

Análise da qualidade do ar em Caçador e Fraiburgo/SC pela quantificação de ozônio troposférico utilizando amostradores passivos

Analysis of air quality in Caçador and Fraiburgo/SC by quantification of tropospheric ozone using passive samplers

Cassio Geremia Freire, Daniel Moretto, João Vitor Pavelski, Lecilda Reichardt, Letícia Geniqueli Reichardt, Milena Dellai, Natalia Dos Santos Bortolozzo

Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP)

Departamento de Ciências Biológicas e da Saúde

cassio.geremia@uniarp.edu.br, danielmoretto20@gmail.com, joaovitorpavelski@hotmail.com, lecilda_reichardt@hotmail.com, leticia_reichardt@hotmail.com, milenadellai@gmail.com, natalia.bortolozzo@outlook.com

Resumo. O ozônio é um importante gás presente em maior concentração em grandes altitudes da atmosfera e que auxilia na absorção da radiação ultravioleta proveniente do Sol. Entretanto, quando presente na baixa atmosfera (troposfera), pode ocasionar danos aos seres vivos, incluindo diferentes problemas respiratórios em seres humanos e danos ambientais. Devido ao aumento demográfico evidenciado nos últimos anos, os municípios de Caçador e Fraiburgo, meio-oeste catarinense, tiveram um significativo aumento em sua frota veicular, uma das principais fontes geradoras de poluição atmosférica. Apesar disso, não existem registros sobre o monitoramento da qualidade do ar nestes municípios, que são importantes na tomada de decisões sobre saúde pública nestas cidades. Devido ao exposto, o presente estudo teve como objetivo quantificar a concentração troposférica de ozônio em diferentes localidades de Caçador e Fraiburgo. A concentração de ozônio foi determinada por método espectrofotométrico em amostras de ar coletadas em quatro localidades de Caçador e uma de Fraiburgo. Os resultados permitiram concluir que a maior concentração de ozônio foi determinada na Avenida Salgado Filho, centro de Caçador, com média de $30,907 \pm 4,97 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$. Enquanto isso, as concentrações de ozônio variaram entre 17 e $21 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ na Passarela Uniarp (Caçador), Avenida Santa Catarina (Caçador), Bairro dos Municípios (Caçador) e Bairro Bela Vista (Fraiburgo). As concentrações de ozônio observadas não ultrapassaram os padrões estipulados pela Resolução CONAMA nº 03 de 1990, evidenciando que a qualidade do ar nas localidades monitoradas é boa, considerando-se unicamente as concentrações deste poluente.

Palavras-chave: O₃. Qualidade do ar. Poluentes atmosféricos. Difusão de gases.

Abstract. Ozone is an important gas present in higher concentration at high altitudes of the atmosphere and that assists in the absorption of ultraviolet radiation from the Sun. However, when present in the lower atmosphere (troposphere), it can cause damage to living beings, including different respiratory problems in humans and environmental damage. Due to the demographic increase evidenced in recent years, the municipalities of Caçador and Fraiburgo, mid-west of Santa Catarina, had a significant increase in their vehicle fleet, one of the main sources of air pollution. Despite this, there are no records on air quality monitoring in these municipalities, which are important in public health decision making in these cities. Due to the above, the present study aimed to quantify the tropospheric concentration of ozone in

InterfacEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade

Vol. 13 no 2 – dezembro de 2018, São Paulo: Centro Universitário Senac

ISSN 1980-0894

Portal da revista InterfacEHS: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/>

E-mail: interfacehs@sp.senac.br

Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Sem Derivações 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) 

different locations of Caçador and Fraiburgo. The ozone concentration was determined by spectrophotometric method in air samplers collected in four locations of Caçador and one of Fraiburgo. The results allowed to conclude that the highest concentration of ozone was determined at Salgado Filho Avenue, Caçador's center, with a mean of $30,907 \pm 4,97 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$. Meanwhile, ozone concentrations varied between 17 and 21 $\mu\text{g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ in the Uniarp Footbridge (Caçador), Santa Catarina Avenue (Caçador), Municípios Neighborhood (Caçador) and Bela Vista Neighborhood (Fraiburgo). The observed concentrations of ozone did not exceed the standards stipulated by CONAMA Resolution nº 03 of 1990, evidencing that the air quality in the monitored localities is good, considering only the concentrations of this pollutant.

Key words: *O₃. Air quality. Atmosphere pollutants. Gases diffusion.*

1. Introdução

O ozônio (O₃) é um gás presente naturalmente em maiores concentrações na estratosfera, onde é capaz de absorver radiações ultravioletas provenientes do Sol e reduzir a sua incidência sobre a superfície terrestre (THOMPSON; TURK, 1999). Entretanto, o ozônio também pode ser formado na camada mais inferior da atmosfera, a troposfera, onde é considerado um dos poluentes de maior impacto à saúde pública no mundo (SOUZA *et al.*, 2004) e um dos indicadores de qualidade do ar (WHO, 2019).

Na troposfera, o ozônio pode induzir vários problemas de saúde em humanos, como irritação do sistema respiratório, perda parcial ou total da função pulmonar, aumento dos quadros clínicos de asma e o seu agravamento em indivíduos susceptíveis (WHO, 2019), além do aumento da mortalidade infantil (SALDIVA *et al.*, 1994). Além disso, o O₃ pode ocasionar inibição da capacidade fotossintética de vegetais, o que ocasiona impactos negativos em florestas naturais e na produção agrícola, como danos foliares (GRAVANO *et al.*, 2004) e redução significativa no desenvolvimento vegetal (ASHMORE *et al.*, 2004).

O ozônio é considerado um poluente secundário por ser produzido a partir de reações fotoquímicas entre poluentes primários, emitidos por fontes emissoras, e gases presentes na atmosfera (SOUZA *et al.*, 2004). Um dos principais mecanismos de formação de O₃ troposférico é conhecido como *smog* (BAIRD, 2002). O *smog* é uma neblina, ou fumaça, de tonalidade amarelo-amarronzada que ocorre principalmente sobre áreas urbanas que apresentam grande quantidade de poluentes atmosféricos (SEINFELD; PANDIS, 1998).

Diferentes mecanismos estão envolvidos na formação do *smog*, mas um dos principais ocorre pela reação entre COVs (compostos orgânicos voláteis, provenientes principalmente da queima de combustíveis fósseis), os óxidos de nitrogênio (NO_x, provenientes de reações em escapamentos veiculares) e o próprio oxigênio do ar com fótons de radiação ultravioleta (*hν*), como pode ser evidenciado na equação global simplificada a seguir (Equação 1) (MANAHAN, 2010).



A produção de ozônio troposférico é influenciada significativamente pela produção de poluentes primários, como os liberados por veículos que utilizam combustíveis fósseis, pelo relevo da região e pelo clima (BAIRD; CANN, 2011). As variações de temperatura e pluviosidade, por exemplo, são fatores determinantes na produção de ozônio troposférico, pois interferem tanto na sua produção quanto em sua distribuição (THOMPSON; TURK, 1999). As concentrações de ozônio troposférico geralmente são diretamente proporcionais ao aumento da temperatura e inversamente proporcionais a pluviosidade (ATKINSON-PALOMBO *et al.*, 2006), logo, estações do ano mais quentes e com baixa pluviosidade tendem a apresentar maiores concentrações de ozônio. Apesar disso, ainda existem variações relacionadas a outros fatores, como o relevo e, por isso, diferentes parâmetros de qualidade de ar são determinados para diferentes países.

Para o Brasil, segundo a resolução CONAMA nº 03 de 1990 sobre qualidade do ar, os padrões primário e secundário de níveis seguros de O₃ na troposfera correspondem a 160 µg m⁻³ h⁻¹. Concentrações que excedam o estipulado por esta resolução, indicam que a qualidade do ar pode estar inadequada para a saúde humana em relação ao ozônio (FIORAVANTE *et al.*, 2015). Diferentes estudos sugerem que o excesso de produção de ozônio na troposfera de cidades está relacionado principalmente ao aumento do número de veículos circulantes em determinado local, devido a estes liberarem poluentes primários que contribuem diretamente para a formação de O₃ (ALVIM *et al.*, 2011; CAMPOS *et al.*, 2006).

Caçador e Fraiburgo são dois municípios situados no meio-oeste de Santa Catarina que têm crescido economicamente. Nos últimos cinco anos, as populações destes municípios aumentaram aproximadamente 10%, configurando 76.500 e 36.000 habitantes em 2016, respectivamente (IBGE, 2017). Com o aumento populacional, ocorreu também o aumento do número de veículos, o que configura um aumento na quantidade de poluentes primários liberados na atmosfera (BAIRD; CANN, 2011). O município de Caçador, por exemplo, teve sua frota veicular total aumentada de 34.500, em dezembro de 2010, para 48.000 veículos em maio de 2017 (DETRAN, 2017), um aumento aproximado de 40%. Este aumento é quatro vezes maior que o aumento populacional. De modo semelhante, o município de Fraiburgo teve sua frota veicular aumentada em 41% no mesmo período, com 21.570 veículos em maio de 2017 (DETRAN, 2017).

Apesar do crescimento populacional e veicular em Caçador e Fraiburgo, não existem dados sobre a quantificação de poluentes atmosféricos, como o ozônio, até o presente momento nestes municípios. Tais dados são extremamente importantes para a verificação da qualidade do ar nestes locais e a tomada de decisões sobre saúde pública para a população. Diante deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo quantificar as concentrações de ozônio troposférico em diferentes locais de Caçador e Fraiburgo/SC utilizando amostradores passivos, com o intuito de diagnosticar a qualidade do ar referente a este poluente.

2. Material e Métodos

2.1 Pontos de Amostragem

A quantificação de ozônio foi determinada em diferentes localidades de Caçador e Fraiburgo, municípios do meio-oeste de Santa Catarina, conforme Tabela 01 e Figura 01. O clima nestes municípios é classificado, segundo Köppen, como mesotérmico do tipo Cfb (subtropical úmido e ausência de estação seca). Apresentam uma temperatura média anual de 16,6 °C, com temperaturas mínima e máxima de 11 e 22,5 °C, respectivamente (KURASZ, 2005). Além disso, a precipitação média anual é de, aproximadamente, 1.600 mm (DLUGOSZ *et al.*, 2005).

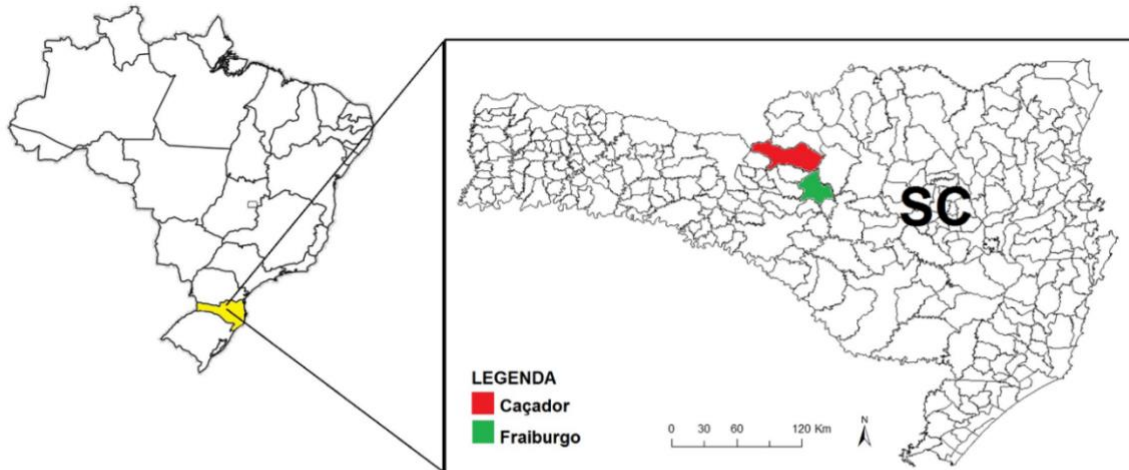
Tabela 01. Descrição e coordenadas geográficas dos pontos de amostragem de ozônio troposférico em Caçador e Fraiburgo/SC

Pontos	Definição	Coordenadas ¹	Altitude (m)
A	Passarela Uniarp (Caçador/SC)	26°46'40.91"S 51°00'23.93"O	936
B	Bairro dos Municípios (Caçador/SC)	26°46'15.38"S 51°02'09.62"O	965
C	Avenida Salgado Filho (Caçador/SC)	26°46'47.61"S 51°00'31.78"O	925
D	Avenida Santa Catarina (Caçador/SC)	26°46'34.05"S 51°00'46.36"O	930
E	Bairro Bela Vista (Fraiburgo/SC)	27°01'18.60"S 50°55'58.40"W	1025

¹Coordenadas geográficas obtidas através de GPS Garmin® GPSMAP 64 e Google Earth 2017®. Fonte: os autores

Os pontos A, B, C, D e E estão identificados no mapa dos municípios de Caçador e Fraiburgo, conforme Figura 01.

Figura 01. Pontos de amostragem de quantificação de ozônio nos municípios de Caçador e Fraiburgo, meio-oeste de Santa Catarina.



Legenda: imagens de vista superior dos municípios obtidos pelo software Google Earth® 2017, evidenciando os pontos de amostragem de ozônio (A, B, C, D e E).

Fonte: os autores

2.2 Métodos de Amostragem

Para a análise de ozônio, utilizaram-se amostradores passivos de difusão de gases, compostos por tubos cilíndricos opacos de polietileno, com 87 mm de comprimento e diâmetro de 28 mm, segundo Figura 02. Discos de fibra de vidro (Whatman® Cal 1820125), com 27 mm de diâmetro, foram impregnados com 140 µL de solução absorvedora de O₃ (BUCCO, 2010) e acomodados no fundo de cada amostrador. Os amostradores foram envoltos com papel alumínio e a abertura foi coberta com gaze hidrofílica estéril (Figura 02).

Figura 02. Tubo plástico utilizado como amostrador passivo de difusão gasosa para a quantificação de ozônio troposférico em Caçador e Fraiburgo/SC.



Legenda: Os tubos foram envoltos por papel alumínio e a abertura foi coberta com gaze hidrofílica estéril.

Fonte: os autores.

Quatro amostradores passivos foram fixados aproximadamente a 3,1 metros do solo, conforme recomendações da US-EPA (2017), em cada uma das localidades descritas na Tabela 01. Estes amostradores permaneceram expostos aos ambientes por 165 horas durante o mês de maio de 2017, durante o outono. Os dados de temperatura e precipitação, durante a semana de amostragem de ozônio na região de Caçador e Fraiburgo, foram obtidos da EPAGRI-CIRAM (2017) e ACCUWEATHER (2017).

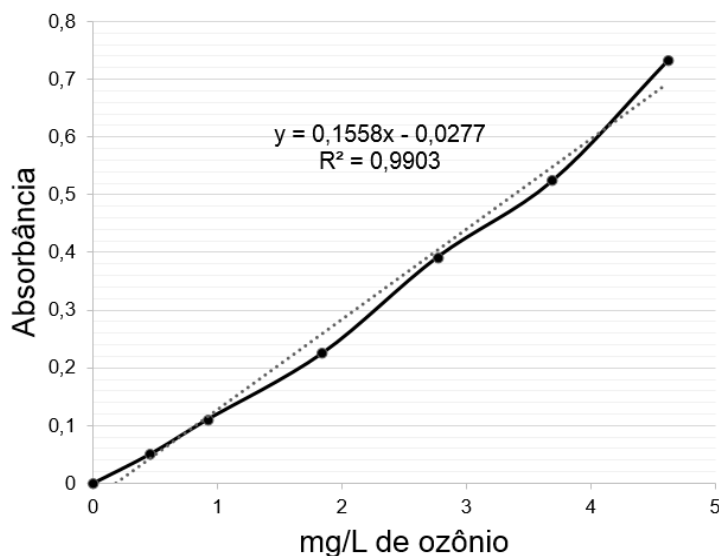
2.3 Quantificação Troposférica de Ozônio

As concentrações de ozônio troposférico foram determinadas por espectrofotometria de acordo com método proposto por Bucco (2010). Para isso, uma curva padrão de ozônio (Figura 03) foi estabelecida pelo uso de solução estoque de ozônio (SHECHTER, 1973), produzindo soluções de concentrações entre 0 e 4,615 mg L⁻¹ de O_{3(aq)}. Estas soluções foram lidas em espectrofotômetro UV (UV-1601, Shimadzu®) em 366 nm, gerando a curva padrão e a equação linear observada na Figura 03.

Para a determinação da concentração de O₃ presente nos filtros dos amostradores, cada filtro foi individualmente colocado em balão volumétrico de 100 mL e então se adicionaram 25 mL de Solução Reagente de O₃ (KI_(aq) 1,0% m v⁻¹). O balão foi tampado e agitado por 1 minuto até a desintegração do filtro na solução. Após isso, as soluções foram filtradas em filtros de celulose (Whatman® n^o1) e

rapidamente lidas em espectrofotômetro UV (UV-1601, Shimadzu®) a 366 nm, comparados ao branco (Solução Reagente de O₃).

Figura 03. Curva padrão de ozônio obtida a partir de soluções estoque.



Legenda: Soluções estoque produzidas pela dissolução de iodeto de potássio (KI) e iodo (I₂) em água, seguido pela leitura espectrofotométrica a 366 nm, conforme Shechter (1973).

Fonte: os autores.

Os valores de absorbância foram transformados em concentração mg L⁻¹ na solução de O₃ pela equação linear da curva padrão (Figura 03). Após isso, a concentração troposférica foi determinada utilizando-se uma equação modificada da primeira lei de difusão de Fick, como evidenciado pela Equação 02 (CRUZ; CAMPOS, 2002).

$$C = \frac{m \cdot L}{D \cdot A \cdot t} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde C é a concentração externa de O₃ (μg m⁻³ h⁻¹); m é a massa total coletada pela amostragem (μg); L é o comprimento do percurso difusivo no tubo (m); D é o coeficiente de difusão (0,3999 m² h⁻¹ para o O₃, conforme MASSMAN, 1998); A é a área da secção transversal do percurso de difusão no tubo (m²); e t é o tempo de amostragem (h).

2.4 Análises estatísticas

A amostragem de ozônio e o experimento foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizado. As concentrações obtidas foram avaliadas utilizando o teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e, por não serem normais, foram transformadas utilizando a expressão $1/\sqrt{x}$. Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e separados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os programas Microsoft Excel 2017® e Assistat versão 7.7 beta (pt) (SILVA; AZEVEDO, 2009) foram utilizados.

3. Resultados e Discussão

No presente estudo foi constatada influência do local de amostragem na quantificação de ozônio troposférico ($p < 0,001$). Como evidenciado na Tabela 02, a maior concentração de ozônio foi observada na Avenida Salgado Filho, centro de Caçador. A concentração de O_3 determinada neste ponto é aproximadamente 50% maior que a observada para a Passarela da Uniarp (Caçador) e quase 82% superior a quantidade de O_3 encontrada no Bairro Bela Vista, em Fraiburgo, por exemplo.

Tabela 02. Concentração troposférica de ozônio em diferentes localidades de Caçador e Fraiburgo, municípios do meio-oeste de Santa Catarina, em maio de 2017

Ponto de Amostragem	Concentração de $O_3 \pm$ desvio padrão* ($\mu\text{g m}^{-3} \text{h}^{-1}$ de ar)
Avenida Salgado Filho (Caçador/SC)	30,907 \pm 4,97 a
Passarela Uniarp (Caçador/SC)	20,942 \pm 1,38 b
Bairro dos Municípios (Caçador/SC)	18,212 \pm 0,32 b
Avenida Santa Catarina (Caçador/SC)	17,335 \pm 1,83 b
Bairro Bela Vista (Fraiburgo/SC)	16,991 \pm 2,40 b
CV(%)	5,30

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. *Dados originais ($n=4$) apresentados. Para a análise estatística dos dados, estes foram transformados em $1/\sqrt{x}$.

As concentrações de ozônio variaram entre 16,99 e 20,94 $\mu\text{g m}^{-3} \text{h}^{-1}$ de ar nos pontos Passarela da Uniarp, Bairro dos Municípios e Avenida Santa Catarina em Caçador, e Bairro Bela Vista em Fraiburgo (Tabela 02). Os dados de concentrações determinadas nestes pontos de amostragem não diferiram entre si ($p < 0,05$) e, como era esperado, foram inferiores à determinada na Avenida Salgado Filho, pois nestes locais os amostradores passivos ficaram expostos em ruas com um menor fluxo de veículos. Pode-se deduzir, deste modo, que a maior concentração de O_3 observada na Avenida Salgado Filho, possivelmente se deve à maior quantidade de veículos automotores circulantes nesta rua, incluindo ônibus de transporte público e de empresas locais, além de caminhões de transportadoras que entram ou saem do centro da cidade. É importante salientar que a frota veicular do município de Caçador teve um aumento aproximado de 40% na última década, chegando a aproximadamente 50.000 veículos circulantes (DETRAN, 2017).

Segundo Atkinson-Palombo *et al.* (2006), o aumento no número de veículos automotores em certa região intensifica a produção de óxidos de nitrogênio (NO_2 e NO) e de COVs na atmosfera, o que contribuiu para a maior formação de O_3 troposférico, principalmente em decorrência de reações fotoquímicas em períodos mais quentes do dia. Na região metropolitana de São Paulo, por exemplo, foi determinado que 77% das emissões de hidrocarbonetos (como os COVs) e 80% da emissão de óxidos de nitrogênio são provenientes de fontes móveis como os veículos automotores (CETESB, 2013).

Verificou-se ainda que todos os pontos de amostragem em Caçador e Fraiburgo apresentaram concentrações de ozônio relativamente baixas ($<31 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ de ar) e inferiores ao padrão primário ($160 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ de ar) estipulado pela legislação brasileira (CONAMA, 1990). Isso indica que a qualidade de ar nos pontos amostrados pode ser considerada como boa, analisando-se apenas o poluente ozônio (FIORAVANTE *et al.*, 2015). Apesar disso, dados de periodicidade e sazonalidade poderão ser indícios mais precisos da concentração de ozônio presente nos municípios, já que as concentrações de ozônio variam significativamente com as variações de temperatura e pluviosidade observadas nas diferentes estações do ano.

Assim como observado para Caçador e Fraiburgo, mesmo algumas regiões de grandes cidades como São Paulo e Rio de Janeiro também apresentam valores inferiores ao padrão primário do CONAMA. Segundo dados da CETESB (2016), em 46 estações de monitoramento de ozônio na cidade de São Paulo, no ano de 2016, o índice de $160 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ foi ultrapassado apenas em 76 dias, principalmente nos meses de abril, novembro e dezembro, devido a altas temperaturas e taxas de insolação. Também na grande São Paulo, Trotta e Pereira (2010) determinaram uma concentração média de $64,2 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ na cidade de Sorocaba, devido à maior atividade automobilística e industrial, segundo estes autores. Além disso, na cidade de São João da Barra, Rio de Janeiro, foi determinada uma concentração média de $33,5 \mu\text{g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ de ozônio, muito próximo do quantificado para a Rua Salgado Filho no presente trabalho.

Além da quantidade de veículos circulantes, o clima é outro fator determinante da produção e dispersão do ozônio nas localidades. Durante o período de amostragem de ozônio em Caçador, a temperatura variou entre 8 e 23 °C, conforme gráfico da Figura 04, e ocorreu uma precipitação de apenas 4 mm (EPAGRI-CIRAM, 2017). As médias baixas de temperatura e pluviosidade são características do mês de maio em Caçador, devido à estação outonal, e também podem ter influenciado nos índices de ozônio determinado neste município.

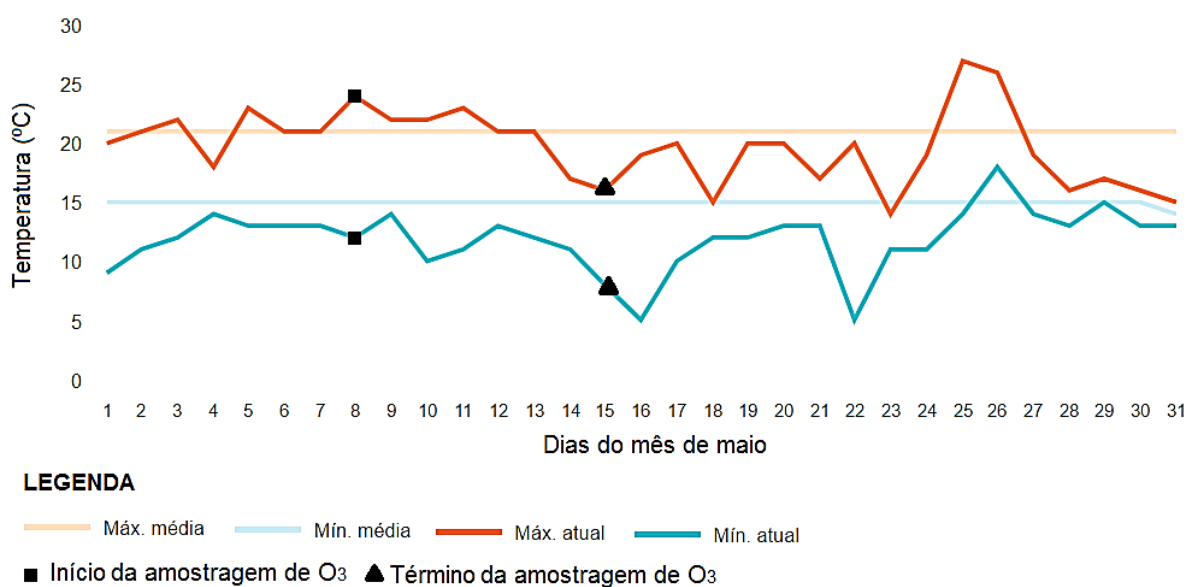


Figura 04. Temperaturas mínimas e máximas reais e históricas para o mês de maio em Caçador.

Legenda: Os amostradores passivos de ozônio permaneceram nos pontos de amostragem do dia 08 até o dia 15 de maio de 2017.

Fonte: Adaptado de EPAGRI-CIRAM (2017) e ACCUWEATHER (2017).

Caçador é considerado um dos municípios de maior amplitude térmica do Brasil e geralmente possui temperaturas que ultrapassam os 30 °C entre janeiro e março (EPAGRI-CIRAM, 2019). Apesar disso, a quantificação de ozônio no presente trabalho foi determinada no mês de maio, em que foram observadas temperaturas mais baixas (entre 12 e 24 °C). Estas menores temperaturas podem ter influenciado nas baixas concentrações de ozônio observadas no presente trabalho, em que todas as amostragens foram inferiores ao padrão primário (160 µg m⁻³ h⁻¹ de ar) (CONAMA, 1990).

Estudos de Seinfeld e Pandis (1998) indicam que existe influência significativa das estações do ano sobre a quantificação de ozônio, indicando que fatores como temperatura, pluviosidade e velocidade do vento são determinantes na produção e residência neste gás na troposfera. Francisco *et al.* (2016), por exemplo, determinaram maiores concentrações de ozônio nos meses mais quentes do ano, fevereiro e setembro, em Araraquara/SP. De modo semelhante, Galichio e Fornaro (2009), verificaram que as concentrações máximas de ozônio para a cidade de São Paulo ocorreram durante a primavera, enquanto as mínimas foram observadas no inverno.

No presente trabalho foi verificado que nenhum dos pontos amostrados durante o outono possui concentração de ozônio troposférico acima do padrão primário nacional (CONAMA, 1990). Verifica-se, entretanto, que novas amostragens de ozônio e outros poluentes podem ser feitas durante diferentes meses, com o intuito de constatar se a qualidade do ar em Caçador e Fraiburgo é boa durante as diferentes estações.

4. Conclusões

Todos os pontos de amostragem de ozônio em Caçador e Fraiburgo evidenciaram concentrações inferiores às estipuladas pelo CONAMA nº 03 de 1990, indicando que a qualidade do ar é boa em relação a este poluente.

Dentre os pontos amostrados, a Avenida Salgado Filho é a que demonstrou maior concentração troposférica de ozônio, possivelmente devido ao maior fluxo de veículos automotores neste local em relação aos outros pontos de amostragem.

Agradecimentos

À Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP), pela disponibilização de materiais analíticos e aparelhagem.

Referências

ACCUWEATHER. **Temperatura em Caçador em maio, 2017**. Disponível em: <<https://www.accuweather.com/pt/br/cacador/41297/may-weather/41297>>. Acessado em jun, 2017.

ALVIM, D. S.; GATTI, L. V.; SANTOS, M. L.; YAMAZAKI, A. Estudos dos compostos orgânicos voláteis precursores de ozônio na cidade de São Paulo. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.16 n. 2, p-189-196, 2011.

ASHMORE, M.; EMBERSON, L.; KARLSSON, P. E.; PLEIJEL, H. New directions: a new generation of ozone critical levels for the protection of vegetation in Europe. **Atmospheric Environment**, v. 38, n. 15, p. 2213-2214, 2004.

ATKINSON-PALOMBO, C.; MILLER, J. A.; BALLING, Jr.; ROBERT, C. Quantifying the ozone "weekend effect" at various locations in Phoenix, Arizona. **Atmospheric Environment**, 40, p.7644-7658, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.05.023>

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Trad. Maria Angeles Loco Recio e Luiz Carlos MarquesCarrera. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4 ed. Bookman, 2011. 844p.

BUCCO, M. V. S. **Construção e testes de validação de amostradores passivos para dióxido de nitrogênio e ozônio**. 114p. Dissertação (Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

CAMPOS, V. P.; SANTOS, L. P.; TAVARES, T. M.; [...] *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. **Quim. Nova**, Vol. 29, No. 4, 872-875, 2006.

CARVALHO, V. S. B.; FREITAS, E. D.; MARTINS, L. D.; MARTINS, J. A.; MAZZOLI, C. R.; ANDRADE, M. F. Air quality status and trends over the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil as a result of emission control policies. **Environment Science & Policy**, 47, p.68-79, 2015.

CETESB. **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo**: relatório técnico, São Paulo: CETESB, 2013. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2013/12/relatorio-ar-2013.pdf>>. Acessado em jun., 2017

CETESB. **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo**: relatório técnico, São Paulo: CETESB, 2016. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2013/12/relatorio-ar-2016.pdf>>. Acessado em jun., 2017.

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990 sobre qualidade do ar**. Publicação DOU, p.15937-15939, 1990.

CRUZ, L. P. S.; CAMPOS, V. P. Amostragem passiva de poluentes atmosféricos. Aplicação ao SO₂, **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n.3, p. 406-411, 2002.

DETRAN. **Estatística veicular por cidade**. Disponível em: <<http://www.detran.sc.gov.br/index.php/estatistica/veiculos>>. Acessado em jun, 2017.

EPAGRI/CIRAM. **Monitoramento Climático On-Line**. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=98&Itemid=198>. Acessado em maio, 2017.

EPAGRI/CIRAM. **Monitoramento Climático On-Line**. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=98&Itemid=198>. Acessado em maio, 2019.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Brasil em síntese. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/sc/>>. Acessado em jun., 2017.

KURASZ, G. **Sistema de Informações Geográficas aplicado ao Zoneamento Ambiental da Reserva Florestal Embrapa/Epagri, Caçador-SC**. 137p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005.

DLUGOSZ, F.; ROSOT, N, ROSOT, A.; OLIVEIRA, Y. de. Uso da segmentação por crescimento de regiões em imagem Ikonos na discriminação de tipologias da Floresta Ombrófila Mista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 12, 2005, Goiânia. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1493-1500. CD-ROM.

FIORAVANTE, Edwan F.; BRESCIA, Carla A. e LIU, Beverly, W. Y. **Ocorrências de concentrações máximas de ozônio e temperatura no município de Belo Horizonte, Minas Gerais**; 2015. Disponível em <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/t012.pdf>>. Acessado em maio, 2017.

FRANCISCO, A. P.; ALVIM, D.; GATTI, L.; PESQUERO, C.; ASSUNÇÃO, J. V. Ozônio troposférico e compostos orgânicos voláteis em região impactada pela agroindústria canvieira. **Química Nova (Online)**, v. 39, n. 10, pp.1177-1183, 2016. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20160132>.

GALICHIO, W.; FORNARO, A. Estudo da relação entre ozônio e parâmetros meteorológicos na atmosfera de São Paulo. **Ciência e Natura**, pp.213-216, 2009.

GRAVANO, E.; BUSSOTTI, F.; STRASSER, R. J.; SCHAUB, M.; NOVAK, K.; SKELLY, J.; TANI, C. Ozone symptoms in leaves of woody plants in open-top chambers: ultrastructural and physiological characteristics. **Physiologia Plantarum**, v. 121, n. 4, p. 620-633, 2004.

MANAHAN, S. E. **Environmental Chemistry. Photochemical smog**. Boca Raton: CRC Press LLC. 9a edição, 2010.

MASSMAN, W. J. A review of the molecular diffusivities of H₂O, CO₂, CH₄, CO, O₃, SO₂, NH₃, N₂O, NO, and NO₂ in air, O₂ and N₂ near STP. **Atmospheric Environment**, v. 32, n.2, p.1111-1127, 1998.

SALDIVA, P. H. N.; LICHTENFELS, A. J. C. F.; PAIVA, P. S. O.; BARONE, I. A.; MARTINS, M. A.; MASSAD, E.; PEREIRA, J. C. R.; XAVIER, V. P.; SINGER, J. M.; BOLIM, G. M. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. **Environmental Research**, 65, p.218-225, 1994.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric Chemistry and Physics**. From Air Pollution to Climate Changes. Wiley, New York, 1998, 1326p.

SHECHTER, H. Spectrophotometric method for determination of ozone in aqueous solutions. **Water Research**, v. 7, p. 729-739, 1973.

SOUZA, K. A. F. de; FELIX, E. P.; CARDOSO, A. A. Ozônio: um problema analítico e ambiental para o século XXI. **Saneamento Ambiental**, n. 110, p. 36-40, 2004.

US-EPA. **American Environmental Protection Agency**. Code of Federal Regulation, 40. pt., 58. Ambient Air surveillance (1996). Disponível em: <<https://www.epa.gov/ozone-pollution>>. Acessado em jun., 2017.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2009.

THOMPSON, G. R.; TURK, J. **Earth Science and the Environment**. Saunders College Publishing: USA, 1999.

TROTTA, J.; PEREIRA, E. A. Análise da concentração de ozônio troposférico em amostras de ar na cidade de Sorocaba. **33ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/cdrom/33ra/resumos/T1439-1.pdf>>. Acesso em: 31 de maio de 2017.

WHO. **World Health Organization**. Air Quality Guidelines for Europe, 2ª ed., WHO Regional Publications, European Series, n. 91: Copenhagen, 2000. Disponível em <<http://www.who.int/publications/en/>>. Acessado em fevereiro, 2019.