₃, and NO₂. These three pollutants were positively associated with deaths from accidental causes, cardiometabolic care diseases, diabetes, ischemic heart disease, lung cancer, respiratory diseases, and chronic obstructive pulmonary disease. They found strong associations between NO₂ and mortality from lung cancer and respiratory diseases, which corroborate the results of another case-control study (Hystad et al. [2013](#)). Burr et al. ([2004](#)) (ID 4) show that, in recent decades, there has been a growing concern about possible adverse effects of the emission of pollution from vehicles with internal combustion engines, in particular, diesel engines. One of the problems generated, it is believed that this type of air pollution can cause or aggravate asthma and other respiratory disorders. There are several epidemiological pieces of evidence about the relationship between air pollution and respiratory diseases. Several studies have suggested that

respiratory disease (primarily asthma) or decreased lung function are associated near roads with high traffic of vehicles or exposure to pollutants derived from vehicle engines. Wang et al. ([2011](#)) (ID 27) did a study that assessed the public transport, and in the case of buses, they discovered that these expand the pollutant emissions beyond what is normally observed in taxis and private cars and that, moreover, such concentrations increase sharply when the engine is accelerated. Few studies have monitored the number of particles in real time, and a number, also, of very limited studies focus on the evaluation of NO₂ and CO in the underground transport in stations with a mechanical ventilation system.

In the study conducted by Lewné et al. ([2006](#)) (ID 15), 121 were drivers. Of these, 39 were drivers, 42 bus drivers, and 40 truck drivers. The group reports the occurrence of individual measurements at 2, using passive samplers during a day's work. Truck drivers had greater exposure NO₂ (68 µg/m³), bus drivers had an exhibition considered average (60 µg/m³), and taxi drivers showed a smaller exhibition (48 µg/m³). Levels of NO₂ were greater for bus drivers in the city than in the suburbs. And using diesel or gasoline as a fuel for taxis has not been verified as an influence on exposure to motorists, which indicates that the exposure of taxi drivers depends on the engine exhaust and surrounding traffic.

Molle et al. ([2013](#)) (ID 18) evaluated for 10 days in 2010, in the city of Paris, 20 articulated buses that were in 32 different routes to determine the concentration of pollutants. This parameter is still little known to the articulated buses but must be considered, because the greater length of the bus can cause an increase in the concentration of pollutants in the cabin. The researchers checked the concentrations of PM_{2.5} and NO₂ and measured the concentrations of these pollutants in three positions on the bus (in front, middle, and rear), to assess the spatial distribution of such compounds. Internal measurements were compared on the same days, with measurements of concentrations of pollutants outdoors provided by air monitoring network of the city of Paris. The product obtained was compared with that of an air monitoring campaign in

2008, and the results found in 2010 showed that the concentrations of NO₂, inside the bus, were 1.5 to 3.5 times higher than the concentration levels outside.

Other research shows studies with various measurements inside the bus to represent the spatial distribution of pollutants (Solomon et al. [2001](#); Fitz et al. [2003](#)). Behrentz et al. ([2005](#)), for example, found that the concentrations of pollutants in the interior of the buses are higher compared to the outside air.

Rim et al. ([2008](#)) published a study that examined the quality of the air in Texas school buses. In this case, the concentrations of nitrogen oxides (NO_x) were 1.3 and 10 times greater than the concentration on the road. In all studies, the fuel used was the diesel.

Liu et al. ([2010](#)) (ID 17), comparing situations where the windows were closed with others in which they remained partially open, report that the concentrations of pollutants were greater in the first case: with the windows closed. These elevated levels of pollutants inside the bus can be a result of “auto pollution,” represented by the air inside the cabin, from the engine of the bus.

Mölter et al. ([2013](#)) (ID 19) sought to study the long-term effects of exposure to particles with aerodynamic diameter $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM₁₀) and NO₂ on the specific airway resistance and forced expiratory volume in 1 s (FEV₁) before and after the use of a bronchodilator. Spirometry was carried out in children ages 3, 5, 8, and 11 years old, and they concluded that exposure to PM₁₀ and NO₂, throughout life, binds to the decrease of FEV₁ in relation to the percentage foreseen, both before and after the use of a bronchodilator. Also, these findings led him to think that in the long term, prolonged exposures to particles of PM₁₀ and NO₂ may be associated with a reduction in lung volume in children of school age.

Vuković et al. ([2016](#)) (ID 26) reported that the transport sector represents the main source of air pollution in urban areas, including PM and NO₂, combined with other toxic elements. These ingredients are often found in higher concentrations in areas close to urban environments, such as main entries, crossroads, and bus stations. The increase in air pollutants beyond the limit values has been associated with many dangerous health effects, mainly respiratory and cardiovascular.

On New Zealand, an evaluation study was carried out of public transport on the impact on environmental health, using a fast procedure. The incidence of diseases and injuries was analyzed from the number of traffic accidents, air pollution, noise, and physical activity. In total, road transport was responsible for 650 deaths in 2012 (2.1% annual mortality in the country): 308 due to traffic accidents, 283 caused by air pollution, and 59 due to noise. Along with morbidity, these numbers represent a total of 26,610 diseases lives. In general, the impacts of traffic-related air pollution and noise are low compared with those recorded in other developed countries. Traffic emissions are the main source of the NO₂ in New Zealand (Briggs et al. [2016](#)) (ID 2).

In Corfa et al.'s study ([2004](#)) (ID 8), scouting was carried out of the reach of air pollution near the bus and railway stations. Early in the morning, they observed the intense routine of many buses and trains, noting that the critical situation is determined, mostly due to the combination of three factors: cold engines, simultaneous output of many buses and trains, and weather stable. They also compared the use of diesel engine with CNG fuel, concluding that this last, with a minor emission of pollutants, is more favorable to health. In against the exposure to air pollution and the risk of respiratory diseases, Cakmak et al. ([2016](#)) (ID 5), highlighting the social issues and environmental differences found in many large cities, suggest that low-income families, with lower level of education, have a higher risk of respiratory diseases and decreased lung function, seen more closeness and contact with air pollution.

In a crossover study, Huang et al. ([2016](#)) (ID 13) researched the situation of 40 young adults in a bus terminal, considering that this is where usually there is an increase in emissions of pollutants and personal exposure to PM_{2.5}, NO₂, black carbon (BC), and carbon monoxide (CO). Each participant underwent 2 h of exposure in a bus terminal and, on another occasion, in a park. FEV₁ occurred and flowed peak expiratory (PEF) before, during, and after. The values of FEV₁ and PEF had significant reductions when evaluated in the bus terminal, as compared to the time they were checked at the park. There was no acute reduction in lung function, determined in healthy individuals who stayed for 2 h in the bus terminal, where vehicles are diesel-powered. For instance, per 10 µg/m³

increment in PM_{2.5} was associated with -0.15 % (95 % CI -0.28, -0.02 %) reduction in FEV₁ during exposure 2 h.

Conclusion

With this research, one can realize that, among the studies that have been developed, there are a variety of diseases studied, noting that the effects of air pollution not only affect the respiratory and circulatory system of the population exposed, but they can be causes of risk for other problems, such as low birth weight, cancer incidence and mortality from this disease, premature births, and heart disease. All studies included in this review suggest that there is an association of air pollution with health problems of populations examined, but the majority of the researches focus on children under 5 years old and adults over 60 years old. There are few surveys of individuals aged between 18 and 60 years old.

It was found, through this review, that despite technological advances, the current pollution levels continue to be very harmful to health, becoming necessary to conduct more studies that show the relationship between air pollution and its effects on human health to ensure improved quality of information to be used by the managers of companies that absorb workers exposed to situations such as those described. It also stresses the importance of studies addressing the effects of the interaction of people in the environment, as these extend the possibility of adopting preventive measures capable of reducing environmental degradation and, consequently, the adverse effects to people's health.

Cross-References

[A New Method to Estimate the Instantaneous NO_x Emissions from Road Traffic](#)

[Air Pollution](#)

[Integrated Evaluation of Quantitative Factors Related to the Environmental Quality Scenario](#)

Acknowledgments

This work was financed by Portuguese National Funds through FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia (Portuguese Foundation for Science and Technology) as part of the Project UID/Multi/04546/2013.

References

- Arbex MA, Santos UDPS, Martins LC, Saldiva PHN, Pereira LAA, Braga ALF (2012) A poluição do ar e o sistema respiratório. *J Bras Pneumol* 38:643–655
- Atkinson R (2013) HRAPIE project recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen
- Battiston M, Cruz RM, Hoffmann MH (2006) Condições de trabalho e saúde de motoristas de transporte coletivo urbano. *Estud Psicol* 11:333–343
- Behrentz E, Sabin LD, Winer AM, Fitz DR, Pankratz DV, Colome SD, Fruin SA (2005) Relative importance of school bus-related microenvironments to children's pollutant exposure. *Air Waste Manage Assoc* 55:1418–1430
- Braga A, Bohm GM, Pereira LAA, Saldiva P (2001) Poluição atmosférica e saúde humana. *Rev USP* 51:58–71
- Briggs D, Mason K, Borman B (2016) Rapid assessment of environmental health impacts for policy support: the example of road transport in New Zealand. *Int J Environ Res Public Health* 13:61
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, Holguin F, Hong Y, Luepker RV, Mittleman MA, Peters A, Siscovick D, Smith SC Jr, Whitsel L, Kaufman JD (2010) Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 121:2331–2378
- Brunekreef B, Holgate ST (2002) Air pollution and health. *Lancet* 360:1233–1242
- Burr M, Karani G, Davies B, Holmes B, Williams K (2004) Effects on respiratory health of a reduction in air pollution from vehicle exhaust emissions. *Occup Environ Med* 61:212–218

- Cakmak S, Hebbern C, Cakmak JD, Vanos J (2016) The modifying effect of socioeconomic status on the relationship between traffic, air pollution and respiratory health in elementary schoolchildren. *J Environ Manag* 177:1–8
- Cardoso JP, Oliveira MND (2011) Tendência temporal das doenças respiratórias no município de Salvador. *RBPS* 24:31–39
- Cheng X, Tan Z, Tay R, Yuan W (2006) Air quality in transportation cabins – part I: how much do we know about it? *ASHRAE Trans* 112:2
- Chiu CF, Chen M-H, Chang FH (2015) Carbon dioxide concentrations and temperatures within tour buses under real-time traffic conditions. *PLoS One* 10:1–12
- Corfa E, Maury F, Segers P, Fresneau A, Albergel A (2004) Short-range evaluation of air pollution near bus and railway stations. *Sci Total Environ* 334:223–230
- Cortes PL, Carneiro AJS (2014) Comparação entre Crescimento da frota de veículos automotores movidos a gasolina na cidade de São Paulo e níveis de emissões de poluentes. *ENGEMA*
- Crouse DL, Peters PA, Hystad P, Brook JR, Van Donkelaar A, Martin RV, Villeneuve PJ, Jerrett M, Goldberg MS, Pope CA, Brauer M, Brook RD, Robichaud A, Menard R, Burnett RT (2015) Ambient PM_{2.5}, O₃, and NO₂ exposures and associations with mortality over 16 years of follow-up in the Canadian census health and environment cohort (CanCHEC). *Environ Health Perspect* 123:1180–1186
- Daigle CC, Chalupa DC, Gibb FR, Morrow PE, Oberdörster G, Utell MJ, Frampton MW (2003) Ultrafine particle deposition in humans during rest and exercise. *Inhal Toxicol* 15:539–552
- Dreher KL (2004) Health and environmental impact of nanotechnology: toxicological assessment of manufactured nanoparticles. *Toxicol Sci* 77:3–5
- European Environment Agency (2013) The contribution of the transport sector to total emissions of the main air pollutants in 2009 (EEA-32). Retrieved 6 July 2016 from <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/thecontribution-of-thetransport>
- Fisher G, Kjellstrom T, Kingham S, Hales S, Shrestha R (2007) Health and air pollution in New Zealand main report. Health Research Council of New Zealand, Auckland

- Fitz D, Winer AM, Colome S, Behrentz E, Sabin LD, Lee SJ, Wong K, Kozawa K (2003) Characterizing the range of children's pollutant exposure during school bus commutes. Final report. California Air Resources Board, Research Division, Sacramento
- Freitas C, Bremner SA, Gouveia N (2004) Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. *Rev Saúde Pública* 38:751–757
- Gauderman WJ, Gilliland F, Vora H, Avol E, Stram D, McConnell R, London S, Thomas D, Berhane K, Rappaport EB, Lurmann F, Margolis HG (2000) Association between air pollution and lung function growth in Southern California children. *Am J Respir Crit Care Med* 162:1383–1390
- Gavinier S, Nascimento CFL (2014) Poluentes atmosféricos e internações por acidente vascular encefálico. *Ambiente Água Interdiscip J Appl Sci* 9:3
- Girardi G (2014) Poluição do ar em São Paulo é duas vezes superior aos níveis aceitáveis pela OMS. Available in: <http://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,poluicao-do-ar-em-sp-e-duas-vezes-superior-aos-niveis-aceitaveis-pela-oms,1163484>
- Hamra GB, Laden F, Cohen AJ, Raaschou-Nielsen O, Brauer M, Loomis D (2015) Lung Cancer and exposure to nitrogen dioxide and traffic: a systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect* 123:1107–1112
- Hesterberg TW, Bunn WB, McClellan RO, Hamade AK, Long CM, Valberg PA (2009) Critical review of the human data on short-term nitrogen dioxide (NO₂) exposures: evidence for NO₂ no-effect levels. *Crit Rev Toxicol* 39:743–781
- Huang J, Deng F, Wu S, Zhao Y, Shima M, Guo B, Liu Q, Guo X (2016) Acute effects on pulmonary function in young healthy adults exposed to traffic-related air pollution in semi-closed transport hub in Beijing. *Environ Health Prev Med* 21:312–320
- Hulley SB, Cummings SR, Browner WS, Grady D, Hearst N, Newman TB (2003) *Delineando a pesquisa científica: uma abordagem epidemiológica*. Artmed, Porto Alegre
- Hystad P, Demers PA, Johnson KC, Carpiano RM, Brauer M (2013) Long-term residential exposure to air pollution and lung cancer risk. *Epidemiology* 24:762–772
- IBGE (2016) Available in: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=430510&search=rio-grande-do-sulcaxias-do-sul>

- Künzli N, Perez L, Rapp R (2010) Air quality and health. European Respiratory Society, Lausanne
- Kuriyama GS, Moreira JC, Silva CRS (1997) Exposição ocupacional do dióxido de nitrogênio (NO₂) em policiais de trânsito na cidade do Rio de Janeiro. *Cad Saude Publica* 13:677–683
- Larsson BM, Grunewald J, Sköld CM, Lundin A, Sandstrom T, Eklund A, Svartengren M (2010) Limited airway effects in mild asthmatics after exposure to air pollution in a road tunnel. *Respir Med* 104:1912–1918
- Lee YL, Wang WH, Lu CW, Lin YH, Hwang BF (2011) Effects of ambient air pollution on pulmonary function among schoolchildren. *Int J Hyg Environ Health* 214:369–375
- Lewné M, Nise G, Lind ML, Gustavsson P (2006) Exposure to particles and nitrogen dioxide among taxi, bus and lorry drivers. *Int Arch Occup Environ Health* 79:220–226
- Linde K, Willich SN (2003) How objective are systematic reviews? Differences between reviews on complementary medicine. *J R Soc Med* 96:17–22
- Lipfert FW, Wyzga RE (2008) On exposure and response relationships for health effects associated with exposure to vehicular traffic. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 18:588–599
- Liu LJS, Phuleria HC, Webber W, Davey M, Lawson DR, Ireson RG, Zielinska B, Ondov JM, Weaver CS, Lapin CA, Easter M, Hesterberg TW, Larson T (2010) Quantification of self pollution from two diesel school buses using three independent methods. *Atmos Environ* 44:3422–3431
- Loureiro LN (2005) Panorâmica sobre emissões atmosféricas estudo de caso: avaliação do inventário emissões atmosféricas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro para fontes móveis. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Federal do Rio de Janeiro
- Molle R, Mazoué S, Géhin É, Ionescu A (2013) Indoor-outdoor relationships of airborne particles and nitrogen dioxide inside Parisian buses. *Atmos Environ* 69:240–248
- Möller A, Agius RM, Vocht F, Lindley S, Gerrard W, Lowe L, Belgrave D, Custovic A, Simpson A (2013) Long-term exposure to PM₁₀ and NO₂ in association with lung volume and airway resistance in the MAAS birth cohort. *Environ Health Perspect* 121:1232–1238

- Mullan RJ, Murth LI (1995) Eventos Centinela en Salud Ocupacional. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud, México
- Negrisoni J, Nascimento CFL (2013) Poluentes atmosféricos e internações por pneumonia em crianças. *Rev Paul Pediatr* 31:501–506
- Novaes P, Saldiva PH, Matsuda M, Macchione M, Rangel MP, Kara-Jose N, Berra A (2007) Ambient levels of air pollution induce goblet-cell hyperplasia in human conjunctival epithelium. *Environ Res* 115:1753–1756
- Novaes P, Saldiva PH, Matsuda M, Macchione M, Rangel MP, Kara-Jose N, Berra A (2010) The effects of chronic exposure to traffic derived air pollution on the ocular surface. *Environ Res* 110:372–374
- Organização Mundial da Saúde (2008) Vigilância global, prevenção e controle das doenças respiratórias crônicas: uma abordagem integradora. WHO, Lisboa
- Riediker M, Williams R, Devlin R, Griggs T, Bromberg P (2003) Exposure to particulate matter, volatile organic compounds, and other air pollutants inside patrol cars. *Environ Sci Technol* 37:2084–2093
- Rim D, Siegel J, Spinhrne J, Webb A, McDonald-Buller E (2008) Characteristics of cabin air quality in school buses in Central Texas. *Atmos Environ* 42:6453–6464
- Roseiro MNV, Takayanagui AMM (2006) Morbidade por problemas respiratórios em Ribeirão Preto (SP) de 1995 a 2001, segundo indicadores ambientais, sociais e econômicos. *Rev Paul Pediatr* 24:163–170
- Ryley EA (2016) Correlations between short-term mobile monitoring and long-term passive sampler measurements of traffic-related air pollution. *Atmos Environ* 132:229–239
- Samet JM (1991) Nitrogen dioxide. In: *Indoor air pollution: a health perspective*. The John Hopkins Press, Maryland, pp 170–186
- Simoni M, Carrozzi L, Baldacci S, Scognamiglio A, Di Pede F, Sapigni T, Viegi G (2002) The Po river delta (North Italy) epidemiological study: effect of pollutant exposure on

acute respiratory symptoms and respiratory function in adults. *Arch Environ Health* 57:130–136

Solomon G, Campbell TR, Feuer GR, Masters J, Samkian A, Paul KA (2001) No breathing in the aisles: diesel exhaust inside school buses. Natural Resources Defense Council and Coalition for Clean Air, New York

Sullivan R, Pryor S (2014) Quantifying spatiotemporal variability of fine particles in an urban environment using combined fixed and mobile measurements. *Atmos Environ* 89:664–671

Tan Z, Zhang Y (2003) An overview of particulate matters in indoor environments: sources and effects. *ASHRAE Trans* 109:89–100

The Royal Society (2003) Report of the health and the environment workshop 8. Available in: <https://royalsociety.org/>

Underhill LJ, Bose S, Williams DAL, Romero KM, Malpartida G, Breyse PN, Klasen EM, Combe JM, Checkley W, Hansel NN (2015) Association of roadway proximity with indoor air pollution in a Peri-urban community in Lima, Peru. *Int J Environ Res Public Health* 12:13466–13481

Vuković G, Aničić UM, Škrivanj S, Milićević T, Dimitrijević D, Tomašević M, Popović A (2016) Moss bag biomonitoring of airborne toxic element decrease on a small scale: a street study in Belgrade, Serbia. *Sci Total Environ* 542:394–403

Wang L, Morawska L, Jayaratne ER, Mengersen K, Heuff D (2011) Characteristics of airborne particles and the factors affecting them at bus stations. *Atmos Environ* 45:611–620

World Health Organization (2002) The health effects of indoor air pollution exposure in developing countries. WHO, Geneva



Wu S (2014) Association of cardiopulmonary health effects with source-appointed ambient fine particulate in Beijing, China: a combined analysis from the healthy volunteer natural relocation (HVNR) study. *Environ Sci Technol* 48:3438–3448

Yang G, Wang Y, Zeng Y, Gao GF, Liang X, Zhou M, Wan X, Yu S, Jiang Y, Naghavi M, Vos T, Wang H, Lopez AD, Murray CJL (2013) Rapid health transition in China,

1990–2010: findings from the global burden of disease study 2010. *Lancet* 381:1987–2015

Zhang S, Li G, Tian L, Guo Q, Pan X (2016) Short-term exposure to air pollution and morbidity of COPD and asthma in east Asian area: a systematic review and meta-analysis. *Environ Res* 148:15–23

Apêndice D. Apresentação no Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG, publicado nos Anais

	<p>VI Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG IV Salão de Extensão</p> <p>http://ojs.fsg.br/index.php/pesquisaextensao ISSN 2318-8014</p>	
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE PULMONAR DE MOTORISTAS DE ÔNIBUS		
Francieli Dalegrave^a, Sandra Magali Heberle^{a*}, Nelson Barros^b, Michele S. Gomes Rosa^c		
a) FSG – Centro Universitário b) FP-ENAS, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal. c) PUCRS, Porto Alegre, RS, Brasil.		
*Autor correspondente (Orientador) Sandra Magali Heberle: Rua Os Dezoito do Forte, 2366 - Caxias do Sul - RS - CEP: 95020-472		Palavras-chave: poluição atmosférica, doenças respiratórias, transporte público.

INTRODUÇÃO/FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:A poluição do ar é, atualmente, uma das maiores preocupações ambientais à escala mundial, causando preocupação com o futuro da vida no planeta [AMARAL et al., 2003; ARBEX et al, 2012; MATOS et al., 2013; LOUREIRO, 2005]. No Brasil, os combustíveis mais utilizados em transporte são a gasolina para automóveis (veículos mais leves) e o diesel para ônibus e caminhões[EKPENYONG et al., 2012; MOLLE R et al., 2013; DAPPER et al., 2016; AMÂNCIO E NASCIMENTO, 2012]. Porém, Amâncio e Nascimento afirmam que, mesmo com os níveis da poluição controlados, os poluentes ainda são capazes de gerar efeitos negativos sobre a saúde, de modo que a maioria dos poluentes pode afetar a função pulmonar e causar graves danos à saúde [BROOK et al., 2010].Exposições crônicas prolongadas a esses poluentes têm contribuído para aumentar o número de casos de doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), asma, câncer de pulmão e doenças cardiovasculares[CORTES E CARNEIRO, 2014]. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2016), os serviços de emergência e o número de internações e de óbitos são elevados, muitas vezes, pelo aumento dos sintomas dessas doenças[SIMONI et al., 2002; HUANG et al.,2016; UNDERHILL, et al., 2015; VOKOVIC, et al., 2016]. Estudos têm contribuído para a busca da prevenção da poluição[CARDOSO E OLIVEIRA, 2011; CORTES E CARNEIRO, 2014]. Diante das informações, foi avaliado o impacto da poluição no interior dos ônibus na função pulmonar dos seus motoristas. **MATERIAL E**

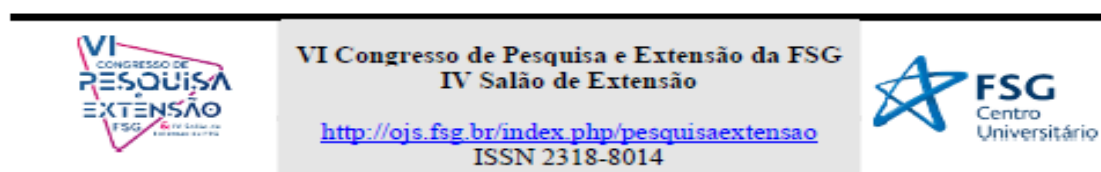
MÉTODOS:Foram incluídos motoristas com idades entre 20 e 60 anos, com mais de um ano na função, de ambos os sexos. Foram excluídos os que possuem alguma doença respiratória e/ou tabagistas. Todos os participantes foram submetidos à avaliação de capacidades pulmonares mediante o exame de espirometria, e também responderam a um questionário sobre qualidade de vida. A avaliação pulmonar foi realizada mediante o uso da espirometria [PEREIRA, 2002]. Os parâmetros analisados através da espirometria foram a Capacidade Vital Forçada (CVF), o Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo (VEF1), pelo índice de Tiffenault (VEF1 /CVF) e o Fluxo Expiratório Forçado nos momentos 25% e 75% (FEF_{25%-75%}). **RESULTADOS E DISCUSSÕES:**Dos 54 participantes, nenhum deles relatou morar com fumantes, e apenas 15 (27,8%) apresentaram alterações na função pulmonar, sendo a Média e o Desvio Padrão (MD±DP) da CVF de 120,70±20,97, VEF₁ de 111,41±24,94, da VEF₁/CVF 93,93±5,76 e da FEF_{25-75%} 100,91±30,10 Como neste estudo a avaliação foi baseada apenas nas respostas obtidas na aplicação do questionário geral clínico e análise da capacidade pulmonar dos participantes, não tendo sido encontradas alterações significativas que pudessem sugerir os riscos a que essa população possa estar exposta durante sua jornada de trabalho. Divergindo das pesquisas, não encontramos achados significativos. Isso se deve a motivos tais como os motoristas terem sido avaliados em uma única vez, não haver critérios comparativos e, também, inexistir controle da concentração de poluentes da cidade. Concluiu-se que nos grandes centros urbanos, estão aumentando as frotas veiculares, que podem afetar significativamente a qualidade do ar, influenciando na capacidade pulmonar dos indivíduos expostos. O objetivo deste trabalho foi encontrar possíveis alterações na capacidade pulmonar dos motoristas que estão diariamente expostos a poluição atmosférica, porém, não foram obtidos resultados estatisticamente significativos, o que pode indiciar problemas no tamanho e homogeneidade da amostra, bem como a ausência de medição de outros indicadores relevantes, como a qualidade do ar na cidade e dentro dos ônibus. A espirometria é importante para verificar a existência de obstrução das vias aéreas podendo detectar precocemente os indivíduos com risco de desenvolver doenças obstrutivas. Sugere-se então, que novos estudos sejam desenvolvidos para comprovar a influência que a poluição atmosférica, de origem veicular, pode gerar sobre a saúde humana, em particular na população mais exposta, como é o caso dos motoristas de ônibus.

REFERÊNCIAS

1. AMARAL, D. M.; PIUBELI, F. A. A poluição atmosférica interferindo na qualidade de vida da sociedade. 2003 nov. 10 -12; São Paulo, Brasil: **Simpósio De Engenharia De Produção – SIMPEP, X**, 2003.
2. AMÂNCIO, C. T.; NASCIMENTO, L. F. C. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. *RevAssocMed Bras.*58(3):302-307. 2012.
3. ARBEX, M. A.; SANTOS, U. P.; MARTINS, L. C.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F. A poluição do ar e o sistema respiratório. *Jornal Brasileiro de Pneumologia.* 38(5): 643-655, 2012.
4. BROOK, R. D.; RAJAGOPALAN, S.; POPE, C. A.; BROOK, J. R.; BHATNAGAR, A.; DIEZROUX, A. V.; HOLGIUM, F.; HONG, Y.; LUEPKER, R. V.; MITTLEMAN, M. A.; PETERS, A.; SISCOVCK, D.; SMITH, S. C. Jr.; WHITSEL, L.; KAUFMAN, J. D. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation.* 121(21):2331-78, 2010.
5. CARDOSO, J. P.; OLIVEIRA, M. N. D. Tendência temporal das doenças respiratórias no município de salvador. *RBPS, Fortaleza.* 2011;24(12):31-39.
6. CORTES, P. L.; CARNEIRO, A. J. S. Comparação entre Crescimento da frota de veículos automotores movidos a gasolina na cidade de São Paulo e níveis de emissões de poluentes. *ENGEMA, São Paulo*, 2014.
7. DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. *Estudos avançados* 30 (86), 2016.
8. EKPENYONG, C. E.; ETTEBONG, E. O.; AKPAN, E. E.; SAMSON, T. K.; DANIEL, N. E.. Urban city transportation mode and respiratory health effect of air pollution: a cross-sectional study among transit and non-transit workers in Nigeria. *BMJ Open*, 2(5). 2012.
9. HUANG, J.; DENG, F.; WU, S.; ZHAO, Y.; SHIMA, M.; GUO, B.; LIU, Q.; GUO, X . Acute effects on pulmonary function in young healthy adults exposed to traffic-related air pollution in semi-closed transport hub in Beijing. *Environ Health Prev Med.* 21(0):1-9. 2016.
10. LOUREIRO, L. N. **Panorâmica sobre emissões atmosféricas estudo de caso: avaliação do inventário emissões atmosféricas da região metropolitana do rio de janeiro para fontes móveis.** Rio De Janeiro: UFRJ, 2005. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
11. MATOS, CE.; ANDRADE, R. D. Toxicologia Ambiental: Aspectos toxicológicos e políticos sobre a poluição do ar.*Revi. Inter. de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade.*6(2):75-89. 2013.

12. MOLLE R.; MAZOUÉ, S.; GÉHIN, É.; IONESCU, A. Indoor-outdoor relationships of airborne particles and nitrogen dioxide inside Parisian buses. *Atmospheric Environment*. 69:240-248. 2013.
13. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Acesso em: 15 nov.2016. Disponível em :<http://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=4609:oms-estima-que-sete-milhoes-mortes-ocorram-ano-devido-contaminacao-atmosferica&catid=845:noticias&Itemid=839>
14. PEREIRA, C. A. C.; JANSEN, J.M.; BARRETO, S. S. M. Espirometria. Diretrizes para testes de função pulmonar. *J Bras Pneumol*. 28(3):1-82. 2002.
15. SIMONI, M.; CARROZZI, L.; BALDACCI, S.; SCOGNAMIGLIO, A.; PEDE, F. D.; SAPIGNI, T.; VIEGI, G. The Po river delta (North Italy) epidemiological study: Effect of pollutant exposure on acute respiratory symptoms and respiratory function in adults. *Arch Environ Health: An International Journal*. 57(2):130-136. 2002.
16. UNDERHILL, L. J. S.; WILLIAMS, D.; ROMERO, K.; MALPARTIDA, G.; BREYSSE, P. N.; KLASSEN, E. M.; COMBE, J. M.; CHECKLEY, W.; HANSEL, N. N. Association of Roadway Proximity with Indoor Air Pollution in a Peri-Urban Community in Lima, Peru. *International journal of environmental research and public health*. 12(10):13466-13481. 2015.
17. VUKOVIĆ, G.; UROŠEVIĆ, M. A.; ŠKRIVANJ, S.; MILIĆEVIĆ, T.; DIMITRIJEVIĆ, D.; TOMAŠEVIĆ, M.; POPOVIĆ, A. Moss bag biomonitoring of airborne toxic element decrease on a small scale: A street study in Belgrade, Serbia. 542:394-403. 2016.

Apêndice E. Apresentação no Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG, publicado nos Anais



EFEITOS DELETÉRIOS DA EXPOSIÇÃO À POLUIÇÃO EM PACIENTES COM DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Huender José Cardoso de Miranda^a, Sandra Magali Heberle^{a*}, Nelson Barros^b

a) FSG Centro Universitário

b) FP-ENAS, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal

*Autor correspondente (Orientador)

Sandra Magali Heberle, endereço: Rua Os Dezoito do Forte, 2366
- Caxias do Sul - RS - CEP: 95020-472

Palavras-chave:

Poluição atmosférica. Sistema Respiratório. Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica.

INTRODUÇÃO/FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: O ar que respiramos é imprescindível para a manutenção da vida e controle da saúde individual e coletiva. Porém, com o advento da industrialização, os níveis de partículas tóxicas no ar cresceram muito, quando relacionado a tempos anteriores devido à queima de combustíveis fósseis (BRAGA et al., 2001). Com isso, observou-se um crescimento nos números de disfunções respiratórias em populações com exposições altas à ozônio (O₃), material particulado (MP), óxidos de nitrogênio (NO₂), Dióxido de Enxofre (SO₂) e Monóxido de Carbono (CO) (RUSSO, 2010. BRAGA et al., 2001. DAPPER et al., 2016), principalmente aquelas com doenças pulmonares pré-existentes, como a Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC)(SCHIKOWISKI et al., 2014). Para isso, a presente revisão tem por finalidade a caracterização da relação do aparecimento ou intensificação da DPOC em locais com alto acúmulo de poluentes, além de evidenciar as pesquisas e resultados encontrados recentemente sobre o tema. **MATERIAL E MÉTODOS:** O presente trabalho consiste em uma revisão de literatura, realizada por um levantamento bibliográfico de bases de dados internacionais e nacionais do intervalo de 2016 à 2018 sobre a atual situação das pesquisas relacionadas aos efeitos deletérios da poluição em pacientes com DPOC. **RESULTADOS E DISCUSSÕES:** Relaciona-se os poluentes com uma série de alterações fisiológicas, como a redução de função

pulmonar, volumes e capacidades pulmonares, e em casos mais frequentes de agudizações e exacerbações da DPOC em várias partes do mundo. Nisso, tem-se desde o número elevado de tráfego de veículos nas grandes cidades até a exposição ocupacional como fatores predizentes à complicações respiratórias (NITSCHKE et al., 2016). Em pacientes com DPOC, evidencia-se uma perda de função pulmonar muito mais acelerada e elevada quando comparado com pessoas saudáveis, devido à fragilidade do sistema respiratório, à hiperinsuflação gasosa e acúmulo de partículas presentes no ar (MANIGRASSO, 2017). Também, observou-se aumento nos casos de exacerbações e hospitalizações de pessoas que moravam em locais próximos das grandes concentrações de pessoas e veículos, além de efeitos cumulativos de pessoas que sempre moraram em locais assim (TAGIYEVA et al., 2017). Além disso, atualmente, estuda-se biomarcadores circulantes que podem prever uma exposição anormal aos poluentes atmosféricos mais comuns, como o MP e o NO₂ (KRASUKOPF et al., 2017). **CONCLUSÃO:** Constata-se que há uma grande relação entre as altas concentrações de poluentes e o aparecimento/consolidação da DPOC, bem como na exacerbação desta, encontrando os poluentes, em quase toda sua essência, como importante agente acumulativo das vias aéreas e redutor da função pulmonar dos pacientes com DPOC.

REFERÊNCIAS

- ALEIXO, N. C. R.; NETO, J. L. S. Subsistema Físico-Químico: análise da poluição do ar e hospitalizações por DPOC. *Revista de Geografia (Recife)* V. 33, No. 4, 2016
- ARBEX, M. A.; SANTOS, U. P.; MARTINS, L. C.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F. A poluição do ar e o sistema respiratório. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. 38(5): 643-655, 2012.
- BARNES, P. J.; SHAPIRO, S. D.; PAUWELS, R. A. Chronic obstructive pulmonary disease: molecular and cellular mechanisms. [s.n.] *EurRespir J.* n. 22, p. 672-688, 2003.
- BRAGA, A.; BÖHM, G. M.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P.; Poluição atmosférica e saúde humana. *Revista USP, São Paulo*, n.51, p. 58-71, 2001.
- BREYSSE, P. N.; DELFINO, R. J.; DOMINICI, F.; ELDER, A. C. P.; FRAMPTON, M. W.; FROINES, J. J. R.; GEYH, A. S.; GODLESKI, J. J.; GOLD, D. R.; HOPKE, P. K.; KOUTRAKIS, P.; LI, N.; OBERDORSTER, G.; PINKERTON, K. E.; SAMET, J. M.; UTELL, M. J.; WEXLER, A. S. 'US EPA particulate matter research centers:

summary of research results for 2005–2011', *Air Quality, Atmosphere, and Health*,(6) 333–355, 2013.

BROOK, R. D.; RAJAGOPALAN, S.; POPE, C. A.; BROOK, J. R.; BHATNAGAR, A.; DIEZROUX, A. V.; HOLGIUM, F.; HONG, Y.; LUEPKER, R. V.; MITTLEMAN, M. A.; PETERS, A.; SISCOVCK, D.; SMITH, S. C. Jr.; WHITSEL, L.; KAUFMAN, J. D. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 121(21):2331-78, 2010.

CASAS HERRERA, A. DE OCA, M. M.; VARELA, M. V.; AGUIRRE, C.; SCHIAVI, E.; JARDIM, J. R. PUMA TEAM. COPD underdiagnosis and misdiagnosis in a high-risk primary care population in four Latin American countries. A key to enhance disease diagnosis: the PUMA study. *PLoS One*.11:e0152266, 2016.

CHATKIN, G.; CHATKIN, J M.; AUED, G.; PETERSEN, G O.; JEREMIAS, E T.; THIESEN, F V. Avaliação da concentração de monóxido de carbono no ar exalado em tabagistas com DPOC. *J. bras. pneumol.* vol.36 no.3, 2010.

CHEN, C.; ZHAO, B.; WESCHLER, Ch. J. 'Assessing the Influence of Indoor Exposure to 'Outdoor Ozone' on the Relationship between Ozone and Short-term Mortality in U.S. Communities' *Environmental Health Perspectives*. (120/2) 235–240, 2012.

CHI, M. C.; GUO, S. E.; HWANG, S. L.; CHOU, C. T.; LIN, C. M.; LIN, Y. C. Exposure to Indoor Particulate Matter Worsens the Symptoms and Acute Exacerbations in Chronic Obstructive Pulmonary Disease Patients of Southwestern Taiwan: A Pilot Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 14, 4, 2017.

COSTA, A. F.; HOEK, G.; BRUNEKREEF, B.; LEONA, A. C. M. P. Effects of NO₂ exposure on daily mortality in São Paulo, Brazil. *Environ. Res.*159:539–544, 2017.

DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. *Estudos avançados* 30 (86), 2016.

DE OCA, M. M.; VARELA, M. V. L.; ACUNA, A.; SCHIAVI, E.; REY, M. A.; JARDIM, J.; CASAS, A.; TOKUMOTO, A.; TORRES DUQUE, C. A.; RAMÍREZ- VENEGAS, A.; GARCÍA, G.; STIRBULOV, R.; CAMELIER, A.; BERGNA, M.; COHEN, M.; GUZMÁN, S.; SÁNCHEZ, E. ALAT-2014 chronicobstructivepulmonarydisease (COPD) clinicalpracticeguidelines: questionsandanswers. *Arch Bronconeumol*.51: 403–416, 2015.

EISNER, M. D.; ANTHONISEN, N.; COULTRAS, D.; KUENZLI, N.; PEREZ-PADILLA, R.; POSTMA, D.; ROMIEU, I.; SILVERMAN, E. K.; BALMES, J. R.; COMMITTEE ON NONSMOKING COPD, ENVIRONMENTAL AND

OCCUPATIONAL HEALTH ASSEMBLY. An official American Thoracic Society public policy statement: novel risk factors and the global burden of chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 182: 693–718, 2010.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. Acesso em 25.06.2018.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016. Acesso em 02.08.2018.

EUROPEAN RESPIRATORY SOCIETY. *European Lung White Book*. Sheffield, 2013. Acesso em 03.06.2018.

GERAVANDI, S.; SICARDI, P.; KHANIABADI, Y. O.; DE MARCO, A.; GHOMEISHI, A.; GOUDARZI, G.; MAHBOUBI, M.; YARI, A. R.; BOBARADARAN, S.; HASSANI, G.; MOHAMMADI, M. J.; SADEGHI, S. A comparative study of hospital admissions for respiratory diseases during normal and dusty days in Iran. *Environ Sci Pollut Res*, 2017.

GOLD. *Global Strategy for the Diagnosis, Management and Prevention of COPD – 2016*. Disponível em <<http://goldcopd.org/global-strategy-diagnosis-management-prevention-copd-2016>>. Acesso em 03.06.2018.

GUYTON, A. C. *Fisiologia humana*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1985.

HANSEN, S. J. *Managing Indoor Air Quality*. Lilburn: Fairmont Press, 1991.

HERRERA, A. C.; DE OCA, M. M.; VARELA, M. V. L.; AGUIRRE, C.; SCHIAVI, E.; JARDIM, J. R.; PUMA TEAM. COPD underdiagnosis and misdiagnosis in a high-risk primary care population in four Latin American countries. A key to enhance disease diagnosis: the PUMA study. *PLoS One*. 11: e0152266, 2016.

HOEKMAN S.K. & ROBBINS C. Review of the effects of biodiesel on NOx emissions. *Fuel Processing Technology*, v. 96, p. 237-249, 2012.

IEMA – INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. *Relatório da qualidade do ar – Grande Vitória 2013*. Disponível em <http://www.meioambiente.es.gov.br/download/Relat%C3%B3rio_Anuual_de_Qualidad_e_do_Ar_2013.pdf>. Acesso em 15.05.2018.

II CONSENSO BRASILEIRO SOBRE DOENÇA PULMONAR OBSTRUTIVA CRÔNICA – DPOC – 2004. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. 2004.

KHANIABADI, Y. O.; DARYANOOSH, S. M.; HOPKE, P. K.; FERRANTE, M.; DE MARCO, A.; SICARD, P.; CONTI, G. O.; GOUDARZI, G.; BASIRI, H.; MOHAMMADI, M. J.; KEISHAMSK, F. Acute myocardial infarction and COPD attributed to ambient SO₂ in Iran. *Environmental Research* 156:683–687, 2017.

- KRAUSKOPF, J.; CAIMENT, F.; VELDHOVEN, K. V.; CHADEAU-HYAM, M.; SINHARAY, R.; CHUNG K. F. The human circulating miRNome reflects multiple organ disease risks in association with short-term exposure to traffic-related air pollution. *Environ. Int.* 113:26–34, 2018.
- KURIYAMA, G. S.; MOREIRA, J. C.; SILVA, C. R. S. Nitrogen dioxide (NO₂) occupational exposure assessment on Rio de Janeiro's city traffic wards. *Cad. Saúde Públ.* 13(4):677-683, 1997.
- LAUMBACH, R. J.; KIPEN, H. M. Respiratory health effects of air pollution: update on biomass smoke and traffic pollution. *J Allergy Clin Immunol.* 129:3–11, 2012.
- MACINTYRE, A. J. *Ventilação Industrial e controle da poluição / Archibald Joseph Macintyre.* – 2.ed. – [Reimpr]. – Rio de Janeiro :LTC, 2016.
- MAGZAMEN, S.; ORON, A. P.; LOCKE, E. R.; FAN, V. S. Association of ambient pollution with inhaler use among patients with COPD: a panel study. *Occup Environ Med.* 75(5):382-388, 2018.
- MANIGRASSO, M.; NATALE, C.; VITALI, M.; PROTANO, C.; AVINO, P. Os peões em ambientes de tráfego: Doses respiratório de partículas ultrafinas. - *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 14:88, 2017.
- NI, Y.; Wu, S.; JI, W.; CHEN, Y.; ZHAO, B.; SHI, S.; TUA, S.; LI, W.; PAN, L.; DENG, F.; GUO, X. The exposure metric choices have significant impact on the association between short-term exposure to outdoor particulate matter and changes in lung function: Findings from a panel study in chronic obstructive pulmonary disease patients. *Science of the Total Environment.* 542:264–270, 2016.
- NITSCHKE, M.; APPLETON, S. L.; LI, Q.; TUCKER, G. R.; SOUZA, B.; BI, P.; PISANIELLO, D. L.; ADAMS, R. J. Reduções de função pulmonar associadas com densidade de veículo a motor na doença pulmonar obstrutiva crônica: um estudo de corte transversal. *Respiratory Research.* 17:138, 2016.
- RIBAS, W. F.; BILOTTA, P.; JANISSEK, P. R.; FILHO, M. A. S. C.; NETO, R. A. P. Influência do combustível (diesel e biodiesel) e das características da frota de veículos do transporte coletivo de Curitiba, Paraná, nas emissões de NO_x. *Eng Sanit Ambient.* v.21 n.3:437-445, 2016.
- RODRIGUES, R. R.; MIRAVITLLES, M. Conferencia de consenso sobre enfermedad pulmonary obstructive cronica. *Arch Bronconeumol.* 39, 5-6, 2003.
- RUFINO, R.; COSTA, C H. Etiopatogenia da DPOC. *Pulmão RJ.* 22(2):9-14, 2013.
- RUSSO, P. R. A qualidade do ar no município do Rio de Janeiro : análise espaço-temporal de partículas em suspensão na atmosfera. *Revista de Ciências Humanas,* v.10, n.1, p.78-93, 2010.

- SCHIKOWSKI, T.; MILLS, I.; ANDERSON, H.R.; COHEN, A.; HANSELL, A.; KAUFFMANN, F.; KRAMER, U.; MARCON, A.; PEREZ, L.; SUNYER, J.; PROBST-HENSCH, N.; KUNZLI, N. Ambient air pollution: a cause of COPD? *Eur. Respir. J.* 43, 250–263, 2014.
- SCHIKOWSKI, T.; RANFT, U.; SUGIRI, D.; VIERKOTTER, A.; BRUNING, T.; HARTH, V.; KRAMER, U. Decline in air pollution and change in prevalence in respiratory symptoms and chronic obstructive pulmonary disease in elderly women. *Respir Res.* 11(1):113, 2010.
- SIU, A.L.; DOMINGO, K. B.; GROSSMAN, D. C.; DAVIDSON, K. W.; EPLING, J. W. Jr.; GARCÍA, F. A.; GILLMAN, M.; KEMPER, A. R.; KRIST, A. H.; KURTH, A. E.; LANDEFELD, C. S.; MANGIONE, C. M.; HARPER, D. M.; PHILLIPS, W. R.; PHIPPS, M. G.; PIGNONE, M. P. Screening for chronic obstructive pulmonary disease: US Preventive Services Task Force Recommendation Statement. *JAMA* 315: 1372–1377, 2016.
- SHU, J.; LIU, X.; CHU, X.; QIU, J.; ZENG, X.; BAO, H. Effects of PM2.5 on phagocytic function of alveolar macrophages in chronic obstructive pulmonary disease mice. *Zhonghua Yi XueZaZhi.* 96(4):301-5, 2016.
- TAGIYEVA, N.; SADRHA, S.; MOHAMMED, N.; FIELDING, S.; DEVEREUX, G.; TEOE, E.; AYRES, J.; DOUGLAS, J. G. Occupational airborne exposure in relation to Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) and lung function in individuals without childhood wheezing illness: A 50-year cohort study. *Environmental Research.* 153:126–134, 2017.
- TALAMO, C.; DE OCA, M. M.; HALBERT, R.; PEREZ-PADILLA, R.; JARDIM, Jr.; MUIÑO, A.; LOPEZ, M. V.; VALDIVIA, G.; PERTUZÉ, J.; MORENO, D.; MENEZES, A. M.; PLATINO TEAM. Diagnostic labeling of COPD in five Latin American cities. *Chest.* 131: 60– 67, 2007.
- WEINMANN, S.; VOLLMER, W. M.; BREEN, V.; HEUMANN, M.; HNZIDO, E.; VILLNAVE, J. COPD and occupational exposures: a case–control study. *J Occup Environ Med.* 50:561–569, 2008.
- WHO. Review of evidence on health aspects of air pollution — REVIHAAP. Project Technical report, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2013.

Apêndice F. Publicação nos Anais da XII Mostra Científica do Cesuca



ANAIS DA XII MOSTRA CIENTÍFICA DO CESUCA – NOV. / 2018
ISSN – 2317-5915

Análise de concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂) indoor em ônibus municipais de Caxias do Sul

Sandra Magali Heberle¹
Débora Inês Corso²
Nelson Azevedo Barros³
Michele Gomes da Rosa⁴

Resumo: O dióxido de nitrogênio é um gás agressivo ao trato respiratório e sua presença no ambiente, em altas concentrações, está relacionada a casos de infecções respiratórias; além disso, pode ser transformado nos pulmões em nitrosaminas, sendo algumas destas conhecidas como potencialmente carcinogênicas. Objetivo: Quantificar a concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂) indoor em ônibus municipais, comparando com a concentração encontrada no escritório da empresa. Métodos: Estudo prospectivo, do tipo observacional, transversal, composto por 30 motoristas de ônibus e 29 trabalhadores do setor administrativo de uma empresa de transporte municipal de Caxias do Sul/RS. Todos os indivíduos participantes foram submetidos a uma análise de concentração de dióxido de nitrogênio, onde foram verificados os valores de concentração encontrados durante a jornada de trabalho, utilizando-se o método de difusão passiva, por meio de amostradores passivos. Resultados: Participaram 59 indivíduos, 30 motoristas (50,8%) e administrativo 29 (49,2%), com média de idades no grupo administrativo de 33,25 (+/- 9,876), e nos motoristas, de 46,07 (+/-8,3). Conclusões: Foi encontrado maior concentração de NO₂ no ar inalado pelos motoristas (p<0,001). De acordo com várias pesquisas, o dióxido de nitrogênio (NO₂) tem relação direta com doenças respiratórias, por isso, o interesse no tema. Sugere-se que novos estudos sejam desenvolvidos para comprovar a influência que os poluentes atmosféricos de origem automotivas, possam gerar doenças respiratórias e carcinogêneas.

Palavras-chave: Motoristas de ônibus; Dióxido de nitrogênio; Ar interior.

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica está relacionada com o tráfego, e pode atingir níveis elevados devido à dificuldade de difusão e ao aumento das emissões nos centros de transporte,

¹ Membro do FP-ENAS, Universidade Fernando Pessoa, Porto (Portugal). Docente do curso de Fisioterapia do Centro Universitário da Serra Gaúcha e Cesuca- Faculdade Inedi. E-mail: sandra.heberle@cesuca.edu.br.

² Fisioterapeuta, Centro Universitário da Serra Gaúcha. E-mail: debicorso86@gmail.com.

³ PhD - membro do FP-ENAS, Universidade Fernando Pessoa, Porto (Portugal). E-mail: nelson@ufp.edu.pt.

⁴ Centro Cardiovascular - CCUL: Universidade de Lisboa, Portugal. E-mail: milkasg@gmail.com.

principalmente em grandes cidades. No entanto, a exposição neste ambiente de tráfego fechado provoca mudanças agudas na função pulmonar dos indivíduos que estão expostos (HUANG et al., 2016).

O dióxido de nitrogênio (NO_2) é emitido diretamente para a atmosfera por fontes antrópicas, tais como escapamentos de veículos, plantas geradoras de energia térmica, indústrias de fertilizantes, agricultura, embora a oxidação do óxido nítrico (NO) constitua a principal fonte geradora desse gás na atmosfera. Pode também ser gerado naturalmente, por relâmpagos (CAMPOS et al., 2006).

O NO_2 é um gás agressivo ao trato respiratório e sua presença no ambiente está relacionada a casos de infecções respiratórias; além disso, pode ser transformado nos pulmões em nitrosaminas, sendo algumas destas conhecidas como potencialmente carcinogênica. Este gás pode participar na atmosfera de uma série de reações fotoquímicas, por ex., na formação de “smog” fotoquímico, que reduz a visibilidade. Pode também reagir com a umidade do ar formando ácido nítrico, contribuindo assim para a formação de chuva ácida. Indiretamente, o NO_2 contribui para o aquecimento global por participar de complexas reações com compostos orgânicos voláteis, levando à formação de ozônio troposférico (CAMPOS et al., 2006).

As principais fontes de óxidos de nitrogênio (NO_x) são os motores dos automóveis. As usinas termoeletricas e indústrias que utilizam combustíveis fósseis contribuem em menor escala. Durante a combustão sob elevadas temperaturas, o oxigênio reage com o nitrogênio formando óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2) e outros óxidos de nitrogênio (NO_x). Estes compostos são extremamente reativos e na presença de oxigênio (O_2), ozônio (O_3) e hidrocarbonetos (HC), o NO se transforma em NO_2 . Por sua vez, NO_2 na presença de luz (no caso o sol) reage com hidrocarbonetos e oxigênio formando ozônio (O_3) considerado um poluente secundário cujo NO_x são os seus principais precursores (FIGUEIREDO et al., 2013).

O dióxido de nitrogênio é composto por 90% de monóxido de nitrogênio (NO) e 10% de dióxido de nitrogênio (NO_2). O NO é uma substância incolor, inodora e insípida. Ainda não se comprovou que o NO constitua perigo à saúde nas concentrações em que é encontrado nas cidades. Porém, em dias de radiação intensa, o NO é oxidado, transformando-se em NO_2 (FIGUEIREDO et al., 2013).

Apresenta alta toxicidade, sua cor é marrom-avermelhada, possui cheiro e gosto desagradáveis e é muito irritante aos olhos e a pele, e reage com a água presente no ar, formando um dos principais componentes da chuva ácida: o ácido nítrico (HNO_3). Nas reações atmosféricas secundárias, o NO_2 associado ao HC , é também responsável pelo surgimento do smog fotoquímico (FIGUEIREDO et al., 2013).

Os dióxidos de nitrogênio são importantes contaminantes ambientais que podem causar graves danos à saúde do homem e à natureza em geral. Estes óxidos podem ser decompostos cataliticamente utilizando catalisadores de três vias para motores de gasolina convencionais e mediante o processo de redução catalítica seletiva, no caso dos motores à diesel e à combustão em caldeiras e fornos (CÔNSUL et al., 2003).

E no caso da determinação da qualidade do ar em ambiente de trabalho ao longo do dia ou da necessidade de mapear uma cidade em busca da região onde a concentração de um determinado poluente é maior, os amostradores passivos têm sido utilizados com vantagens com relação às técnicas ativas. O uso destes amostradores em ambientes fechados, na maioria das vezes passa despercebido aos usuários já que eles possuem dimensões pequenas e não emitem ruído, portanto, não interferem nas atividades diárias (MELCHERT et al., 2006).

A poluição do ar causa uma resposta inflamatória no aparelho respiratório induzida pela ação de substâncias oxidantes, as quais acarretam aumento da produção, da acidez, da viscosidade e da consistência do muco produzido pelas vias aéreas, levando, conseqüentemente, à diminuição da resposta e/ou eficácia do sistema mucociliar (CANÇADO et al., 2006).

Há pouco mais de uma década, inúmeros estudos epidemiológicos têm demonstrado existir uma consistente associação entre a poluição do ar atmosférico e o aumento do risco para eventos cardiovasculares, não somente morte por causa cardiovascular, mas também a ocorrência de infarto agudo do miocárdio e de arritmias. Entretanto, alguns efeitos decorrentes da exposição aos diferentes poluentes atmosféricos têm sido evidenciados, e os mais significativos envolvem resposta inflamatória pulmonar, sistêmica e alteração da coagulabilidade sanguínea (SILVA et al., 2014).

Sabe-se que os motoristas estão expostos a quantidades significativas de poluentes atmosféricos prejudiciais para a saúde no seu trabalho. Os combustíveis têm propriedades cancerígenas e as emissões de gases de escape da frota total de veículos contêm poluentes, todos os quais podem danificar o sistema respiratório e estão associados com asma, bronquite e uma série de outros problemas de saúde.

Estudos têm investigado cada vez mais os malefícios que a emissão de toxinas no ar está contribuindo com o aumento de doenças respiratórias. A partir disso, busca-se analisar a concentração de dióxido de nitrogênio indoor nos ônibus municipais. Contudo, este estudo busca pesquisar a existência de achados relevantes sobre os riscos que uma determinada população possa estar exposta.

2 METODOLOGIA

Estudo prospectivo, do tipo observacional, transversal, com população composta por 30 motoristas de ônibus e 29 trabalhadores do setor administrativo de uma empresa de transporte municipal de Caxias do Sul/RS, com idade entre 20 e 60 anos, de ambos os sexos e que exercem esta função a mais de um ano. Para a escolha dos indivíduos foram analisados os critérios de inclusão e de exclusão, e em seguida eles foram contatados para receberem os devidos esclarecimentos sobre os objetivos e procedimentos a serem utilizados. Foi solicitado a todos os motoristas e setor administrativo convidados que estivessem de acordo, que assinassem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Este projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da FSG (CEP-FSG) com número de aprovação 1.489.252 e foi aprovado.

Foram feitos os registros das medidas da concentração de NO₂ durante a jornada de trabalho, utilizando-se o método de difusão passiva, por meio de amostradores passivos, que os indivíduos utilizaram junto ao corpo durante todo o período da jornada de trabalho, por 3 semanas, registrando as datas e os horários de início e término de suas jornadas de trabalho dentro do ônibus, e após as três semanas de coleta, esses difusores foram enviados para a análise laboratorial, identificando-se assim, os níveis de concentração de dióxido de nitrogênio a que essas pessoas estão submetidas durante a jornada de trabalho. Os amostradores são fabricados pela empresa Passam, localizada em Mannedorf, na Suíça.

3 RESULTADOS

Participaram do estudo 59 indivíduos que foram separados em 2 grupos: 30 motoristas (50,8%) e administrativo 29 (49,2%) indivíduos. Identificamos que em relação ao gênero, 22 (37,3%) são do gênero feminino, e 37 (62,7%) são do gênero masculino. Pode se observar que no grupo de motoristas, a maioria é do gênero masculino (93,5%) enquanto o grupo administrativo, a maioria é do gênero feminino (69%). A média de idades no grupo administrativo é de 33,25 (+/- 9,876), e nos motoristas é de 46,07 (+/-8,3). A seguir estão apresentadas as tabelas de frequência, análises descritivas e testes para comparação de médias, foi utilizada a análise de variância e para comparação de proporção o teste qui-quadrado. Foi utilizado o nível de significância de 0,05. As análises foram feitas no software estatístico SPSS.

Tabela 1: Caracterização da amostra (n=59)

	N (%)	Motoristas	Administrativo	(MD±DP)	P
Gênero masculino	37 (62,7%)	93,5%			
Gênero feminino	22 (37,3%)		69%		
Idade		46,07(+/- 8,375)	33,25	(+/-9,876)	
Concentração (NO ₂)		53,64 (+/-25,245)	26,12	(+/-13,525)	0,001
Tempo de exposição		137,31 (+/- 19,91)	123,07	(+/- 20,076)	0,008

N(%): Frequências absolutas e relativas; MD±DP: Média e desvio padrão; NO₂: Concentração de Dióxido de Nitrogênio; P: Prevalência

Na tabela 1, segundo as análises realizadas durante as 3 semanas de uso dos amostradores passivos, podemos afirmar que há maior concentração de NO₂ no ar inalado pelos motoristas (p<0,001) dentro dos ônibus. A análise de variância utilizando ANOVA, indica que há diferença significativa entre os tempos médios de exposição dos funcionários do

administrativo e do grupo de motoristas ($p=0,008$). Os motoristas têm tempo de exposição média maior, pois acabam tendo uma rotina de mais horas trabalhadas. Existe uma diferença forte intra e entre grupos, onde o $p \leq 0,001$ quando analisamos tempo de exposição e concentração de NO_2 .

Calculando a correlação separadamente para o grupo de motoristas e o grupo do administrativo também não foi encontrada correlação significativa entre exposição e concentração de NO_2 nos grupos ($p=0,074$).

A tabela 2 apresenta o cruzamento entre as categorias de NO_2 e a função exercida por estes profissionais. Foi utilizado o Teste Qui-quadrado, e observa-se que há, proporcionalmente, mais motoristas com níveis de concentração de NO_2 maior de 40 ug/m^3 ($p < 0,001$), sendo que o valor aceitável para a saúde humana seria até 40 ug/m^3 ,

Tabela 2: Função tabulação cruzada (n=59)

NO₂	Administrativo	Motorista	Total
Até 40 ug/m^3	26 (96,3%)	8 (28,6%)	34 (61,8%)
Acima de 40 ug/m^3	1 (3,7%)	20(71,4%)	21 (38,2%)
Total	29 (100%)	29 (100%)	58 (100%)

N(%): Frequências absolutas e relativas; NO_2 : Concentração de Dióxido de Nitrogênio.

4 DISCUSSÃO

Os estudos epidemiológicos são úteis para caracterizar a qualidade do ar e os efeitos na saúde, o Brasil precisa acompanhar a tendência mundial no controle dos poluentes do ar e no estímulo à identificação dos agravos dela decorrentes. Torna-se necessário o desenvolvimento de estratégias à fim de reduzir o crescimento das emissões de poluentes, como, por exemplo, desestimulando o uso de automóveis nas metrópoles, investindo em transporte público de qualidade, não-polvente, e encorajando alternativas como o ciclismo assim como, campanhas de prevenção e de conscientização da população, principalmente, em relação aos efeitos decorrentes da exposição excessiva a estes poluentes (CASTRO et al., 2003).

Em um estudo, foram associados com mortalidade não-acidental e por causa específica em modelos de poluentes únicos. A exposição a material particulado (MP)_{2,5}, isoladamente, não foi suficiente para caracterizar completamente a toxicidade da mistura atmosférica ou para explicar completamente o risco de mortalidade associado à exposição à poluição ambiental. A contabilização da mobilidade residencial teve apenas um impacto limitado na associação entre

mortalidade e PM_{2,5} e O₃, mas aumentou a associação com o NO₂. Nesse estudo, encontraram associações positivas entre várias causas comuns de morte e exposição a PM_{2,5}, O₃ e NO₂ (BRAGA et al., 2001).

A qualidade do ar foi classificada em seis categorias: como boa quando as concentrações de todos os poluentes estão abaixo de 50% de seus padrões de qualidade; como regular quando a concentração de pelo menos um dos poluentes atinge o seu padrão de qualidade; como inadequada quando a concentração de pelo menos um dos poluentes está entre o seu padrão de qualidade e os níveis de atenção; como má, quando a concentração de pelo menos um dos poluentes está entre os seus níveis de atenção e de alerta; como péssima, quando a concentração de pelo menos um dos poluentes está entre os seus níveis de alerta e de emergência e como crítica, quando a concentração de pelo menos um dos poluentes está acima do seu nível de emergência (CROUSE et al., 2001). Em comparação aos nossos resultados, verificamos uma condição do ar no interior dos ônibus inadequada, porque os valores encontrados em vários veículos estão acima dos valores considerados aceitáveis, evidenciando a importância de um controle maior dos poluentes, visto serem prejudiciais à saúde respiratória das pessoas expostas.

Em outra pesquisa onde monitoraram algumas ruas, os pontos de amostragem situados nas ruas principais de maior intensidade de tráfego, a concentração anual média de NO₂ foi de 63 µg/m³, nas ruas adjacentes foi de 58 µg/m³ e nas ruas principais e residenciais do subúrbio foi de 38 e 30 µg/m³. Outro estudo bastante elaborado, o monitoramento foi feito com amostradores passivos em estações, e os pontos de amostragem foram divididos em três grupos: nos pontos próximos às ruas principais, obteve-se 41 µg/m³, nos locais intermediários, obteve-se 36 µg/m³ e nos locais afastados, obteve-se 30 µg/m³. A média mensal obtida para todos os pontos foi de (36 µg/m³) (KURIYAMA et al., 1997).

Cinco anos mais tarde, num estudo similar conduzido nos mesmos locais, observou-se que os níveis de concentração de NO₂ eram 34% maiores e que esse aumento se deu por toda a região. As concentrações urbanas médias ficaram na faixa de 19 µg/m³ nos pontos de amostragem afastados da rua principal e cerca de 94 µg/m³ em locais próximos às ruas principais. Foram utilizados amostradores passivos, e as médias semanais de NO₂ variaram de 76 µg/m³ ao norte, e a 13 µg/m³, ao sul (KURIYAMA et al., 1997).

De acordo com diversos estudos relativos aos efeitos prejudiciais do NO₂ ao homem, pode-se sugerir que, embora os níveis de exposição sejam considerados baixos para provocar algum tipo de sintoma clínico significativo de imediato, a longo prazo podem induzir alterações em parâmetros bioquímicos e estruturais pulmonares, que podem levar a algum tipo de doença pulmonar crônica (KURIYAMA et al., 1997).

A exposição a uma média anual abaixo de 40 mg de NO₂ / m³ foi associada a efeitos adversos à saúde (sintomas respiratórios /doenças, internações hospitalares, mortalidade e otite média) fornecidos por achados geralmente consistentes em cinco fatores com algumas deficiências na qualidade do estudo. A evidência também foi moderada quando a pesquisa foi restrita a estudos em populações suscetíveis (crianças e adolescentes) e combinação com outros poluentes do ar (LATZA et al., 2008). Este estudo se contradiz aos outros, pois ainda não é um valor considerado tão alto de NO₂, mas concordamos que mesmo com esse valor, esses poluentes podem trazer agravos à saúde da população exposta, principalmente a população que

já apresenta problemas respiratórios, e que se agravam muito mais com a exposição desses poluentes.

Em uma pesquisa, foi mensurado a qualidade de ar no interior de ônibus parisienses, fazendo uma comparação entre os níveis de concentração de material particulado (PM_{2.5}) e dióxido de nitrogênio (NO₂) com os níveis externos. Eles verificaram que as concentrações no interior do veículo eram maiores, o que pode causar um prejuízo a saúde dos motoristas que estão expostos a altas concentrações durante sua jornada de trabalho (GHASSAN et al., 2015; MOLLE et al., 2013). Em nosso estudo, o nível de concentração de NO₂ indoor de ônibus, foram em maior concentração nos motoristas (acima de 40 µg/m³) do que no setor administrativo (até 40µg/m³).

Pode se observar em um estudo, que as médias do PM₁₀ e do NO₂ ultrapassaram os padrões anuais de qualidade do ar (50µg/m³ e 100µg/m³). Em relação às internações registradas, vêm em primeiro lugar as doenças circulatórias em idosos 14%, em seguidas as doenças respiratórias em crianças aproximadamente 30%, e que a pneumonia foi o diagnóstico mais frequente (GOUVEIA et al., 2006). Em comparação com o nosso estudo, os nossos valores não estão tão acima como estes, mas se não forem tomadas medidas de controle e prevenção, podem sim chegar a estes valores extremos, que seriam de grande risco à população.

Os resultados obtidos em outra pesquisa, mostraram que a concentração de NO₂ varia entre cerca de 4 até 50 ppb, ao longo do dia. Quando é comparado estes resultados com experimento semelhante feito na cidade de Claremont, observa-se que os perfis de variações são bastante semelhantes, mas com valores menores para cidade de Araraquara, como era de se esperar para uma cidade de médio porte e sem grandes fontes significativas de NO₂ (UGUICIONE et al., 2002). Pesquisas devem ser feitas, assim como nesses estudos citados anteriormente, para se ter um controle maior da concentração desses poluentes nas cidades, para tentar diminuir ou até mesmo prevenir as concentrações altas.

Algumas publicações relatam que o tipo de combustível influencia muito na quantidade de poluentes emitidos, e em concentrações altas, dependendo do tempo de exposição, eles podem prejudicar a saúde e oferecer riscos a população, sendo um exemplo, o diesel que libera até cinco vezes mais dióxido de nitrogênio (COLOMBINI et al., 2008; MALHEIROS et al., 2014). No nosso estudo a concentração foi maior no grupo dos motoristas, justamente por estarem mais tempo expostos a esses poluentes. Faz-se necessário que os governantes de grandes cidades tenham a preocupação de realmente fazerem um controle do ar eficiente, pensando em prevenção de problemas decorrentes disso.

Os dados obtidos como o monitoramento e a quantificação do grau de poluição de cada segmento de automóveis, podem servir de base para ações municipais visando policar o fluxo, local e horários de veículos, evitando o acúmulo de grandes concentrações de poluentes nessas áreas (OLIVEIRA et al., 2013). E podem fornecer dados para ativar ações de emergência por alguns períodos, quando os níveis de poluentes na atmosfera possam representar risco à saúde pública (CORTES et al., 2016). Segundo a rede social brasileira por cidades justas e sustentáveis, a média anual diária das concentrações de NO₂ em São Paulo, era em uma hora: 200 µg/m³ e a duração de exposição em um ano era de 40 µg/m³. Visto que a grande maioria da população desconhece a existência desses poluentes e suas consequências na saúde da

população exposta, tornando-se necessário que realmente haja um controle mais rigoroso desses poluentes.

Em razão disto, torna-se imprescindível que os grandes centros sejam mais monitorados quanto às concentrações de poluentes atmosféricos, pois muitos estudos relatam os agravos à saúde dos motoristas municipais por estarem muito tempo expostos. A partir desta pesquisa, concluiu-se que vem aumentando cada vez mais as frotas automotoras, e que isto contribui para a poluição atmosférica, que podem afetar a qualidade do ar, provocando possíveis problemas respiratórios e carcinogêneos dos indivíduos expostos, o que é comprovado por vários artigos e estudos citados.

Nosso objetivo foi quantificar a concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂) indoor em ônibus municipais de Caxias do Sul, onde os motoristas estão diariamente expostos a poluentes atmosféricos durante suas jornadas de trabalho. Obtivemos resultados estatisticamente significativos, e a pesquisa teve dados relevantes e preocupantes.

Contudo, concluímos que o dióxido de nitrogênio (NO₂) tem correlação com a possibilidade de existência de doenças respiratórias, devido às altas concentrações encontradas nos ônibus municipais. Sugere-se então, que esta pesquisa seja continuada, para comprovarmos a influência que os poluentes atmosféricos de origem automotivas, exercem sobre o trato respiratório dos indivíduos que estão mais expostos.

Agradecimentos: Este trabalho foi financiado pela Portuguese National Funds through FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia (Portuguese Foundation for Science and Technology) como parte do Projeto UID/Multi/04546/2013.

REFERÊNCIAS

- BRAGA A. et al., Poluição Atmosférica e Saúde Humana, 2001.
- CAMPOS PV. et al., Monitoramento Atmosférico Passivo de SO₂, NO₂ E O₃ em Áreas Urbanas e de Influência Industrial como Prática de Química Ambiental para Alunos de Graduação, Quím. Nova, Vol. 29, N. 4, 872-875, 2006.
- CANÇADO DJE. et al., Repercussões Clínicas da Exposição à Poluição Atmosférica, 2006.
- CASTRO HA. et al., Questões Metodológicas para a Investigação dos Efeitos da Poluição do ar na Saúde, 2003.
- COLOMBINI PM. et al., Poluição Atmosférica e seu Impacto no Sistema Cardiovascular, 2008.
- CÓNSUL DMJ. et al., Decomposição Catalítica de Óxidos de Nitrogênio, 2003.
- CORTES LP. et al., Comparação entre Crescimento da Frota de Veículos Automotores Movidos a Gasolina na Cidade de São Paulo e Níveis de Emissões de Poluentes.

CROUSE DL. et al., Ambient PM2.5, O3, and NO2 Exposures and Associations with Mortality over 16 Years of Follow-Up in the Canadian Census Health and Environment Cohort (CanCHEC), v.123, n.11, Environmental Health Perspectives, 2015.

FIGUEIREDO PVL. et al., Impactos Da Restrição Da Circulação De Veículos De Carga Na Emissão De Poluentes: Um Estudo De Caso Em Belo Horizonte, 2013.

GHASSAN BH. et al., Lung Cancer and Exposure to Nitrogen Dioxide and Traffic: A Systematic Review and Meta-Analysis, v. 123, n. 11, Environmental Health Perspectives, 2015.

GOUVEIA N. et al., Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil, 2006.

HUANG J. et al., Acute effects on pulmonary function in young healthy adults exposed to traffic-related air pollution in semi-closed transport hub in Beijing, 2016.

KURIYAMA SG. et al., Exposição Ocupacional ao Dióxido de Nitrogênio (NO2) em Policiais de Trânsito na Cidade do Rio de Janeiro, 1997.

LATZA U. et al., Effects of Nitrogen Dioxide on Human Health: Systematic Review of Experimental and Epidemiological Studies Conducted Between 2002 and 2006, publicado em 2008.

MALHEIROS T. et al., Relatório Sobre Poluição Atmosférica De São Carlos, 2014.

MELCHERT WR. et al., Construção de Amostrador Passivo de Baixo Custo Para Determinação de Dióxido de Nitrogênio, 2006.

MOLLE R. et al. Indoor-outdoor relationships of airborne particles and nitrogen dioxide inside Parisian buses. Atmospheric Environment. v. 69, p. 240-248, 2013.

OLIVEIRA CS. et al., Educação Ambiental para Promoção da Saúde com Trânsito Solidário, 2013.

SILVA RF. et al., Diagnóstico das Emissões Atmosféricas de Origem Veicular na área urbana de Campo Mourão – PR, 2014.

UGUCIONE C. et al., Método Colorimétrico para Determinação de Dióxido de Nitrogênio Atmosférico com Preconcentração em coluna de c-18, 2002.

Apêndice G. Apresentação na Semana Científica do Hospital de Clínicas de Porto Alegre - HCPA



EFEITOS DA QUALIDADE DO AR INTERIOR NA CAPACIDADE PULMONAR DE MOTORISTAS DE ÔNIBUS

Francieli Dalegrave, Sandra Magali Gomboski, Nelson Barros, Michele S. Gomes da Rosa

Centro Universitário da Serra Gaúcha – FSG, Caxias do Sul, RS, Brasil.
 FP-ENAS, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal.
 Centro de Pesquisa em Microgravidade – PUCRS, Porto Alegre, RS, Brasil.

Introdução: Segundo a OMS, o número de pessoas que, anualmente, morrem em decorrência dos efeitos da poluição do ar ultrapassa os 7 milhões, e as estatísticas ainda mostram que uma de cada oito mortes no mundo está relacionada com a exposição a ambientes contaminados. A poluição do ar é, atualmente, uma preocupação mundial. Ela traz malefícios que afetam diretamente a natureza e, com ela, de modo particular, os seres vivos, causando preocupação com o futuro do planeta.

Objetivo: Avaliar a função pulmonar em motoristas de ônibus expostos à poluição atmosférica; Verificar sintomas de doenças respiratórias; Avaliar a existência de redução do trabalho respiratório

Métodos: A pesquisa envolveu 54 motoristas de ônibus urbano, com prevalência de 98,1% de sexo masculino e com idades entre 20 e 60 anos. Todos os indivíduos participantes do estudo foram atendidos de forma individual e submetidos à avaliação de capacidades pulmonares mediante o exame de espirometria, e tendo também respondido a um questionário sobre qualidade de vida. Os valores obtidos foram comparados com os valores previstos como adequados para a população avaliada. Sendo assim, os parâmetros analisados através da espirometria foram a Capacidade Vital Forçada (CVF), o Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo (VEF_1), pelo índice de Tiffenault (VEF_1/CVF) e o Fluxo Expiratório Forçado nos momentos 25% e 75% ($FEF_{25-75\%}$). As análises foram levadas a efeito com o emprego do programa estatístico SPSS, e o nível de significância estabelecido foi $p=0,05$. Esta pesquisa – aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Centro Universitário da Serra Gaúcha (CEP-FSG), com número de aprovação 1.489.252

Resultados: Dos 54 participantes da pesquisa, nenhum deles relatou morar com fumantes, e apenas 15 (27,8%) apresentaram alterações na função pulmonar, sendo a Média e o Desvio Padrão (MD±DP) da CVF de $120,70 \pm 20,97$, VEF_1 de $111,41 \pm 24,94$, da VEF_1/CVF $93,93 \pm 5,76$ e da $FEF_{25-75\%}$ $100,91 \pm 30,10$. Como neste estudo a avaliação foi baseada apenas nas respostas obtidas na aplicação do questionário geral clínico e análise da capacidade pulmonar dos participantes, não tendo sido encontradas alterações significativas que pudessem sugerir os riscos a que essa população possa estar exposta durante sua jornada de trabalho.

Tabela 1: Caracterização da amostra (n=54)

	N(%)	MD±DP
Sexo (Masculino)	53(98,1)	
Idade		44,91±19,68
Raça		
Branco	43(79,6)	
Pardo	9(16,7)	
Negro	2(3,7)	
Peso		84,57±16,92
Altura		1,73±0,07
Índice de massa corporal		28,04±4,52
Normal	13(24,1)	
Sobrepeso	24(44,4)	
Obesidade	17(31,5)	
Tempo de função		15,96±11,15
Carga horária		
6hs	18(33,3)	
8hs	30(55,6)	
10hs	6(11,1)	
Atividade física	26(48,1)	
Inalação gás tóxico	4(7,4)	
Alterações na função pulmonar	15(27,8)	
CVF (%)		120,70±20,97
VEF_1 (%)		111,41±24,94
VEF_1/CVF (%)		93,93±5,76
$FEF_{25-75\%}$ (%)		100,91±30,10

N(%): Frequências absolutas e relativas; MD±DP: Média e desvio padrão; CVF: Capacidade vital forçada; VEF_1 : Volume expiratório forçado no 1º segundo; VEF_1/CVF : Índice de Tiffenault; $FEF_{25-75\%}$: Fluxo expiratório forçado nos momentos 25 e 75%

Conclusões: Nos grandes centros urbanos, estão aumentando as frotas veiculares, e isto contribui com emissões atmosféricas que podem afetar significativamente a qualidade do ar, influenciando na capacidade pulmonar dos indivíduos expostos, o que é comprovado por vários estudos citados. O objetivo deste trabalho foi, através da espirometria, encontrar possíveis alterações na capacidade pulmonar dos motoristas que estão diariamente expostos a poluição atmosférica durante sua jornada de trabalho, porém, não foram obtidos resultados estatisticamente significativos, o que poderá indicar problemas no tamanho e homogeneidade da amostra, bem como a ausência de medição de outros indicadores relevantes, como a qualidade do ar na cidade e dentro dos ônibus. Contudo, concluímos que o teste de espirometria é de grande importância para verificar a existência de obstrução das vias aéreas podendo detectar precocemente os indivíduos com risco de desenvolver doenças obstrutivas. Sugere-se então, que novos estudos sejam desenvolvidos para comprovar a influência que a poluição atmosférica, de origem veicular, pode gerar sobre a saúde humana, em particular na população mais exposta, como é o caso dos motoristas de ônibus.



Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: O caso dos condutores de transporte público.

Apêndice H. Apresentação no II Congresso Luso-Brasileiro de Segurança, Saúde Ocupacional e Ambiental - SsOA 2017

Programa provisório



II CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE SEGURANÇA, SAÚDE OCUPACIONAL E AMBIENTAL

CURSOS PRÉ EVENTO (05/07/17 - QUARTA)

MANHÃ: 08H30-12H30

SALA A	SALA B	SALA C	SALA D
CURSO 1 (8 HORAS) Diretrizes para Segurança de Processo Baseada em Risco Instrutor: Engº Helton Luiz Santana	CURSO 2 (4 HORAS) Programa de Conservação Auditiva - Atualização em Gestão de Proteção Individual Instrutor: Fonoaudióloga Soraya Carvalho	CURSO 3 (4 HORAS) O Papel do Perito Judicial Frente às Exigências do Novo CPC e as NR-15 e NR-16 Instrutor: Engº Jaques Sherique	CURSO 6 (4 HORAS) Locais de Trabalhos Seguros e Saudáveis - Organização e prevenção Instrutor: Engº José Manuel Mendes Delgado

12H30 INTERVALO PARA ALMOÇO

TARDE: 14H00-18H00

SALA A	SALA B	SALA C
CURSO 1 (8 HORAS) Diretrizes para Segurança de Processo Baseada em Risco Instrutor: Engº Helton Luiz Santana (CONTINUAÇÃO)	CURSO 4 (4 HORAS) Como Implantar a NR 12 numa Empresa Instrutor: Engº Wolney Gonçalves de Lima	CURSO 5 (4 HORAS) Fundamentos Gerais de Segurança do Trabalho - Princípios e Domínios de Segurança do Trabalho Instrutor: José Luis de Oliveira Pinto Portugal

PROGRAMAÇÃO CONGRESSO (06/07/17 - QUINTA)

AUDITÓRIO 1

MANHÃ: 09H00-13H00

09H00 ABERTURA SOLENE

09H30 MESA: Sistemas de Proteção ao Trabalho nos Países de Língua Portuguesa
 Moderador: a designar

Sistema do Brasil
 Paineleiras: Dr. Fábio Goulart Villela (Procurador-Chefe do Ministério Público do Trabalho do Rio de Janeiro - Brasil), Helton Yomura (Superintendente Regional do Trabalho e Emprego do Rio de Janeiro (SRTE/RJ)), André Pfeiffer Pedreira Ferreira (Chefe do Centro Estadual da Fundacentro no Rio de Janeiro)

Sistema de Portugal
 Paineleira: Dr Jorge Bruno da Silva Barbosa Gaspar (Licenciado em Direito e ex-presidente do ISHST (Instituto para a Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho) - Portugal)

Sistema de Cabo Verde
 Paineleira: Engº João Osvaldo de Carvalho (Ex-Inspector-Geral do Trabalho - Cabo Verde)

11H00 COFFEE-BREAK

11H30 MESA: Fiscalização da SST no Brasil e em Portugal
 Moderador: a designar

Sistema do Brasil-MTE
 Paineleira: Dra Gisele Guimarães Daffon Antônio (Auditora Fiscal do Trabalho coordenadora da SEGUR da Superintendência do Trabalho e Emprego no Rio de Janeiro - Brasil)

Sistema Profissional Confea/Crea
 Paineleira: Engº José Tadeu da Silva (Presidente do CONFEA (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia) - Brasil)

Sistema de Portugal
 Paineleira: Prof. Dr. Luís do Nascimento Lopes (Ex-Coordenador Executivo para a Promoção da SST da ACT (Autoridade para as Condições de Trabalho) e ex-Presidente da CA da Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (AESST) - Portugal)

Efeitos da qualidade do ar interior na capacidade pulmonar de motoristas de ônibus

DALEGRAVE Francieli¹, GOMBOSKI Sandra Magali^{1,2}, BARROS Nelson², ROSA Michele S. G.³

¹ Centro Universitário da Serra Gaúcha – FSG, Caxias do Sul, RS, Brasil.

² FP-ENAS, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal.

³ Centro de Pesquisa em Microgravidade – PUCRS, Porto Alegre, RS, Brasil.

RESUMO

Objetivo: Avaliar o impacto da qualidade do ar interior na capacidade pulmonar de motoristas de ônibus. Todos os indivíduos participantes do estudo foram submetidos à avaliação de capacidades pulmonares pela realização do exame de espirometria e responderam a um questionário sobre qualidade de vida, e foi avaliado o impacto da poluição no interior dos ônibus na função pulmonar dos seus motoristas.

Métodos: A pesquisa envolveu 54 motoristas de ônibus urbano, com prevalência de 98,1% de sexo masculino e com idades entre 20 e 60 anos. Todos os indivíduos participantes do estudo foram atendidos de forma individual e submetidos à avaliação de capacidades pulmonares mediante o exame de espirometria, e tendo também respondido a um questionário sobre qualidade de vida. Os valores obtidos foram comparados com os valores previstos como adequados para a população avaliada. Sendo assim, os parâmetros analisados através da espirometria foram a Capacidade Vital Forçada (CVF), o Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo (VEF_1), pelo índice de Tiffenault (VEF_1 / CVF) e o Fluxo Expiratório Forçado nos momentos 25% e 75% ($FEF_{25\%-75\%}$). As análises foram levadas a efeito com o emprego do programa estatístico SPSS, e o nível de significância estabelecido foi $p=0,05$.

Resultados: Dos 54 participantes da pesquisa, nenhum deles relatou morar com fumantes, e apenas 15 (27,8%) apresentaram alterações na função pulmonar, sendo a Média e o Desvio Padrão ($MD \pm DP$) da CVF de $120,70 \pm 20,97$, VEF_1 de $111,41 \pm 24,94$, da VEF_1 / CVF $93,93 \pm 5,76$ e da $FEF_{25-75\%}$ $100,91 \pm 30,10$. Como neste estudo a avaliação foi baseada apenas nas respostas obtidas na aplicação do questionário geral clínico e análise da capacidade pulmonar dos participantes, não tendo sido encontradas alterações significativas que pudessem sugerir os riscos a que essa população possa estar exposta durante sua jornada de trabalho. Divergindo das pesquisas apresentadas anteriormente, não encontramos achados significativos. Isso se deve a motivos tais como os motoristas terem sido avaliados em uma única vez, não haver critérios comparativos e, também, inexistir controle da concentração de poluentes da cidade.

Conclusões: A partir desta pesquisa, concluiu-se que nos grandes centros urbanos, estão aumentando as frotas veiculares, e isto contribui com emissões atmosféricas que podem afetar significativamente a qualidade do ar, influenciando na capacidade pulmonar dos indivíduos expostos, o que é comprovado por vários estudos citados. O objetivo deste trabalho foi, através da espirometria, encontrar possíveis alterações na capacidade pulmonar dos motoristas que estão diariamente expostos a poluição atmosférica durante sua jornada de trabalho, porém, não foram obtidos resultados estatisticamente significativos, o que poderá indiciar problemas no tamanho e homogeneidade da amostra, bem como a ausência de medição de outros indicadores relevantes, como a qualidade do ar na cidade e dentro dos ônibus. Contudo, concluímos que o teste de espirometria é de grande importância para verificar a existência de obstrução das vias aéreas podendo detectar precocemente os indivíduos com risco de desenvolver doenças obstrutivas. Sugere-se então, que novos estudos sejam desenvolvidos para comprovar a influência que a poluição atmosférica, de origem veicular, pode gerar sobre a saúde humana, em particular na população mais exposta, como é o caso dos motoristas de ônibus.

DESCRITORES: poluição atmosférica, doenças respiratórias, transporte público.

Efeitos da qualidade do ar interior na capacidade pulmonar de motoristas de ônibus

DALEGRAVE Francieli¹, GOMBOSKI Sandra Magali^{1,2}, BARROS Nelson², ROSA Michele S. G.³

¹ Centro Universitário da Serra Gaúcha – FSG, Caxias do Sul, RS, Brasil.

² FP-ENAS, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal.

³ Centro de Pesquisa em Microgravidade – PUCRS, Porto Alegre, RS, Brasil.

RESUMO

Objetivo: Avaliar o impacto da qualidade do ar interior na capacidade pulmonar de motoristas de ônibus. Todos os indivíduos participantes do estudo foram submetidos à avaliação de capacidades pulmonares pela realização do exame de espirometria e responderam a um questionário sobre qualidade de vida, e foi avaliado o impacto da poluição no interior dos ônibus na função pulmonar dos seus motoristas.

Métodos: A pesquisa envolveu 54 motoristas de ônibus urbano, com prevalência de 98,1% de sexo masculino e com idades entre 20 e 60 anos. Todos os indivíduos participantes do estudo foram atendidos de forma individual e submetidos à avaliação de capacidades pulmonares mediante o exame de espirometria, e tendo também respondido a um questionário sobre qualidade de vida. Os valores obtidos foram comparados com os valores previstos como adequados para a população avaliada. Sendo assim, os parâmetros analisados através da espirometria foram a Capacidade Vital Forçada (CVF), o Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo (VEF_1), pelo índice de Tiffenault (VEF_1 / CVF) e o Fluxo Expiratório Forçado nos momentos 25% e 75% ($FEF_{25\%-75\%}$). As análises foram levadas a efeito com o emprego do programa estatístico SPSS, e o nível de significância estabelecido foi $p = 0,05$.

Resultados: Dos 54 participantes da pesquisa, nenhum deles relatou morar com fumantes, e apenas 15 (27,8%) apresentaram alterações na função pulmonar, sendo a Média e o Desvio Padrão ($MD \pm DP$) da CVF de $120,70 \pm 20,97$, VEF_1 de $111,41 \pm 24,94$, da VEF_1 / CVF $93,93 \pm 5,76$ e da $FEF_{25-75\%}$ $100,91 \pm 30,10$. Como neste estudo a avaliação foi baseada apenas nas respostas obtidas na aplicação do questionário geral clínico e análise da

capacidade pulmonar dos participantes, não tendo sido encontradas alterações significativas que pudessem sugerir os riscos a que essa população possa estar exposta durante sua jornada de trabalho. Divergindo das pesquisas apresentadas anteriormente, não encontramos achados significativos. Isso se deve a motivos tais como os motoristas terem sido avaliados em uma única vez, não haver critérios comparativos e, também, inexistir controle da concentração de poluentes da cidade.

Conclusões: A partir desta pesquisa, concluiu-se que nos grandes centros urbanos, estão aumentando as frotas veiculares, e isto contribui com emissões atmosféricas que podem afetar significativamente a qualidade do ar, influenciando na capacidade pulmonar dos indivíduos expostos, o que é comprovado por vários estudos citados. O objetivo deste trabalho foi, através da espirometria, encontrar possíveis alterações na capacidade pulmonar dos motoristas que estão diariamente expostos a poluição atmosférica durante sua jornada de trabalho, porém, não foram obtidos resultados estatisticamente significativos, o que poderá indiciar problemas no tamanho e homogeneidade da amostra, bem como a ausência de medição de outros indicadores relevantes, como a qualidade do ar na cidade e dentro dos ônibus. Contudo, concluímos que o teste de espirometria é de grande importância para verificar a existência de obstrução das vias aéreas podendo detectar precocemente os indivíduos com risco de desenvolver doenças obstrutivas. Sugere-se então, que novos estudos sejam desenvolvidos para comprovar a influência que a poluição atmosférica, de origem veicular, pode gerar sobre a saúde humana, em particular na população mais exposta, como é o caso dos motoristas de ônibus.

DESCRITORES: poluição atmosférica, doenças respiratórias, transporte público.

INTRODUÇÃO: A poluição do ar é, atualmente, uma das maiores preocupações ambientais à escala mundial, pois traz malefícios que afetam diretamente a natureza e, com ela, de modo particular, os seres vivos, causando preocupação com o futuro da vida no planeta. A rápida urbanização vem ocorrendo há muitos anos e, associada a ela, a poluição atmosférica está aumentando rapidamente, sendo que os grandes centros urbanos são os

mais afetados. Não só países desenvolvidos como também os em fase de desenvolvimento estão causando maior poluição atmosférica por meio do aumento do consumo de energia, atividades de mineração, processamento de metais, usinas de combustão, emissões de poluentes das indústrias e, em particular, por fontes móveis, como os veículos automotores [1-4]. No Brasil, os combustíveis mais utilizados em transporte são a gasolina para automóveis (veículos mais leves) e o diesel para ônibus e caminhões (veículos mais pesados). Combustíveis como o álcool (etanol e metanol), mistura de gasolina e álcool, gás natural veicular (GNV) e gás liquefeito de petróleo (GLP) também são utilizados em veículos mais leves [5-8]. Porém, Amâncio e Nascimento [9] afirmam que, mesmo com os níveis da poluição controlados, os poluentes ainda são capazes de gerar efeitos negativos sobre a saúde. Sendo assim, o ser humano está altamente exposto à ação de tais agentes, de modo que a maioria dos poluentes pode afetar a função pulmonar e causar graves danos à saúde [10, 11]. Exposições crônicas prolongadas a esses poluentes, tanto em áreas rurais como urbanas, têm contribuído para aumentar o número de casos de doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), asma, câncer de pulmão e doenças cardiovasculares, além daquelas pré-existentes. Efeitos como a indisposição, a irritação nos olhos, garganta e narinas e alteração na função pulmonar também são ocasionados por essa exposição [1, 12]. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) [13], os serviços de emergência e o número de internações e de óbitos são elevados, muitas vezes, pelo aumento dos sintomas dessas doenças. Em março de 2014, a OMS destacou que, no ano de 2012, cerca de sete milhões de pessoas morreram e que um em cada oito mortes no mundo é resultado da exposição à poluição do ar, superando em duas vezes mais as estimativas anteriores [14 - 17]. Em decorrência disso, estudos têm contribuído para a busca da prevenção da poluição. Uma pesquisa realizada por Cortez e Carneiro [18], cita a importância do uso do transporte público como forma de redução de emissões, enfatizando a necessidade de avaliar as condições de trabalho dos motoristas sujeitos a níveis elevados de poluentes. Diante de todas essas informações, foi avaliado o impacto da poluição no interior dos ônibus na função pulmonar dos seus motoristas.

METODOLOGIA: Neste trabalho de pesquisa foram incluídos motoristas de ônibus com idades entre 20 e 60 anos, com mais de um ano na função, de ambos os sexos que aceitaram participar da pesquisa, demonstrando isso com a assinatura do TCLE. Foram excluídos os motoristas de ônibus que rejeitaram sua participação no estudo e que, os que possuem alguma doença respiratória e/ou que fossem tabagistas. Todos os indivíduos participantes do estudo foram atendidos de forma individual e submetidos à avaliação de capacidades pulmonares mediante o exame de espirometria, e tendo também respondido a um questionário sobre qualidade de vida. O questionário geral clínico foi criado constando de perguntas referentes a peso, altura, idade, tempo de função, carga horária de trabalho, tempo de profissão e, ainda, investigando se o indivíduo é fumante ou convive com fumantes, se possui alguma doença respiratória ou alguma alergia, se utiliza algum tipo de medicamento contínuo e se realiza atividades físicas com frequência. A avaliação pulmonar foi realizada mediante o uso da espirometria, que pode ser utilizado como um exame preventivo, além de possibilitar um diagnóstico e uma quantificação dos distúrbios ventilatórios. Os valores obtidos foram comparados com os valores previstos como adequados para a população avaliada. Sendo assim, os parâmetros analisados através da espirometria foram a Capacidade Vital Forçada (CVF), o Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo (VEF_1), pelo índice de Tiffenault (VEF_1 / CVF) e o Fluxo Expiratório Forçado nos momentos 25% e 75% ($FEF_{25\%-75\%}$) [19]. Os critérios aceitos para a CVF são descritos como de início satisfatório do teste, com um volume retroextrapolado menor que 5% da CVF ou 150 mL, manobra de valsava, vazamento de ar e obstrução bucal, ausência de tosse e esforço insuficiente, que possam comprometer a análise da curva. O tempo expiratório teve duração média de seis segundos. O critério de reprodutibilidade do exame teve a diferença máxima de 10% nos parâmetros CVF e VEF_1 entre as medidas de duas curvas [19].

RESULTADOS: Participaram deste estudo 54 indivíduos com uma média de idade de $44,91 \pm 9,68$ anos, identificando-se 43 (79,6%) deles como de raça branca. O IMC

(índice de massa corporal) da amostra foi descrito como normal em 13 (24,1%), sobrepeso em 24 (44,4%) e obesidade 17 (31,5%). Em relação ao tempo de função, a média em anos foi de 15,96±11, com carga horária prevalente de oito horas ao dia para 30 (55,6%), seis horas para 18 (33,3%) e 10 horas para 6 (11,1%) da amostra. Quase metade da população estudada (48,1%) pratica algum tipo de atividade física e 7,4% já inalou algum tipo de gás tóxico, ocasionado por algum evento ambiental ou presente no próprio ambiente de trabalho. Dos 54 participantes da pesquisa, nenhum deles relatou morar com fumantes, e apenas 15 (27,8%) apresentaram alterações na função pulmonar, sendo a Média e o Desvio Padrão (MD±DP) da CVF de 120,70±20,97, VEF₁ de 111,41±24,94, da VEF₁/CVF 93,93±5,76 e da FEF_{25-75%} 100,91±30,10 (Tabela 1).

Tabela 1: Caracterização da amostra (n=54)

	N(%)	MD±DP
Sexo (Masculino)	53(98,1)	
Idade		44,91±9,68
Raça		
Branco	43(79,6)	
Pardo	9(16,7)	
Negro	2(3,7)	
Peso		84,57±16,92
Altura		1,73±0,07
Índice de massa corporal		28,04±4,52
Normal	13(24,1)	
Sobrepeso	24(44,4)	
Obesidade	17(31,5)	
Tempo de função		15,96±11,15
Carga horária		
6h	18(33,3)	

8h	30(55,6)	
10h	6(11,1)	
Atividade física	26(48,1)	
Inalação gás tóxico	4(7,4)	
Alterações na função pulmonar	15(27,8)	
CVF (%)		120,70±20,97
VEF ₁ (%)		111,41±24,94
VEF ₁ /CVF (%)		93,93±5,76
FEF _{25-75%} (%)		100,91±30,10

N(%): Frequências absolutas e relativas; MD±DP: Média e desvio padrão; CVF: Capacidade vital forçada; VEF₁: Volume expiratório forçado no 1º segundo; VEF₁/CVF: Índice de Tiffenault; FEF_{25-75%}: Fluxo expiratório forçado nos momentos 25% e 75%

Na avaliação da correlação entre tempo de função e idade, os valores não apresentaram correlação com a função pulmonar. O tempo de função em relação à CVF apresentou um valor de 0,051 com p-valor de 0,717, a VEF₁ ficou em 0,206 com p-valor 0,447, o Índice de Tiffenault ficou em 0,039 e p-valor em 0,778 e a FEF_{25-75%} com o valor de 0,009 e p-valor de 0,949. O IMC dos indivíduos também não apresentou correlação (R²) com a capacidade pulmonar, mesmo tendo quase metade da população avaliada com sobrepeso. A correlação entre o IMC e a CVF apresentou o p-valor de 0,498, a FEV₁ ficou com p-valor em 0,258, o Índice de Tiffenault com p-valor 0,127 e a FEF_{25-75%} com p-valor 0,062, ou seja, nenhum dos valores apresentou significância. E por último a relação entre a idade e a CVF que obteve o p-valor de 0,286, de VEF₁ com p-valor 0,534, do Índice de Tiffenault com p-valor 0,342 e FEF_{25-75%} com p-valor de 0,229, não apresentando significância nas correlações. (Tabela 2).

Tabela 2: Correlação de Pearson entre tempo de função e função pulmonar

		CVF	VEF ₁	VEF ₁ /CVF	FEF _{25-75%}
Tempo na função	R ²	0,051	0,106	0,039	0,009
	p-valor	0,717	0,447	0,778	0,949
Idade	R ²	0,148	0,087	0,132	0,166
	p-valor	0,286	0,534	0,342	0,229
IMC	R ²	0,094	0,157	0,210	0,256
	p-valor	0,498	0,258	0,127	0,062

CVF: Capacidade Vital Forçada; VEF₁: Volume Expiratório Forçado no 1º segundo; VEF₁/CVF: Índice de Tiffenault; FEF_{25-75%}: Fluxo Expiratório Forçado nos momentos 25 e 75%; IMC: Índice de massa corporal; R²: Correlação.

A avaliação da correlação entre a função pulmonar e a carga horária dos motoristas não mostra valores significativos quando comparados com CVF, VEF, índice de Tiffenault; apenas para FEF_{25-75%} houve uma pequena significância com p-valor 0,022, apresentando uma média de 97,83±30,79 para 6 horas trabalhadas, 95,60±25,96 para 8 horas e 136,67±27,09 para 10 horas. A CVF apresentou uma média de 120,94±23,05 para 6 horas trabalhadas, 117,93±19,75 para 8 horas e 133,83±18,33 para 10 horas. Já na relação com VEF₁, a média para 6 horas trabalhadas ficou em 112,44±22,33; para 8 horas, em 106,83±25,99; e, para 10 horas, em 131,17±19,46. Por fim, a média com o índice de Tiffenault, para uma carga de 6 horas de trabalho, ficou em 93,39±6,55; para 8 horas, em 93,33±5,09; e, para 10 horas, em 98,50±5,24. Ou seja, a carga horária não implica alterações na função pulmonar dos indivíduos estudados (Tabela 3).

Tabela 3: Avaliação entre função pulmonar e carga horária trabalhada

	6hs (n=18)	8hs (n=30)	10hs (n=6)	p-valor
	MD±DP	MD±DP	MD±DP	
CVF (%)	120,94±23,05	117,93±19,75	133,83±18,33	0,248
VEF ₁ (%)	112,44±22,33	106,83±25,99	131,17±19,46	0,087
VEF ₁ /CVF (%)	93,39±6,55	93,33±5,09	98,50±5,24	0,152
FEF _{25-75%} (%)	97,83±30,79	95,60±25,96	136,67±27,09	0,022*

Na avaliação da função pulmonar com foco na raça dos participantes do estudo, estabeleceu-se correlação entre indivíduos brancos, pardos e negros com CVF, VEF₁, índice de Tiffenault e FEF_{25-75%}. A média encontrada na avaliação da CVF com indivíduos brancos foi de 122,56±22,01, da VEF₁ foi de 65±26,82, do índice de Tiffenault foi de 93,86±6,01 e do FEF_{25-75%} 102,77±30,5, em 43 dos indivíduos avaliados. Quando correlacionados com indivíduos pardos, a CVF apresenta uma média de 114,33±16,52, a VEF₁ uma média de 108,56±16,67, o índice de Tiffenault uma média de 95,22±4,84 e o FEF_{25-75%} uma média de 100,00±27,51. Apenas dois dos indivíduos em estudo são negros, e a média encontrada na avaliação da CVF foi de 109,50±2,12, de VEF₁ 97,50±0,71, do índice de Tiffenault 89,50±0,71 e de FEF_{25-75%} 65,00±1,41. Por fim, é possível dizer que não existe correlação entre essas variáveis (Tabela 4).

Tabela 4: Avaliação entre função pulmonar e raça

	Branco (n=43)	Pardo (n=9)	Negro (n=2)	p-valor
	MD±DP	MD±DP	MD±DP	
CVF (%)	122,56±22,01	114,33±16,52	109,50±2,12	0,491
VEF ₁ (%)	112,65±26,82	108,56±16,67	97,50±0,71	0,416
VEF ₁ /CVF (%)	93,86±6,01	95,22±4,84	89,50±0,71	0,373
FEF _{25-75%} (%)	102,77±30,56	100,00±27,51	65,00±1,41	0,119

DISCUSSÃO: Considera-se a função pulmonar como um importante indicador da saúde respiratória e, com o crescente aumento da poluição atmosférica, o sistema respiratório está em risco. Em grande parte dos estudos, há maior preocupação com dois poluentes, o NO₂ e o PM₁₀, que são derivados de fontes relacionadas ao tráfego de veículos, mas que, também, são gerados em casas com fogão a lenha ou a gás e por fumaça de cigarro. Ambos têm sido associados a doenças respiratórias, bem como a morbidade e mortalidade cardiovascular [20]. Em uma pesquisa realizada por Ekpenyong *et al.*, [6], em que estabelecem comparação entre as capacidades pulmonares de trabalhadores motociclistas e taxistas com as de servidores públicos da Nigéria, no período compreendido entre setembro de 2009 e março de 2010, não foram encontradas alterações da capacidade pulmonar quando estão associadas à idade e à etnia dos participantes, o que corrobora com o presente estudo. Porém, ao contrário do que foi encontrado aqui, por meio do exame de espirometria, eles evidenciaram índices da qualidade do ar e dados antropométricos, que permitem a interpretação de que, quanto maior for a jornada de trabalho expondo os indivíduos aos poluentes, maiores serão as probabilidades de desenvolverem complicações respiratórias. Além disso, puderam observar que a obesidade e a classe social de indivíduos podem ser fatores influenciáveis nos achados espirométricos, o que, novamente, não se coaduna com os achados do presente estudo.

Os resultados encontrados por Ekpenyong *et al.*, [6] podem ser relacionados com o estudo realizado por Molle *et al.*, [7], em que foi mensurada a qualidade do ar no interior de ônibus parisienses, fazendo uma comparação entre os níveis de concentração de $MP_{2.5}$ e NO_2 com os níveis externos. Eles verificaram que as concentrações no interior do veículo eram maiores, o que pode causar prejuízo à saúde dos motoristas que estão expostos a altas concentrações durante sua jornada de trabalho. Outro estudo que associa o tempo de exposição aos poluentes foi realizado por Simoni, *et al.*, [21], que avaliaram os efeitos de baixas doses de NO_2 nos sintomas respiratórios agudos e no pico de fluxo expiratório de adultos que viviam na área do Delta do Rio Pó, próximo a Veneza. A amostra foi composta por 383 adultos com idades entre 15 e 72 anos, em um período de duas semanas, sendo uma semana durante o inverno e uma durante o verão. A casa de cada participante foi monitorada para medir os valores de NO_2 e partículas em suspensão respiráveis. Assim, esses índices foram avaliados como produto da concentração de poluentes e tempo de exposição. Foram considerados valores baixos ou altos com base no valor mediano: o NO_2 médio foi de 20ppb no inverno e 14ppb no verão; e era maior na cozinha, no inverno, com 33ppb e, no verão, com 20ppb. A média de matéria particulada em suspensão respirável foi de $68 \mu g / m^3$ no inverno e $45 \mu g / m^3$ no verão. Os resultados encontrados indicaram significância na associação entre doses relativamente baixas de poluentes com sintomas respiratórios agudos e pico de fluxo expiratório em adultos, quando associados ao tempo de exposição aos poluentes. No presente estudo, também foram encontradas alterações no pico de fluxo expiratório ($FEF_{25-75\%}$) quando correlacionado com a carga horária de trabalho, apresentando p-valor de 0,022.

Em um estudo crossover recente, Huang *et al.*, [22] pesquisaram a situação de 40 jovens adultos em um terminal de ônibus, considerando tratar-se de local onde costuma haver aumento das emissões de poluentes e exposição pessoal para $PM_{2.5}$, NO_2 , carbono preto (BC) e monóxido de carbono (CO). Cada participante foi submetido a 2 horas de exposição num terminal de ônibus e, em outra ocasião, em um parque. Verificaram VEF_1 e Pico de Fluxo Expiratório (PFE) antes, durante e após a exposição. Os valores de VEF_1 e PFE, quando avaliados no terminal de ônibus, tiveram reduções significativas em

relação ao momento em que foram verificados no parque. Houve redução aguda na função pulmonar, apurada nos indivíduos saudáveis que permaneceram por duas horas no terminal de ônibus, onde se encontram veículos que são movidos a diesel. Tais achados têm significado importante para a saúde pública, considerando que, nesses locais, circula elevado número de pessoas a cada dia.

Em seu estudo, o grupo de Underhill et al., [23] descreve a poluição do ar incluindo $MP_{2,5}$, BC e NO_2 . Segundo esses estudiosos, ela é muito conhecida por seu impacto como causadora de doenças cardiopulmonares e tem sido fonte de preocupação em países em desenvolvimento. Eles inferem que o tráfego de veículos pode estar relacionado com a má qualidade do ar, devido à rápida expansão de áreas metropolitanas e concomitantes com os picos de tráfego e o uso de combustíveis geradores de poluição. Entendem que a carga de exposição relacionada com o tráfego pode ser maior em áreas subdesenvolvidas, em razão da escassez de ações na regulação da poluição e controle da qualidade do ar, bem como de limitações na disponibilidade de cuidados com a saúde da população. Divergindo das pesquisas apresentadas anteriormente, não encontramos achados significativos. Isso se deve a motivos tais como os motoristas terem sido avaliados em uma única vez, não haver critérios comparativos e, também, inexistir controle da concentração de poluentes da cidade, visto que, em Caxias do Sul, não há monitoramento da qualidade do ar como seria aconselhável, por ser uma cidade de grande porte, com muitas indústrias e trânsito pesado. Na pesquisa de Vukovic *et al.*, [24], encontra-se o relato de que o setor de transporte representa a principal fonte de poluição do ar em áreas urbanas, incluindo MP e NO_2 , combinados com outros elementos tóxicos. Esses contaminantes são, frequentemente, encontrados em concentrações mais elevadas, em áreas próximas a ambientes urbanos, tais como entradas principais, cruzamentos e estações de ônibus. O aumento dos poluentes do ar, para além dos valores limite, tem sido associado a muitos efeitos perigosos à saúde, principalmente, doenças respiratórias e cardiovasculares. A partir desta pesquisa, concluiu-se que nos grandes centros urbanos, estão aumentando as frotas veiculares, e isto contribui com emissões atmosféricas que

podem afetar significativamente a qualidade do ar, influenciando na capacidade pulmonar dos indivíduos expostos, o que é comprovado por vários estudos citados acima.

O objetivo deste trabalho foi, através da espirometria, encontrar possíveis alterações na capacidade pulmonar dos motoristas que estão diariamente expostos a poluição atmosférica durante sua jornada de trabalho, porém, não foram obtidos resultados estatisticamente significativos, o que poderá indiciar problemas no tamanho e homogeneidade da amostra, bem como a ausência de medição de outros indicadores relevantes, como a qualidade do ar na cidade e dentro dos ônibus. Contudo, concluímos que o teste de espirometria é de grande importância para verificar a existência de obstrução das vias aéreas podendo detectar precocemente os indivíduos com risco de desenvolver doenças obstrutivas. Sugere-se então, que novos estudos sejam desenvolvidos para comprovar a influência que a poluição atmosférica, de origem veicular, pode gerar sobre a saúde humana, em particular na população mais exposta, como é o caso dos motoristas de ônibus.

Agradecimentos: Os coautores, Sandra Gomboski e Nelson Barros agradecem o apoio dos fundos nacionais disponibilizados pela FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia como parte do projeto UID/Multi/04546/2013 da Unidade de I&D FP ENAS.

REFERÊNCIAS


1. Arbex MA, et al. A poluição do ar e o sistema respiratório. J Bras Pneumol. 2012;38(5):643-655.
2. Amaral DM, Piubeli FA. A poluição atmosférica interferindo na qualidade de vida da sociedade. 2003 nov. 10 -12; São Paulo, Brasil. São Paulo: Simpósio De Engenharia De Produção – SIMPEP, X, 2003.
3. Matos CE, Andrade RD. Toxicologia Ambiental: Aspectos toxicológicos e políticos sobre a poluição do ar. Revi. Inter. de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade. 2013;6(2):75-89.

4. Saiki M, et al. Correlation study of air pollution and cardio-respiratory diseases through NAA of an atmospheric pollutant biomonitor. *J Radioanal Nucl Chem.* 2014;299(1):773-779.
5. Loureiro, LN. Panorâmica sobre emissões atmosféricas estudo de caso: avaliação do inventário emissões atmosféricas da região metropolitana do rio de janeiro para fontes móveis. Rio De Janeiro: UFRJ, 2005. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
6. Ekpenyong EC, et al. Urban city transportation mode and respiratory health effect of air pollution: a cross-sectional study among transit and non-transit workers in Nigeria. *BMJ Open*, 2012;2(5).
7. Molle R, et al. Indoor-outdoor relationships of airborne particles and nitrogen dioxide inside Parisian buses. *Atmospheric Environment.* 2013;69:240-248.
8. Dapper SN, Spohr C, Zanini RR. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. *Estudos Avançados.* 2016;30(86):83-97.
9. Amâncio CT, Nascimento LFC. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. *Rev Assoc Med Bras.* 2012;58(3):302-307.
10. [Brook RD](#), et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation.* 2010;121(21):2331-2378.
11. Lee YL, et al. Effects of ambient air pollution on pulmonary function among schoolchildren. *International Journal of Hygiene and Environmental Health.* 2011;214(5):369–375.
12. Almança NCV, et al. Poluição atmosférica – Análise sobre as medidas de controle da poluição atmosférica e o sistema de informação do Parque do Ibirapuera. *GEPROS.* 2011;6(2):87-100.

13. Organização Mundial da Saúde (2008). Vigilância global, prevenção e controle das doenças respiratórias crônicas: uma abordagem integradora.
14. Organização Mundial da Saúde. Acesso em: 15 nov.2016. Disponível em : http://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=4609:oms-estima-que-sete-milhoes-mortes-ocorram-ano-devido-contaminacao-atmosferica&catid=845:noticias&Itemid=839>
15. Cardoso JP, Oliveira MND. Tendência temporal das doenças respiratórias no município de Salvador. RBPS, Fortaleza. 2011;24(12):31-39.
16. Freitas C, et al. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. Rev Saude Publica. 2004;38(6):751-7.
17. Roseiro MNV, Takayanagui AMM. Morbidade por problemas respiratórios em Ribeirão Preto (SP) de 1995 a 2001, segundo indicadores ambientais, sociais e econômicos. Rev Paul Pediatría. 2006;24(2):163-70.
18. Cortes PL, Carneiro AJS. Comparação entre Crescimento da frota de veículos automotores movidos a gasolina na cidade de São Paulo e níveis de emissões de poluentes. ENGEMA, São Paulo, 2014.
19. Pereira CAC, Jansen JM, Barreto SSM. Espirometria. Diretrizes para testes de função pulmonar. J Bras Pneumol. 2002;28(3):1-82.
20. Brunekreef B, Holgate ST. Air pollution and health. The Lancet. 2002;360(9341):1233-1242.
21. Simoni M, et al. The Po river delta (North Italy) epidemiological study: Effect of pollutant exposure on acute respiratory symptoms and respiratory function in adults. Arch Environ Health: An International Journal. 2002;57(2):130-136.
22. Huang J, et al. Acute effects on pulmonary function in young healthy adults exposed to traffic-related air pollution in semi-closed transport hub in Beijing. Environ Health Prev Med. 2016;21(0):1-9.

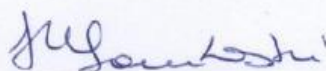
23. Underhill LJS, et al. Association of Roadway Proximity with Indoor Air Pollution in a Peri-Urban Community in Lima, Peru. *International journal of environmental research and publichealth*. 2015;12(10):13466-13481.
24. Vuković G, et al. Moss bag biomonitoring of airborne toxic element decrease on a small scale: A street study in Belgrade, Serbia. 2016;542:394-403.

Apêndice I. Declaração de Ciência e Concordância das Instituições Envolvidas.

	<p>COMITÊ DE PESQUISA</p> <p>DECLARAÇÃO DE CIÊNCIA E CONCORDÂNCIA DAS INSTITUIÇÕES ENVOLVIDAS</p>
---	--

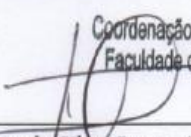
Com o objetivo de atender às exigências do Comitê de Ética em Pesquisa FSG, os representantes legais das instituições envolvidas no projeto de pesquisa intitulado EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE A SAÚDE E CAPACIDADE PULMONAR DE MOTORISTAS DE ONIBUS DE CAXIAS DO SUL, declaram estarem cientes e de acordo com seu desenvolvimento nos termos propostos.

Caxias do Sul, 24 / 11 / 2015.




M. Sandra Magali Gomboski
ORIENTADORA DA PESQUISA - FSG

Coordenação de Pesquisa e Extensão
Faculdade da Serra Gaúcha - FSG



Dra. Karen Menger da Silva Guerreiro
COORDENADORA DE PESQUISA E EXTENSÃO – FSG

Viação Sta. Tereza de Caxias do Sul Ltda.



Moacir Dias Ferreira

SUPERVISOR DE ADMINISTRAÇÃO DE PESSOAS
INSTITUIÇÃO: VISATE – VIAÇÃO SANTA TEREZA DE CAXIAS DO SUL LTDA.
Número de Telefone: 3215 8046

Apêndice J. Termo de participação no estudo.

Considerando a “Declaração de Helsínquia” da Associação Médica Mundial (Helsínquia 1964; Tóquio 1975; Veneza 1983; Hong Kong 1989; Somerset West 1996 e Edimburgo 2000)

Designação do Estudo: Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: o caso dos condutores de transporte público.

Eu, abaixo-assinado, (nome completo do voluntário) -----
-----compreendi a explicação que me foi fornecida acerca da minha participação na investigação que se tenciona realizar, bem como do estudo em que serei incluído. Foi-me dada oportunidade de fazer as perguntas que julguei necessárias e de todas obtive resposta satisfatória. Tomei conhecimento de que, de acordo com as recomendações da Declaração de Helsínquia, a informação ou explicação que me foi prestada versou os objetivos e os métodos e, se ocorrer uma situação de prática clínica, os benefícios previstos, os riscos potenciais e o eventual desconforto. Além disso, foi-me afirmado que tenho o direito de recusar a todo o tempo a minha participação no estudo, sem que isso possa ter como efeito qualquer prejuízo pessoal. Por isso, consinto que me seja aplicado o método ou o tratamento, se for caso disso, propostos pelo investigador.

Data: ____/_____/ 201__

Assinatura do voluntário são: _____

O Investigador responsável:

Nome: Sandra Magali Gomboski

Assinatura: _____

Apêndice K. Termo de Confidencialidade e Sigilo.

Comissão de Ética da Universidade Fernando Pessoa

TERMO DE CONFIDENCIALIDADE E SIGILO

Eu, **Sandra Magali Gomboski, brasileira, fisioterapeuta, inscrita no CPF/MF sob o n.º 60989130053**, abaixo firmada, assumo o compromisso de manter confidencialidade e sigilo sobre todas as informações técnicas e outras a que tiver acesso, relacionadas ao projeto de pesquisa intitulado “Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: o caso dos condutores de transporte público”. Por este termo de confidencialidade e sigilo, comprometo-me a:

1. não utilizar as informações confidenciais a que tiver acesso, para gerar benefício próprio exclusivo e/ou unilateral, presente ou futuro, ou para uso de terceiros;
2. não efetuar qualquer gravação ou cópia da documentação confidencial a que tiver acesso;
3. não me apropriar, em meu benefício ou de outrem, de material confidencial e/ou sigiloso da tecnologia que venha a ser disponível;
4. não repassar o conhecimento das informações confidenciais, responsabilizando-me por todas as pessoas que vierem a ter acesso a essas informações, por meu intermédio, obrigando-me, assim, a ressarcir a ocorrência de qualquer dano e/ou prejuízo oriundo de uma eventual quebra de sigilo das informações fornecidas.

Neste Termo, as expressões destacadas abaixo serão definidas como segue:

Informação Confidencial significará toda informação revelada por meio da apresentação da tecnologia, a seu respeito, ou associada com a Avaliação, sob a forma escrita, verbal ou por quaisquer outros meios.

Informação Confidencial inclui a informação (mas a ela não se limita) relativa às operações, processos, planos ou intenções, informações sobre produção, instalações, equipamentos, segredos de negócio, segredo de fábrica, dados, habilidades especializadas, projetos, métodos e metodologia, fluxogramas, especializações, componentes, fórmulas, produtos, amostras, diagramas, desenhos de esquema industrial, patentes, oportunidades de mercado e questões relativas a negócios revelados da tecnologia supramencionada.

Avaliação significará todas e quaisquer discussões, conversações ou negociações entre as partes ou com elas, de alguma forma relacionadas ou associadas à apresentação da tecnologia acima mencionada.

A vigência da obrigação de confidencialidade e sigilo, assumida pela minha pessoa, por meio deste termo, terá validade enquanto a informação não for tornada de conhecimento público por qualquer outra pessoa, ou mediante autorização escrita a mim concedida pelas partes interessadas neste termo.

Pelo não cumprimento do presente Termo de Confidencialidade e Sigilo, eu, abaixo-assinada, declaro-me ciente de todas as sanções judiciais que poderão advir.

Caxias do Sul, 09 de junho de 2016.

Sandra Magali Gomboski - Pesquisadora Responsável

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: O caso dos condutores de transporte público.

Apêndice L. Amostrador passivo no estacionamento dos ônibus, em Caxias do Sul, em janeiro de 2018.



Fonte: (Arquivo Pessoal)

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: O caso dos condutores de transporte público.

Apêndice M. Amostrador passivo na Rua Sinimbu, em Caxias do Sul, em janeiro de 2018.



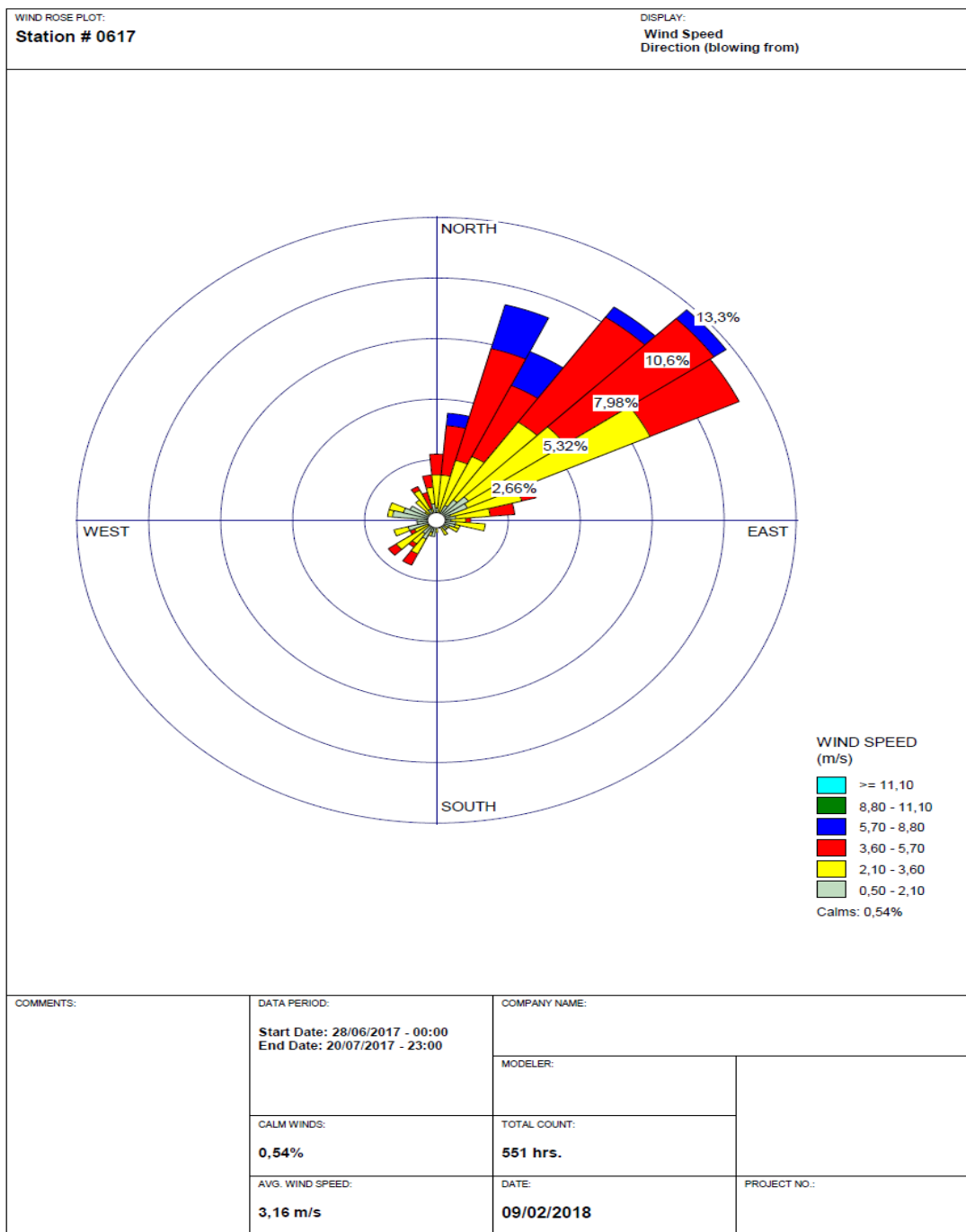
Fonte: (Arquivo Pessoal)

Apêndice N. Amostrador passivo no Parque Getúlio Vargas, em Caxias do Sul, em janeiro de 2018.

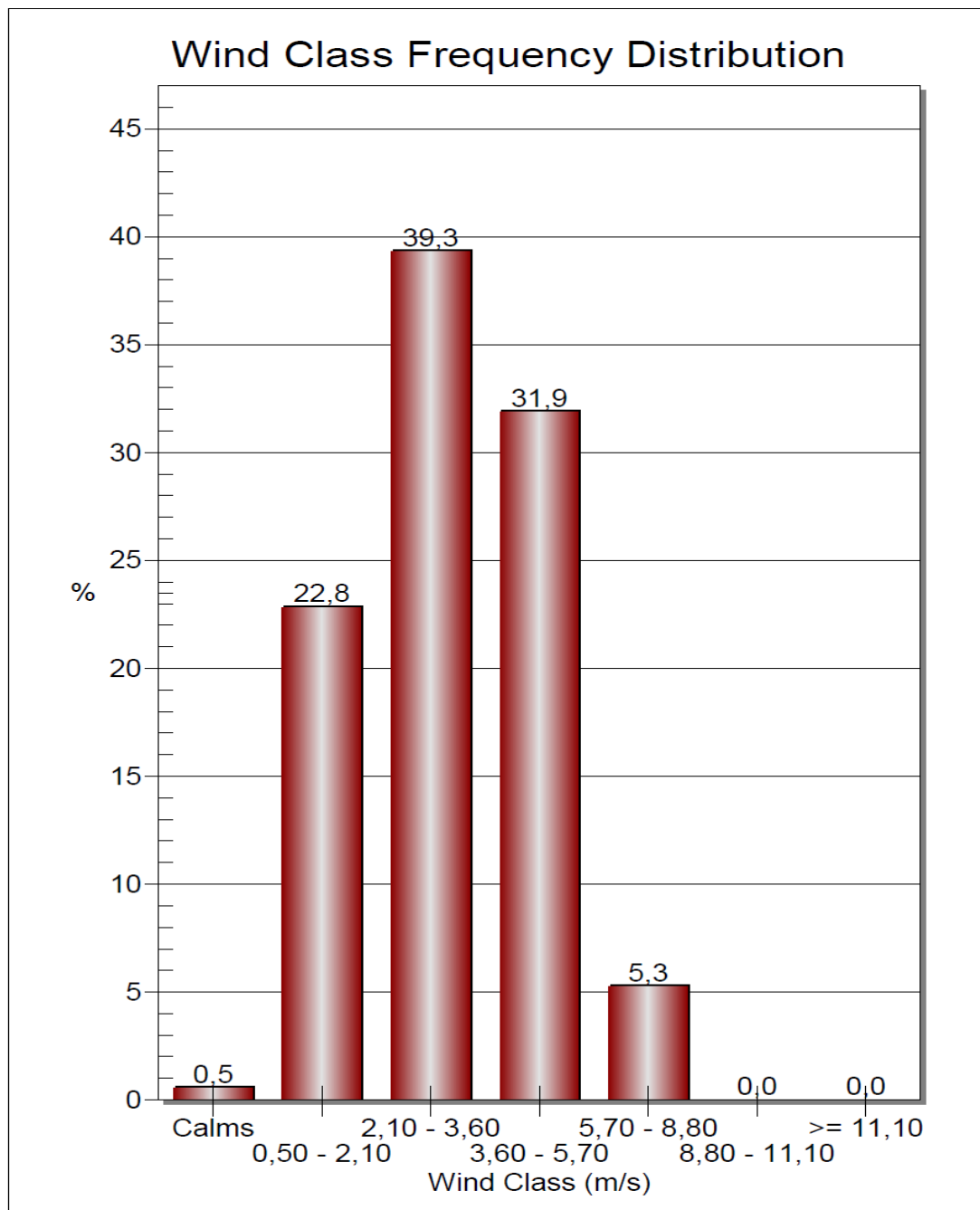


Fonte: (Arquivo Pessoal)

Apêndice O. Rosa dos ventos do período de 28 de junho de 2017 a 20 de julho de 2017, em Caxias do Sul.

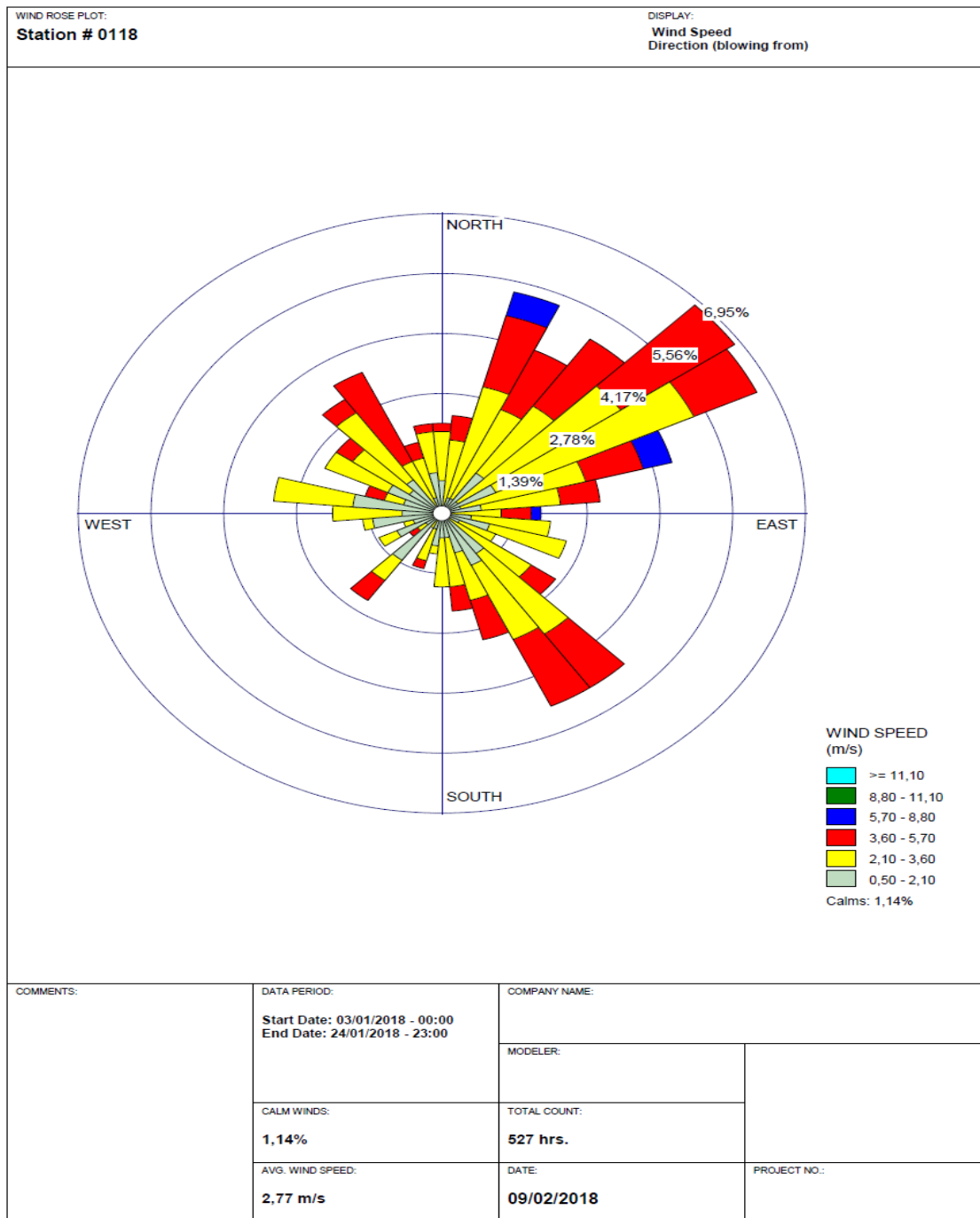


Apêndice P. Classificação dos ventos, em Caxias do Sul, no período de 28 de junho de 2017 a 20 de julho de 2017.

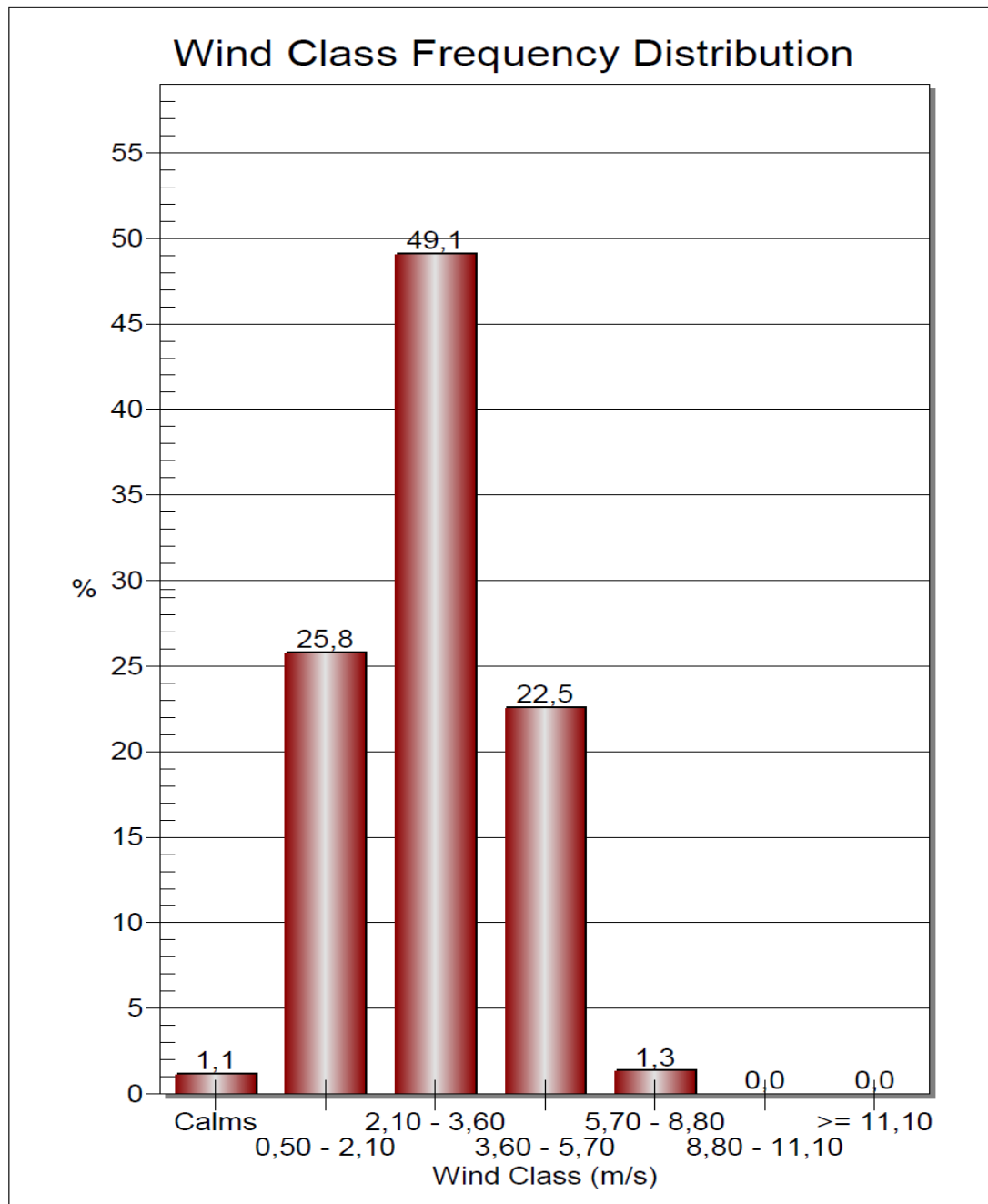


WRPLOT View Freeware 9.0.0 - Lakes Environmental Software

Apêndice Q. Rosa dos ventos do período de 03 a 24 de janeiro de 2018, em Caxias do Sul.



Apêndice R. Classificação dos ventos, em Caxias do Sul, no período de 03 a 24 de janeiro de 2018.



WRPLOT View Freeware 8.0.0 - Lakes Environmental Software

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: O caso dos condutores de transporte público.

ANEXOS

Anexo A. Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998.

PORTARIA Nº 3.523, DE 28 DE AGOSTO DE 1998

O Ministro de Estado da Saúde, no uso das atribuições que lhe confere o artigo 87, Parágrafo único, item II, da Constituição Federal e tendo em vista o disposto nos artigos 6º, I, "a", "c", V, VII, IX, § 1º, I e II, § 3º, I a VI, da Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990;

Considerando a preocupação mundial com a Qualidade do Ar de Interiores em ambientes climatizados e a ampla e crescente utilização de sistemas de ar condicionado no país, em função das condições climáticas;

Considerando a preocupação com a saúde, o bem-estar, o conforto, a produtividade e o absenteísmo ao trabalho, dos ocupantes dos ambientes climatizados e a sua inter-relação com a variável qualidade de vida;

Considerando a qualidade do ar de interiores em ambientes climatizados e sua correlação com a Síndrome dos Edifícios Doentes relativa à ocorrência de agravos à saúde;

Considerando que o projeto e a execução da instalação, inadequados, a operação e a manutenção precárias dos sistemas de climatização, favorecem a ocorrência e o agravamento de problemas de saúde;

Considerando a necessidade de serem aprovados procedimentos que visem minimizar o risco potencial à saúde dos ocupantes, em face da permanência prolongada em ambientes climatizados, resolve:

Art. 1º Aprovar Regulamento Técnico contendo medidas básicas referentes aos procedimentos de verificação visual do estado de limpeza, remoção de sujidades por métodos físicos e manutenção do estado de integridade e eficiência de todos os

componentes dos sistemas de climatização, para garantir a Qualidade do Ar de Interiores e prevenção de riscos à saúde dos ocupantes de ambientes climatizados.

Art. 2º Determinar que serão objeto de Regulamento Técnico a ser elaborado por este Ministério, medidas específicas referentes a padrões de qualidade do ar em ambientes climatizados, no que diz respeito a definição de parâmetros físicos e composição química do ar de interiores, a identificação dos poluentes de natureza física, química e biológica, suas tolerâncias e métodos de controle, bem como pré-requisitos de projetos de instalação e de execução de sistemas de climatização.

Art. 3º As medidas aprovadas por este Regulamento Técnico aplicam-se aos ambientes climatizados de uso coletivo já existentes e aqueles a serem executados e, de forma complementar, aos regidos por normas e regulamentos específicos.

Parágrafo Único - Para os ambientes climatizados com exigências de filtros absolutos ou instalações especiais, tais como aquelas que atendem a processos produtivos, instalações hospitalares e outros, aplicam-se as normas e regulamentos específicos, sem prejuízo do disposto neste Regulamento.

Art. 4º Adotar para fins deste Regulamento Técnico as seguintes definições:

- a) ambientes climatizados: ambientes submetidos ao processo de climatização.
- b) ar de renovação: ar externo que é introduzido no ambiente climatizado.
- c) ar de retorno: ar que recircula no ambiente climatizado.
- d) boa qualidade do ar interno: conjunto de propriedades físicas, químicas e biológicas do ar que não apresentem agravos à saúde humana.
- e) climatização: conjunto de processos empregados para se obter por meio de equipamentos em recintos fechados, condições específicas de conforto e boa qualidade do ar, adequadas ao bem-estar dos ocupantes.

- f) filtro absoluto: filtro de classe A1 até A3, conforme especificações do Anexo II.
- g) limpeza: procedimento de manutenção preventiva que consiste na remoção de sujidade dos componentes do sistema de climatização, para evitar a sua dispersão no ambiente interno.
- h) manutenção: atividades técnicas e administrativas destinadas a preservar as características de desempenho técnico dos componentes ou sistemas de climatização, garantindo as condições previstas neste Regulamento Técnico.
- i) Síndrome dos Edifícios Doentes: consiste no surgimento de sintomas que são comuns à população em geral, mas que, numa situação temporal, pode ser relacionado a um edifício em particular. Um incremento substancial na prevalência dos níveis dos sintomas, antes relacionados, proporciona a relação entre o edifício e seus ocupantes.

Art. 5º Todos os sistemas de climatização devem estar em condições adequadas de limpeza, manutenção, operação e controle, observadas as determinações, abaixo relacionadas, visando a prevenção de riscos à saúde dos ocupantes:

- a) manter limpos os componentes do sistema de climatização, tais como: bandejas, serpentinas, umidificadores, ventiladores e dutos, de forma a evitar a difusão ou multiplicação de agentes nocivos à saúde humana e manter a boa qualidade do ar interno.
- b) utilizar, na limpeza dos componentes do sistema de climatização, produtos biodegradáveis devidamente registrados no Ministério da Saúde para esse fim.
- c) verificar periodicamente as condições física dos filtros e mantê-los em condições de operação. Promover a sua substituição quando necessária.
- d) restringir a utilização do compartimento onde está instalada a caixa de mistura do ar de retorno e ar de renovação, ao uso exclusivo do sistema de climatização. É proibido conter no mesmo compartimento materiais, produtos ou utensílios.
- e) preservar a captação de ar externo livre de possíveis fontes poluentes externas que apresentem riscos à saúde humana e dotá-la no mínimo de filtro classe G1 (um), conforme as especificações do Anexo II.
- f) garantir a adequada renovação do ar de interior dos ambientes climatizados, ou seja no mínimo de 27m³/h/pessoa.

g) descartar as sujidades sólidas, retiradas do sistema de climatização após a limpeza, acondicionadas em sacos de material resistente e porosidade adequada, para evitar o espalhamento de partículas inaláveis.

Art. 6º Os proprietários, locatários e prepostos, responsáveis por sistemas de climatização com capacidade acima de 5 TR (15.000 kcal/h = 60.000 BTU/H), deverão manter um responsável técnico habilitado, com as seguintes atribuições:

a) implantar e manter disponível no imóvel um Plano de Manutenção, Operação e Controle - PMOC, adotado para o sistema de climatização. Este Plano deve conter a identificação do estabelecimento que possui ambientes climatizados, a descrição das atividades a serem desenvolvidas, a periodicidade das mesmas, as recomendações a serem adotadas em situações de falha do equipamento e de emergência, para garantia de segurança do sistema de climatização e outros de interesse, conforme especificações contidas no Anexo I deste Regulamento Técnico e NBR 13971/97 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

b) garantir a aplicação do PMOC por intermédio da execução contínua direta ou indireta deste serviço.

c) manter disponível o registro da execução dos procedimentos estabelecidos no PMOC.

d) divulgar os procedimentos e resultados das atividades de manutenção, operação e controle aos ocupantes.

Parágrafo Único - O PMOC deverá ser implantado no prazo máximo de 180 dias, a partir da vigência deste Regulamento Técnico.

Art. 7º O PMOC do sistema de climatização deve estar coerente com a legislação de Segurança e Medicina do Trabalho. Os procedimentos de manutenção, operação e controle dos sistemas de climatização e limpeza dos ambientes climatizados, não devem trazer riscos a saúde dos trabalhadores que os executam, nem aos ocupantes dos ambientes climatizados.

Art. 8º Os órgãos competentes de Vigilância Sanitária farão cumprir este Regulamento Técnico, mediante a realização de inspeções e de outras ações pertinentes,

com o apoio de órgãos governamentais, organismos representativos da comunidade e ocupantes dos ambientes climatizados.

Art. 9º O não cumprimento deste Regulamento Técnico configura infração sanitária, sujeitando o proprietário ou locatário do imóvel ou preposto, bem como o responsável técnico, quando exigido, às penalidades previstas na Lei nº 6.437, de 20 de agosto de 1977, sem prejuízo de outras penalidades previstas em legislação específica.

Art. 10. Esta Portaria entra em vigor na data da sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

JOSÉ SERRA

Anexo B. RESOLUÇÃO nº 491, de 19 de novembro de 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE CONSELHO NACIONAL DO MEIO
AMBIENTE

RESOLUÇÃO N. 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018

Correlação:

- Revoga a Resolução Conama nº 03/1990 e os itens 2.2.1 e 2.3 da Resolução Conama nº 05/1989 Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de julho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno e o que consta do Processo Administrativo nº 02000.002704/2010-22, e

Considerando que os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar são parte estratégica do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR, como instrumentos complementares e referenciais ao PRONAR; Considerando como referência, os valores guia de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005, bem como seus critérios de implementação, resolve:

Art. 1º Esta Resolução estabelece padrões de qualidade do ar.

Art. 2º Para efeito desta resolução são adotadas as seguintes definições:

I - poluente atmosférico: qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade;

II - padrão de qualidade do ar: um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera,

associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica;

III - padrões de qualidade do ar intermediários - PI: padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas;

IV - padrão de qualidade do ar final - PF: valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde – OMS em 2005;

V - episódio crítico de poluição do ar: situação caracterizada pela presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos;

VI - Plano de Controle de Emissões Atmosféricas: documento contendo abrangência, identificação de fontes de emissões atmosféricas, diretrizes e ações, com respectivos objetivos, metas e prazos de implementação, visando ao controle da poluição do ar no território estadual ou distrital, observando as estratégias estabelecidas no Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR;

VII - Material Particulado MP10: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 micrômetros;

VIII - Material Particulado MP2,5: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 micrômetros;

IX - Partículas Totais em Suspensão - PTS: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 50 micrômetros;

X - Índice de Qualidade do Ar - IQAR: valor utilizado para fins de comunicação e informação à população que relaciona as concentrações dos poluentes monitorados aos possíveis efeitos adversos à saúde.

Art. 3º Ficam estabelecidos os Padrões de Qualidade do Ar, conforme Anexo I.

§ 1º O Chumbo no material particulado é um parâmetro a ser monitorado em áreas específicas, em função da tipologia das fontes de emissões atmosféricas e a critério do órgão ambiental competente.

§ 2º As Partículas Totais em Suspensão - PTS e o material particulado em suspensão na forma de fumaça - FMC são parâmetros auxiliares, a serem utilizados em situações específicas, a critério do órgão ambiental competente.

§ 3º Ficam definidas como condições de referência a temperatura de 25°C e a pressão de 760 milímetros de coluna de mercúrio (1.013,2 milibares).

§ 4º Adota-se como unidade de medida de concentração dos poluentes atmosféricos o micrograma por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) com exceção do Monóxido de Carbono que será reportado como partes por milhão (ppm).

Art. 4º Os Padrões de Qualidade do Ar definidos nesta Resolução serão adotados sequencialmente, em quatro etapas.

§ 1º A primeira etapa, que entra em vigor a partir da publicação desta Resolução, compreende os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários PI-1.

§ 2º Para os poluentes Monóxido de Carbono - CO, Partículas Totais em Suspensão - PTS e Chumbo - Pb será adotado o padrão de qualidade do ar final, a partir da publicação desta Resolução.

§ 3º Os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários e Final - PI-2, PI-3 e PF serão adotados, cada um, de forma subsequente, levando em consideração os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar,

elaborados pelos órgãos estaduais e distrital de meio ambiente, conforme os artigos 5º e 6º, respectivamente.

§ 4º Caso não seja possível a migração para o padrão subsequente, prevalece o padrão já adotado.

§ 5º Caberá ao órgão ambiental competente o estabelecimento de critérios aplicáveis ao licenciamento ambiental, observando o padrão de qualidade do ar adotado localmente.

Art. 5º Os órgãos ambientais estaduais e distrital deverão elaborar, em até 3 anos a partir da entrada em vigor desta Resolução, um Plano de Controle de Emissões Atmosféricas que deverá ser definido em regulamentação própria.

§ 1º O Plano de Controle de Emissões Atmosféricas deverá considerar os Padrões de Qualidade definidos nesta Resolução, bem como as diretrizes contidas no PRONAR.

§ 2º O Plano de Controle de Emissões Atmosféricas deverá conter:

I- abrangência geográfica e regiões a serem priorizadas;

II - identificação das principais fontes de emissão e respectivos poluentes atmosféricos; e

III - diretrizes e ações com respectivos objetivos, metas e prazos de implementação.

§ 3º Os órgãos ambientais estaduais e distrital elaborarão, a cada 3 anos, relatório de acompanhamento do plano, indicando eventuais necessidades de reavaliação, garantindo a sua publicidade.

§ 4º O Plano a que se refere o caput, juntamente com os resultados alcançados na sua implementação, deverá ser encaminhado ao Ministério do Meio Ambiente no primeiro trimestre do quinto ano da publicação desta Resolução.

Art. 6º Os órgãos ambientais estaduais e distrital elaborarão o Relatório de Avaliação da Qualidade do Ar anualmente, garantindo sua publicidade.

Parágrafo único. O relatório de que trata o caput deve conter os dados de monitoramento e a evolução da qualidade do ar, conforme conteúdo mínimo estabelecido no Anexo II, e

resumo executivo, de forma objetiva e didática, com informações redigidas em linguagem acessível.

Art. 7º O Ministério do Meio Ambiente deverá consolidar as informações disponibilizadas pelos órgãos ambientais estaduais e distrital referentes ao Plano de Controle de Emissões Atmosféricas e Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar e apresentá-las ao CONAMA até o final do quinto ano da publicação desta Resolução, de forma a subsidiar a discussão sobre a adoção dos padrões de qualidade do ar subsequentes.

Art. 8º Para fins do monitoramento da qualidade do ar, o Ministério do Meio Ambiente, em conjunto com os órgãos ambientais estaduais e distrital, no prazo de 12 meses após a entrada em vigor desta Resolução, elaborará guia técnico contendo, dentre outros, os métodos de referência adotados e os critérios para utilização de métodos equivalentes, da localização dos amostradores e da representatividade temporal dos dados e sistematização do cálculo do índice de qualidade do ar, conforme estabelecido no Anexo IV.

Parágrafo único. Os órgãos ambientais competentes definirão os métodos de medição da qualidade do ar até a publicação do guia técnico mencionado no caput.

Art. 9º O Ministério do Meio Ambiente elaborará relatório anual de acompanhamento e o apresentará na última reunião ordinária do CONAMA.

Art. 10. Os órgãos ambientais estaduais e distrital deverão elaborar, com base nos níveis de atenção, de alerta e de emergência, um Plano para Episódios Críticos de Poluição do Ar, a ser submetido à autoridade competente do estado ou do Distrito Federal, visando medidas preventivas com o objetivo de evitar graves e iminentes riscos à saúde da população, de acordo com os poluentes e concentrações, constantes no Anexo III.

Parágrafo único. O Plano mencionado no caput deverá indicar os responsáveis pela declaração dos diversos níveis de criticidade, devendo essa declaração ser divulgada em quaisquer dos meios de comunicação de massa.

Art. 11. Os níveis de atenção, alerta e emergência a que se refere o art. 10 serão declarados quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas

desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 horas subsequentes, for excedida uma ou mais das condições especificadas no Anexo III.

Parágrafo único. Durante a permanência dos níveis acima referidos, as fontes de poluição do ar ficarão, na área atingida, sujeitas às restrições previamente estabelecidas no Plano para Episódios Críticos de Poluição do Ar.

Art. 12. O Ministério do Meio Ambiente e os órgãos ambientais estaduais e distrital deverão divulgar, em sua página da internet, dados de monitoramento e informações relacionados à gestão da qualidade do ar.

Art. 13. Os órgãos ambientais estaduais e distrital deverão divulgar Índice de Qualidade do Ar - IQAR conforme definido no Anexo IV.

§ 1º Para cálculo do IQAR deverá ser utilizada a equação 1 do Anexo IV, para cada um dos poluentes monitorados.

§ 2º Para definição da primeira faixa de concentração do IQAR deverá ser utilizado como limite superior o valor de concentração adotado como PF para cada poluente.

§ 3º As demais faixas de concentração da IQAR e padronizações serão definidas no guia técnico a que se refere o art. 8º.

Art. 14. Fica revogada a Resolução CONAMA nº 03/1990 e os itens 2.2.1 e 2.3 da Resolução CONAMA nº 5/1989.

Art. 15. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

ROMEU MENDES DO CARMO

Presidente do Conselho

ANEXO I
PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm
Material Particulado - MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-
¹ - média aritmética anual						
² - média horária						
³ - máxima média móvel obtida no dia						
⁴ - média geométrica anual						
⁵ - medido nas partículas totais em suspensão						

ANEXO II
CONTEÚDO MÍNIMO PARA O RELATÓRIO AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR

1 - Resumo executivo.

1. Descrição das características da região do estado e do Distrito Federal:
 - a) Condições Meteorológicas
 - b) Uso e ocupação do solo
 - c) Outras características consideradas relevantes
2. Descrição da rede de monitoramento
3. Poluentes Atmosféricos monitorados
4. Redes de Monitoramento
5. Tipos de Rede e Parâmetros Monitorados
 - a) Rede Automática
 - b) Rede Manual
6. Metodologia de Monitoramento
7. Metodologia de Tratamento dos Dados
8. Representatividade de Dados
 - a) Rede Automática
 - b) Rede Manual
9. Representatividade espacial das estações
10. Descrição das fontes de poluição do ar
11. Considerações gerais sobre estimativas de emissão de fontes móveis e fontes estacionárias
12. Apresentação dos resultados quanto aos poluentes
13. Medidas de gestão implementadas
14. Referências legais e bibliográficas

ANEXO III
NÍVEIS DE ATENÇÃO, ALERTA E EMERGÊNCIA PARA POLUENTES E SUAS CONCENTRAÇÕES

Nível	Poluentes e concentrações					
	SO ₂ µg/m ³ (média de 24h)	Material Particulado		CO ppm (média móvel de 8h)	O ₃ µg/m ³ (média móvel de 8h)	NO ₂ µg/m ³ (média de 1h)
		MP ₁₀ µg/m ³ (média de 24h)	MP _{2,5} µg/m ³ (média de 24h)			
Atenção	800	250	125	15	200	1.130
Alerta	1.600	420	210	30	400	2.260
Emergência	2.100	500	250	40	600	3.000

SO₂ = dióxido de enxofre; MP10 = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 µm;

MP_{2,5} = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 µm; CO = monóxido de carbono;

O₃ = ozônio; NO₂ = dióxido de nitrogênio µg/m³; ppm = partes por milhão.

ANEXO IV

Qualidade	Índice	MP ₁₀	MP _{2,5}	O ₃	CO	NO ₂	SO ₂
		(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(ppm)	(µg/m ³)	(µg/m ³)
		24h	24h	8h	8h	1h	24h
N1 – Boa	0 – 40	0 – 50	0 – 25	0 – 100	0 – 9	0 – 200	0 – 20

Equação 1 - Cálculo do Índice de Qualidade do Ar

$$IQAr = I_{ini} + \frac{I_{fin} - I_{ini}}{C_{fin} - C_{ini}} \times (C - C_{ini})$$

Onde:

I_{ini} = valor do índice que corresponde à concentração inicial da faixa.

I_{fin} = valor do índice que corresponde à concentração final da faixa.

C_{ini} = concentração inicial da faixa onde se localiza a concentração medida.

C_{fin} = concentração final da faixa onde se localiza a concentração medida.

C = concentração medida do poluente.

Anexo C. Código Estadual do Meio Ambiente.

O Código Estadual do Meio Ambiente instituído pela Lei Estadual n.º 11.520 de 03 de agosto de 2000, estabelece critérios de utilização e conservação do ar, através do Capítulo III - Da Utilização e Conservação do Ar, subdividido em nove artigos, cujos mais importantes são mostrados a seguir:

Artigo 149

Estabelece Classes de Uso, para o território do Rio Grande do Sul, visando a implementar uma política de preservação de deterioração significativa da qualidade do ar. As classes definidas são:

I - Área Classe I : são classificadas todas as áreas de preservação, lazer e turismo, tais como Unidades de conservação, estâncias hidrominerais e hidrotermais (nacionais, estaduais e municipais) onde deverá ser mantida a qualidade do ar sem a intervenção da atividade humana;

II - Área Classe II : são assim classificadas todas as áreas não classificadas como I ou II;

III - Área Classe III : são assim classificadas todas as áreas que abrigam Distritos Industriais criados por legislação própria.

Artigo 153

Determina que as fontes emissoras de poluentes atmosféricos, em seu conjunto, localizadas em áreas de Distrito Industrial, classificadas como Classe III, deverão lançar seus poluentes em quantidades e condições tais que: não ocasionem concentrações, ao nível do solo, superiores aos padrões primários de qualidade do ar, dentro dos limites geográficos do Distrito Industrial; e não ocasionem concentrações, ao nível do solo, superiores aos padrões secundários de qualidade do ar, fora dos limites geográficos do Distrito Industrial.

Anexo D. Vista do satélite de Caxias do Sul – Brasil.



Fonte: <http://www.cidade-brasil.com.br/vista-satelite-caxias-do-sul.html>

Anexo E. Acreditação PASSAM.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Federal Department of Economic Affairs,
Education and Research EAER
State Secretariat for Economic Affairs SECO
Swiss Accreditation Service SAS

Swiss Confederation

Based on the Accreditation and Designation Ordinance dated 17 June 1996 and on the advice of the Federal Accreditation Commission, the Swiss Accreditation Service (SAS) grants to

passam ltd.
Schellenstrasse 44
CH-8708 Männedorf

the accreditation as

Testing laboratory for air analysis by diffusive samplers of ambient, indoor and workplace areas and analysis with help spectrophotometry, gas- and ion chromatography

in accordance with the Standard ISO/IEC 17025. The scope of accreditation is defined in the Official Directory of the Accredited Testing Laboratories.

Accreditation mark and number:  STS 149
Date of accreditation: 27 March 1996
Date of the last renewal of accreditation: 01 April 2014
The accreditation is valid until: 31 March 2019

CH-3003 Berne-Wabern, 16 April 2014
Swiss Accreditation Service



The Head
Konrad Flück

SAS is a signatory of the multilateral agreements of the European co-operation for Accreditation (EA) for calibration, testing, inspection and certification of products, personnel, quality and environmental management systems, of the International Accreditation Forum (IAF) for certification of products, quality and environmental management systems and of the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for calibration and testing.

Anexo F. Amostradores passivos de NO₂

Performance

Diffusion tube for Nitrogen dioxide

Nitrogen dioxide is a toxic gas which may have both chronic and acute adverse health effects and may increase the frequency and severity of lower respiratory symptoms. Nitrogen dioxide plays an important role as a precursor in the formation of ozone and oxidants. The sources for nitrogen dioxide are mainly motor traffic, but also domestic fires and combustion processes in industry.

The sampler is based on that of Palmes and is a passive device requiring no power for its operation. It collects NO₂ by molecular diffusion along an inert tube to an absorbent, in this case triethanolamine. The sampler, which is shown in the following diagram, consists of a polypropylene tube of 9.8 mm internal diameter and 7.35 cm length. The samplers are placed in a special shelter to protect them from rain and minimize the wind influence



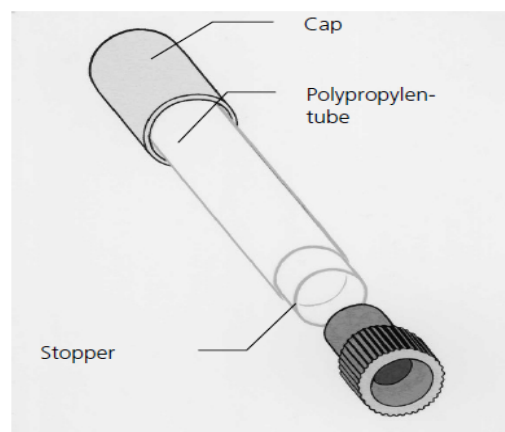
Diffusion tubes for Nitrogen dioxide and protective shelter

In use the samplers are mounted vertically and the lower stopper is removed at the onset of sampling allowing NO₂ to be transported by molecular diffusion up the tube to the TEA, where it is retained. The plug is replaced at the end of sampling and the collected NO₂ determined spectrophotometrically by the well-established Saltzman method. Sampling periods range usually from one to two weeks.

Air quality standards differ from country to country:

European Union	40 µg/m ³
Switzerland	30 µg/m ³
USA	100 µg/m ³

The long-term standards can be monitored. For short term loads the 95th or 98th percentiles are defined as the limits. These cannot be registered with this method. Evaluations of measurements of NO₂ immissions at multiple measurement stations close to transport routes in various regions over many years have revealed that the ratio of the 98% value to the arithmetic mean generally lies between 2.0 and 2.2.



Diffusone tube for Nitrogen dioxide

The diffusive sampler is suitable for area wide surveillance of nitrogen dioxide, e.g. for the characterization of trends resulting from the implementation of state plans.

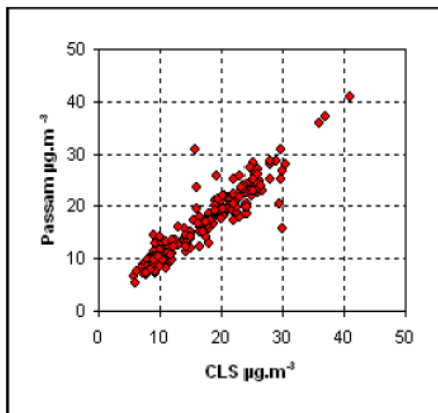
The influence of traffic projects on air quality can be assessed in an easy and low cost way. The sampler is suitable as well for personal monitoring in epidemiological studies.



Accredited according ISO/IEC 17025 STS 149

www.passam.ch

Specifications



In France passam samplers were extensively compared to the chemiluminescence reference method]. During the years 2005, 2007 and 2008 samplers were exposed side-by-side with the reference method at 6 locations with exposure periods of 4 weeks, resulting in a total of 181 valid data pairs [1].

When subjecting the data to the evaluation of equivalence [2] the following results are found.

REGRESSION OUTPUT	
slope b	0,975
uncertainty of b	0,010 significant
intercept a	0,1
uncertainty of a	0,19
number of data pairs	181
EQUIVALENCE TEST RESULTS	
random term	2,4 µg/m ³
bias at LV	-0,9 µg/m ³
combined uncertainty	2,6 µg/m ³
relative uncertainty	6,4% pass
reference uncertainty	1,0 µg/m ³
limit value	40 µg/m ³

The evaluation reveals excellent agreement between the results of both methods. The resulting uncertainty - 13% for a 95% confidence level - fulfills the 15% uncertainty requirement for fixed measurements of NO₂.

Sampling rate	0.8536 ml/min 0.7340 ml/min	corrected to 9°C with modification of LANUV Germany
Working range		1 – 200 µg/m ³
Sampling time		1 – 4 weeks
Detection limit	0.3 µg/m ³	monthly exposures
External influences:	wind speed turbulences at kerbsites temperature humidity	Influence of wind speed m/sec using protection shelters may rise uptake rate, membranes recommended no influence between 5 to 40°C no influence between 20 to 80%
Storage	before use: after exposure:	24 months 6 months
Cross sensitivity		nitric oxide and sulphur dioxide do not interfere, peroxyacetyl nitrate will give higher results
Expanded uncertainty*	18.4 %	at concentration levels of 20 - 40 µg/m ³

References

[1] Review of the application of diffusive samplers for the measurement of nitrogen dioxide in ambient air in the European Union. EUR 23793 EN-2009; ISBN978-92-79-12052-7

[2] Guide to the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods.
<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/assessment.htm>.

passam ag

Männedorf/Switzerland
passam@passam.ch

Anexo G. Carta de aprovação do estudo.



Universidade Fernando Pessoa
www.ufp.pt

Exmo. Senhor
Prof. Doutor Álvaro Monteiro
Diretor da FCT

Porto, 01 de Julho de 2016

Exmo. Senhor Prof. Doutor,

A Comissão de Ética, depois de re-apreciado o projeto de dissertação de Sandra Magali Gomboski (3º Ciclo de Ecologia e Saúde Ambiental) intitulado "Os efeitos da poluição atmosférica na saúde respiratória: o caso dos condutores de transporte público", aprova a realização do estudo.

Com os melhores cumprimentos.

A Vice-Presidente da
Comissão de Ética da UFP


Susana Teixeira



Fundação Ensino e Cultura "Fernando Pessoa"

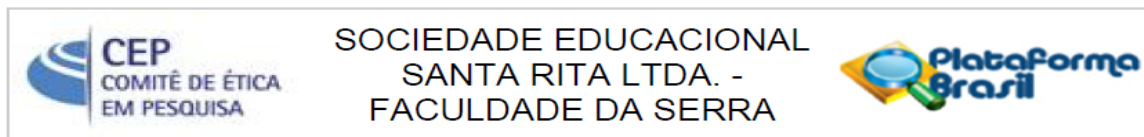
BNPC: 501 051 602 - Reg. Comercial n.º 26 Conservatória do Registo Comercial do Porto

REIJE: DRBA - I Faculdade de Ciências Humanas e Sociais - I Faculdade de Ciência e Tecnologia | Praça 9 de Abril, 349 - 4249-004 Porto-Portugal - T: +351 22 507 1300 - F: +351 22 550 8269 - geral@ufp.pt

I Faculdade de Ciências da Saúde I I Escola Superior de Saúde | R. Carlos Da Maia, 296 - 4200-150 Porto - Portugal - T: +351 22 507 4630 - F: +351 22 507 4637 - R. Dethm-Maia, 334 - 4200-253 Porto - Portugal

T: +351 22 509 6371 - geral.esaude@ufp.pt. UNIDADE de Ponte de Lima - Casa da Garrida - R. Conde de Berrandino - 4990-078 Ponte de Lima-Portugal - T: +351 258 741 026 - F: +351 258 741 412 - geral.plima@ufp.pt

Anexo H. Parecer Consubstanciado do CEP.



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde e capacidade pulmonar de motoristas de ônibus de Caxias do Sul.

Pesquisador: Sandra Magali Gomboski

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 51368215.8.0000.5668

Instituição Proponente: Sociedade Educacional Santa Rita Ltda

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.489.252

Apresentação do Projeto:

A pesquisa trata de assunto atual e tem como objetivo realizar a avaliação da função pulmonar em motoristas de ônibus expostos à poluição atmosférica na cidade de Caxias do Sul.

O projeto não apresenta o tópico introdução separadamente do referencial teórico.

O projeto apresenta redação ortográfica e formatação adequada.

A introdução apresenta o trabalho de forma clara, a escolha do tema é justificada. O trabalho não apresenta referencial teórico. A metodologia está adequada.

O(a) pesquisador(a) tem formação na área da proposta do projeto.

Objetivo da Pesquisa:

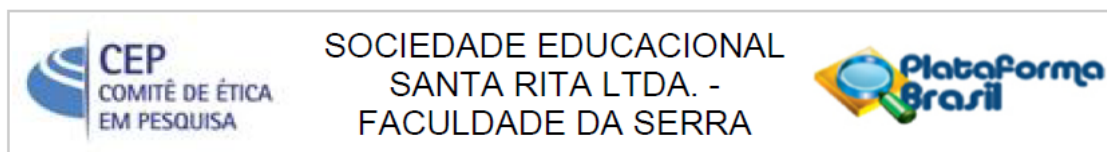
O objetivo primário está condizente com a problematização do projeto, e os objetivos secundários têm aderência com o objetivo primário.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os riscos relatados estão bem descritos e são claros para o pesquisado. É apresentado que será realizado o armazenamento e sigilo dos dados.

O pesquisador apresenta a descrição da magnitude dos riscos e apresenta de maneira detalhada o controle destes riscos. A pesquisa será realizada de forma individual, evitando assim possíveis

Endereço: Rua Os Dezoito do Forte, 2366
Bairro: São Pelegrino **CEP:** 95.020-472
UF: RS **Município:** CAXIAS DO SUL
Telefone: (54)2101-6073 **E-mail:** cep@fsg.br



Continuação do Parecer: 1.489.252

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Sem pendências.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_631615.pdf	09/03/2016 21:55:39		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO_corrigido_FRANCIELI.pdf	09/03/2016 21:51:04	Sandra Magali Gomboski	Aceito
Outros	CURRICULO.pdf	25/11/2015 20:15:37	Sandra Magali Gomboski	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	DCIE.pdf	25/11/2015 20:13:01	Sandra Magali Gomboski	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto.pdf	25/11/2015 20:05:59	Sandra Magali Gomboski	Aceito
Recurso Anexado pelo Pesquisador	QUESTIONARIO.pdf	25/11/2015 19:55:38	Sandra Magali Gomboski	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Francieli_Dalegrave.pdf	25/11/2015 19:52:10	Sandra Magali Gomboski	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	25/11/2015 19:30:44	Sandra Magali Gomboski	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

CAXIAS DO SUL, 12 de Abril de 2016

Assinado por:
Patricia Kelly Wilmsen Dalla Santa Spada
(Coordenador)

Endereço: Rua Os Dezoito do Forte, 2366
Bairro: São Pelegrino **CEP:** 95.020-472
UF: RS **Município:** CAXIAS DO SUL
Telefone: (54)2101-6073 **E-mail:** cep@fsg.br