

## OSÔNIO TROPOSFÉRICO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: EVIDÊNCIAS INTRODUTÓRIAS EM CURITIBA/PR

### TROPOSPHERIC OZONE AND CLIMATE CHANGE: INTRODUCTORY EVIDENCES IN CURITIBA / PR

FRANCISCO JABLINSKI CASTELHANO

Universidade Federal do Paraná

Av. Cel. Francisco H. Dos Santos, S/N, Curitiba-PR

E-mail: [fjcastelhana@gmail.com](mailto:fjcastelhana@gmail.com)

#### Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:

*Novembro/2018*

Data de Aprovação:

*Dezembro/2018*

#### **Resumo**

O Ozônio troposférico é um poluente secundário que se forma a partir da quebra de óxidos de nitrogênio pela ação da radiação solar e da presença de compostos orgânicos voláteis na atmosfera. Analisaram-se tendências para o ozônio troposférico e para o dióxido de nitrogênio através de dez anos de dados horários em dois locais distintos da cidade de Curitiba, região sul do Brasil. Em ambos os pontos, observou-se uma forte tendência ao crescimento do O<sub>3</sub> e um decréscimo nos níveis de NO<sub>2</sub>. A hipótese aqui defendida indica que o crescimento do O<sub>3</sub> observado em Curitiba, não acompanhado pelo NO<sub>2</sub> seria uma

repercussão de alterações na dinâmica climática da região, credenciando-o como um desafio neste novo século.

**Palavras-chave:** Mudanças Climáticas, Curitiba, ozônio troposférico

#### **Abstract**

The tropospheric ozone it's a secondary pollutant that is formed by the separation of nitrogen oxydes due to the action of solar radiation and the presence of volátil organic compounds in the atmosphere. Future trends for tropospheric ozone and dioxide nitrogen were analyzed throught ten years of hourly data in two diferent points of Curitiba, South region of Brazil. In both of then, a strong growing trend of O<sub>3</sub> and a decrease on the NO<sub>2</sub> were observed. The hypothesis defended here is that the increase of O<sub>3</sub> observed in Curitiba, not followed by the NO<sub>2</sub> would be a repercusion of a change on the climate dinamic of the region, accrediting it as a challenge of this new century.

**Keywords:** Climate Change, Curitiba, tropospheric ozon.

#### **1. Introdução**

Talvez aquele com maior apelo no imaginário popular no âmbito dos problemas ambientais ligados a cidade, a poluição do ar situa-se enquanto fruto da lógica de produção capitalista das cidades e está intrinsecamente relacionada as condições climáticas em situações interescales, sendo um problema enfrentado por todo o globo (MONTEIRO, 1976).

De acordo com relatório publicado pela Organização Mundial de Saúde (OMS,2016) a poluição do ar é responsável por cerca de 3 milhões de mortes anuais. O mesmo relatório aponta

que 90% da população mundial respira um ar que não se enquadra com os parâmetros de qualidade do ar da OMS.

O estado da qualidade do ar de um dado sítio, situa-se como fruto da relação entre fatores espaciais distintos, condicionados por fatores meteorológicos agindo sob uma dada localidade, portanto, não se pode afirmar que o clima é o grande responsável pela presença de poluentes na atmosfera.

Esta concepção é defendida por Ayoade (1986) ao apontar que a intensidade da poluição atmosférica em determinado local tem duas variáveis principais, o índice de poluentes emitidos, e o índice de dispersão e diluição de tais poluentes. O primeiro, fator determinante, remete-se a produção do espaço urbano e modo de vida, enquanto que o segundo, um condicionante, relaciona-se principalmente a condições meteorológicas.

Entende-se por isso que um dado local pode apresentar condições meteorológicas das mais propícias para acúmulo de poluição, contudo, na ausência de fontes emissoras, estas condições não surtirão efeitos na qualidade do ar, todavia, se as emissões estiverem em níveis extremos, mesmo condições meteorológicas que propiciam a dispersão dos poluentes não garantirão uma boa qualidade do ar.

A oscilação temporal e espacial de um poluente, em suas diversas escalas, responde, portanto, tanto a modificações no volume de emissões, quanto a dinâmica atmosférica.

Neste sentido, temperatura, chuvas, dinâmica do ar e umidade relativa do ar são os fatores meteorológicos que mais condicionam boas ou más condições de qualidade do ar (DERISIO, 2012). Vários são os estudos que demonstram as relações entre o clima e a qualidade do ar, mas em tempos de mudanças climáticas, novas abordagens são necessárias.

A teoria das mudanças climáticas globais antropogênicas parte do pressuposto de que o clima, que já se modificou severamente ao longo das eras geológicas, está a passar por modificações intensas em um período relativamente curto em consequência da atividade humana.

O grande paradigma climático da atualidade foca-se nas discussões acerca de mudanças climáticas globais e suas repercussões sobre as sociedades, dentre as quais, aumento nos níveis de poluição.

O relatório mais recente do IPCC já traz um alerta sobre o aumento da demanda por energia para resfriamento artificial de ambientes como possível desencadeador de aumentos nos níveis de poluição atmosférica urbana a depender das fontes geradoras de cada cidade (IPCC,2014), mas não aborda diretamente o efeito do clima enquanto condicionante a qualidade do ar.

Sabe-se por exemplo, que alterações no regime de chuvas em locais do globo podem trazer reflexos direto a flutuação temporal de determinados poluentes como o material particulado.

Partindo deste pressuposto este trabalho buscará evidenciar outra possível repercussão das mudanças climáticas na qualidade do ar, elucidando as tendências futuras para ozônio troposférico, poluente que tem sua gênese uma conexão direta com a temperatura do ar.

O objetivo deste trabalho está em introduzir a discussão sobre as repercussões das mudanças no clima nos níveis de Ozônio troposférico utilizando a cidade de Curitiba no estado do Paraná como estudo de caso.

O O<sub>3</sub> é considerado um poluente secundário, isto quer dizer que sua origem se dá por reações químicas envolvendo outros poluentes, neste caso o NO<sub>2</sub> e principalmente a ação da radiação solar enquanto agente fotolisante, e não diretamente por fontes emissoras.

Por tais razões, o O<sub>3</sub> pode ser apontado como um poluente com maior potencial de alteração ante a mudanças no clima justificando a necessidade de estudos sobre sua dinâmica.

## 2. Revisão Bibliográfica

Faz-se necessário uma pequena caracterização dos poluentes abordados neste trabalho e sua relação com o clima.

O NO<sub>2</sub>, segundo Baird (2002) é o responsável pela transformação química que gera o ozônio (O<sub>3</sub>). Segundo o autor, o primeiro poluente tem como fonte principal a queima de combustíveis fósseis por veículos. Baird cita uma grande influência dos ventos na dispersão deste poluente, e aponta uma ligação direta entre o tráfego de veículos e seus índices.

De acordo com Schirmer e Lisboa (2008) o químico é altamente sensível a luz e radiação, sofrendo o processo de fotólise que tem como resultado a dissociação da molécula de NO<sub>2</sub> em NO e um oxigênio atômico, que tem a possibilidade de reagir com o O<sub>2</sub> e compostos orgânicos voláteis (VOC), formando o O<sub>3</sub>, outro poluente.

Analisando a atmosfera de Houston, estado do Texas nos E.U.A, Kleinman et al. (2002) apontam uma relação clara entre os VOC's e o NO<sub>x</sub> na cidade. Segundo os autores, as localidades mais próximas as indústrias petroquímicas apontaram os maiores valores VOC's na atmosfera, fruto direto da emissão deste tipo de indústria, e por consequência também altos valores de O<sub>3</sub>

Em outro estudo realizado em São Paulo, Carvalho et al (2015) apontaram este poluente (O<sub>3</sub>) como o único com tendências a aumento quando comparados aos demais. Os autores apontam entre outros motivos, o crescimento na utilização de etanol como combustível, em função do aumento da frota de veículos com motores flex. Segundo sugerem os pesquisadores, a queima do etanol estaria aumentando os níveis de VOC's na cidade aumentando a produção do poluente.

Tal fato também foi relatado por Salvo e Geiger (2014) ao reportarem uma diminuição nos níveis de Ozônio troposférico na cidade como consequência de uma redução na queima de etanol e sua troca pela gasolina, em função de um aumento dos preços deste combustível no período analisado.

Segundo Seinfeld e Pandis (2006), para a formação do O<sub>3</sub> é necessário um dado equilíbrio entre NO<sub>x</sub> e VOC's, assim, altos níveis apenas de NO<sub>x</sub> ou apenas de VOC's não representam necessariamente altos níveis de O<sub>3</sub>.

Todavia, altos níveis de O<sub>3</sub> apresentam íntima relação com valores de temperatura em ambientes urbanos. O calor age como acelerador do processo, desencadeando um aumento nos níveis do poluente que independe do crescimento dos valores de NO<sub>x</sub> e VOC's (STATHOPOULOU ET AL, 2008; CLARK e KARL 1982; WALCEK e YUAN, 1999).

Igualmente, estudos relacionando o aumento global de temperaturas com o risco de incremento nos níveis de ozônio vem sendo realizados em diversas cidades do globo como elencado por Jacob e Winner (2009). Os autores realizam extensa revisão bibliográfica indicando uma série de indicações de que o O<sub>3</sub> é o poluente com maior potencial de incremento em função dos cenários climáticos que se desenham.

No estado Paraná, estudo de Silva e Guetter (2003) indica tendência a aumento nas temperaturas mínimas para a região centro-leste do estado, a relação desta variável com o ozônio em Curitiba foi atestada por Castelhana e Mendonça (2016) em Curitiba. Os autores demonstraram estaticamente alta correlações positivas do poluente com temperatura e níveis de radiação em cinco pontos de coleta da cidade.

Concentrações elevadas de O<sub>3</sub> são altamente danosas à saúde humana, afetando principalmente o sistema respiratório (ESTEVES ET AL, 2012 e LIPPMANN, 1989), justificando a necessidade do desenvolvimento de estudos a seu respeito.

### 3. Metodologia

Enquanto dados complementares, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> serão analisados no presente texto a partir de dez anos de dados horários coletados juntos a dois pontos da cidade de Curitiba (Figura 1), um na região norte da cidade, em uma área residencial (Santa Cândida), e outro localizado na região industrial do Aglomerado Urbano de Curitiba (AUC), na cidade de Araucária (CSN).

Ambos os dados foram fornecidos pelas estações oficiais de monitoramento do Instituto Ambiental do Paraná (IAP). A série do ponto CSN se inicia no início de 2005 e vão até o final de 2014. Devido ao grande número de falhas, para o cálculo da tendência da estação Santa Cândida optou-se por se iniciar a série em 2006, reduzindo-a para nove anos de dados.

O cálculo de tendência escolhido foi a metodologia de Theilisen. Observando que as series históricas dos poluentes são considerados não-normais e possuem uma variância de erro não-constante este método é considerado como o mais apropriado (CARSLAW, 2012), sendo comumente utilizado na descrição de comportamento e tendências de poluentes (MUNIR et al., 2013; ANCELET et al., 2015, BIGI e GHERMANDI, 2014; SZULECKA et al., 2017). O cálculo de Theilisen foi aplicado através do pacote Openair junto ao software R, o mesmo pelo qual se geraram os gráficos, que indicam a direção e força da linha de tendência e a média mensal do poluente analisado.

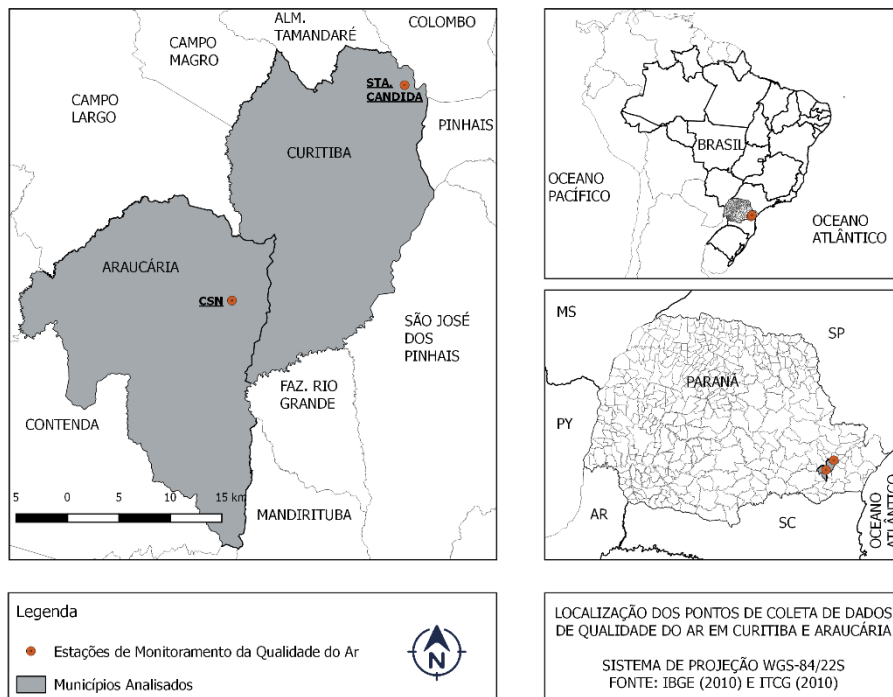


FIGURA 1: Localização dos pontos de Coleta de DadosOrg.: Castelhana (2018)

#### 4. Resultados

Os cálculos de tendência para o poluente  $\text{NO}_2$  revelaram que, em ambos os pontos de coleta, o poluente tem demonstrado um decréscimo significativo nos últimos dez anos. O decréscimo apontado pela figura 2, na estação CSN, na região industrial do AUC ainda apresenta menor intensidade quando comparado ao da estação Santa Candida (Figura 3).

O ano de 2012 ficou ainda marcado com altos valores para a estação CSN, mas a tendência geral neste ponto nos últimos dez anos tem de fato registrado um decréscimo no poluente. Já na estação Santa Cândida, a tendência a queda é mais forte, com registros mais intensos no início da série e valores cada vez menores com o decorrer do tempo.

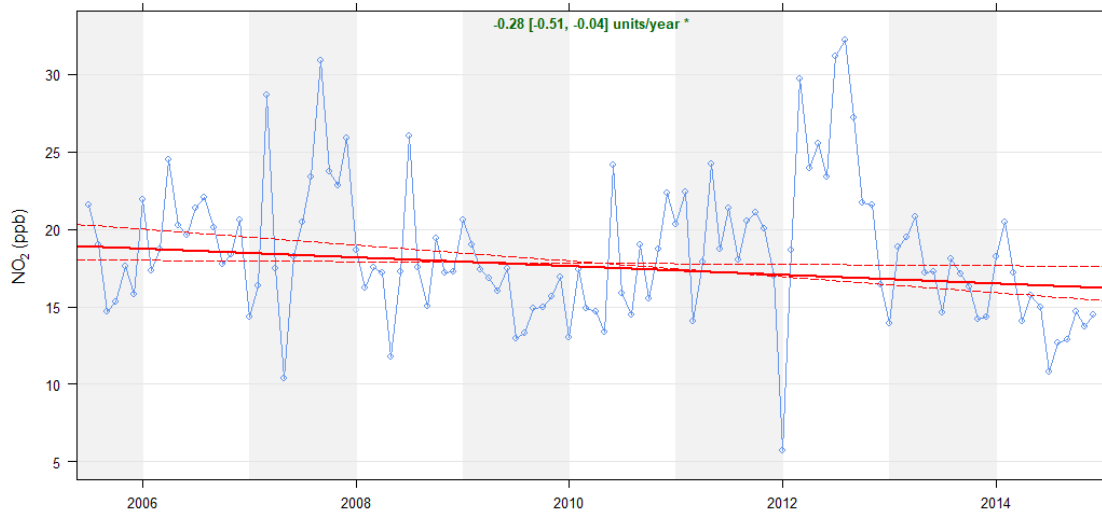


FIGURA 2: Tendência de Theil'sen para NO<sub>2</sub> / CSN. Fonte: IAP; Org.: Castelhana (2018)

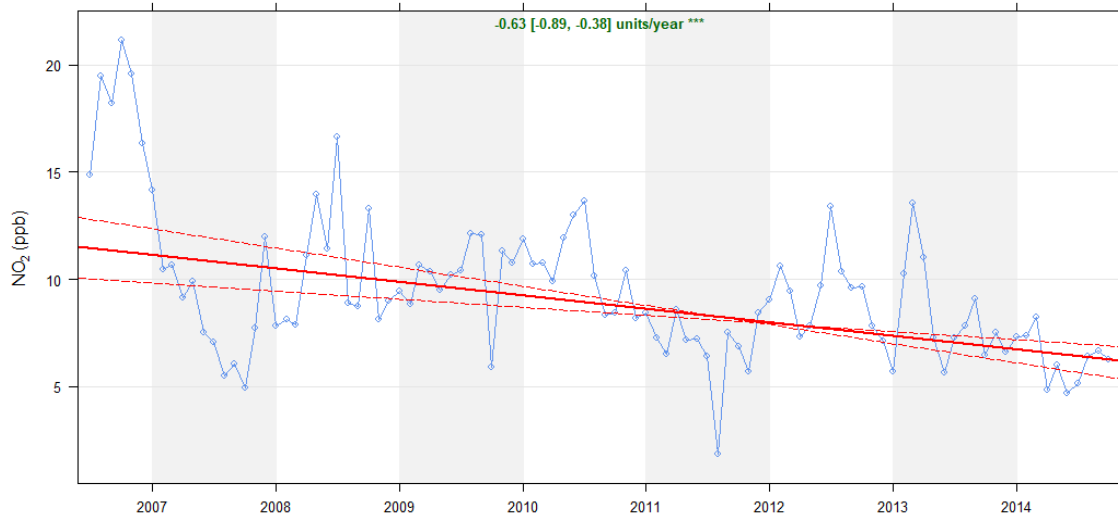


FIGURA 3: Tendência de Theil'sen para NO<sub>2</sub> / Santa Cândida. Fonte: IAP; Org.: Castelhana (2018)

O Ozônio por outro lado, apresenta nos dois pontos de coleta forte tendência ao aumento, com maior intensidade na estação CSN (Figura 4). A partir de 2010, os valores médios mensais do poluente ultrapassam 10 ppb nesta estação a exceção de três ocasiões entre 2013 e 2014, algo que ocorre esporadicamente no período anterior a 2010.

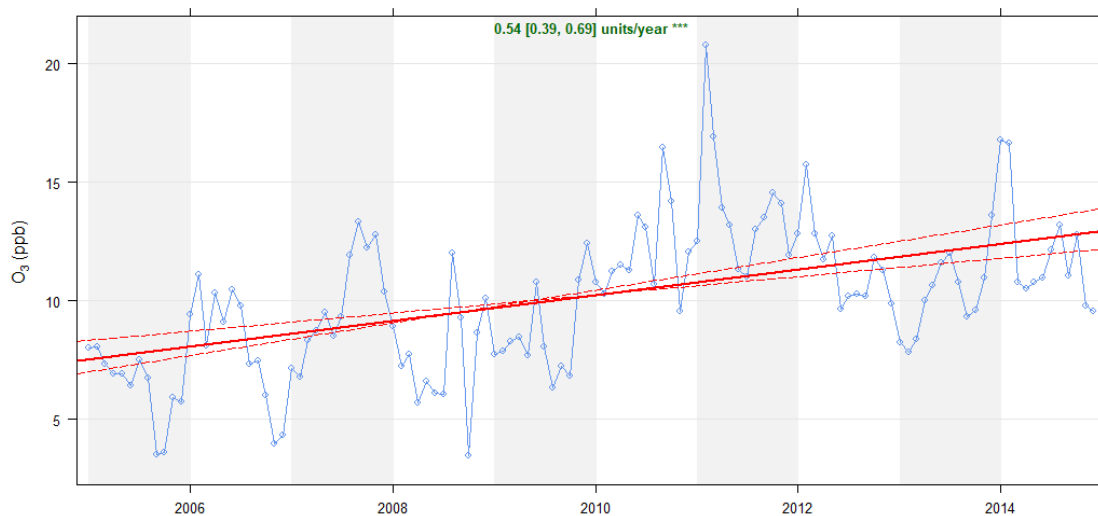


FIGURA 4: Tendência de Theil-Sen para O<sub>3</sub> / CSN. Fonte: IAP; Org, Castelhana (2018)

No caso da estação Santa Cândida, o aumento nos níveis do Ozônio passa a ser mais notados a partir do final de 2010. No início da série observam-se valores médios mensais elevados principalmente em 2007, mas com oscilações ainda muito presentes. A partir de 2011, percebe-se a prevalência de médias acima de 15 ppb mensais.

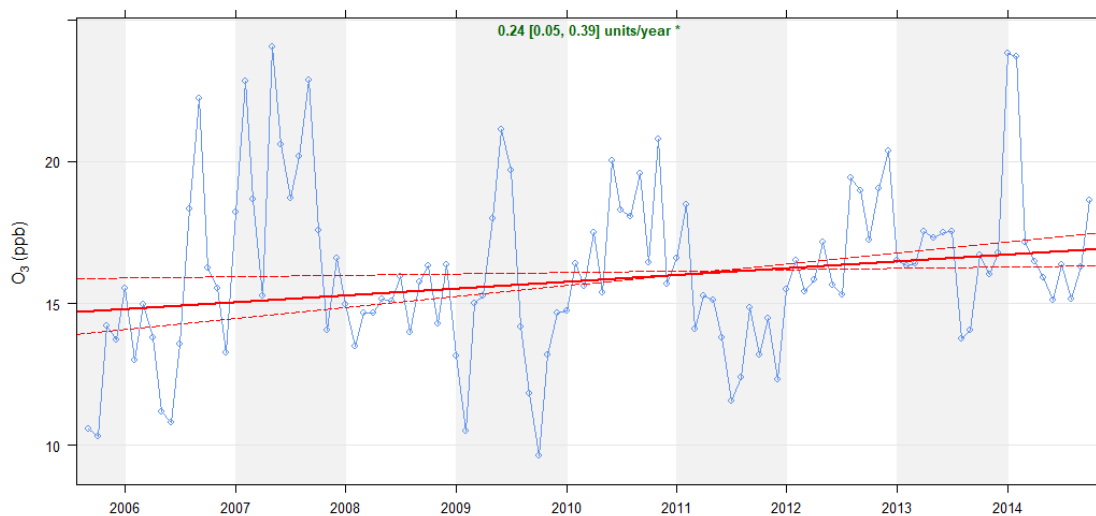


FIGURA 5: Tendência de Theil-Sen para O<sub>3</sub> / Santa Cândida. Fonte: IAP; Org, Castelhana (2018).

## 5. Avaliação dos textos submetidos à Revista

Segundo a literatura, a formação do ozônio troposférico se dá através da fotólise do dióxido de nitrogênio, que reage com Compostos orgânicos voláteis e forma o composto classificado como um poluente secundário.

Neste cenário, um aumento nos níveis de ozônio em Curitiba, tal qual os registrados e indicados pelas figuras 4 e 5, pode ser relacionado a um crescimento também do volume de dióxido

de nitrogênio, emitido pela queima de combustíveis fósseis, em conjunto aos compostos orgânicos voláteis.

Esta hipótese foi descartada pelas figuras 2 e 3 aqui apresentadas que demonstraram estatisticamente uma queda nos valores deste poluente nos dois pontos aqui analisados. A necessidade do equilíbrio entre VOC's e NO<sub>2</sub> para a formação do O<sub>3</sub> descarta também a hipótese de incremento nestes compostos, que, aliás, não são mensurados, impossibilitando análises mais aprofundadas.

As análises elencadas até aqui indicam que as mudanças na dinâmica do ozônio a nível troposférico em Curitiba estão sendo fortemente influenciadas pela dinâmica atmosférica em específico a temperatura.

Com níveis de NO<sub>2</sub> em queda, se hipotetiza que o calor e o aumento das temperaturas, mencionado também na literatura, esteja acelerando a formação do químico e aumentando progressivamente seu volume na atmosfera indo de acordo com pesquisas citadas que já relatam tais situações em outros locais do globo.

A pesquisa aqui apresentada ainda está em fase introdutória, mas as evidências apontadas já são suficientes para que maiores esforços sejam destinados ao estudo de cenários futuros para o Ozônio troposférico e suas relações com as mudanças climáticas globais.

Infelizmente os dados de qualidade do ar no Brasil ainda são muito escassos espaço temporalmente, sendo outro fator limitante as análises de séries temporais como esta.

Reitera-se por fim, a necessidade de estudos mais aprofundados que evidenciem tendências e projeções e temperatura na região de Curitiba reforçando a tese defendida neste artigo de que as mudanças climáticas como estão sendo apresentadas tem potencial para piorar a qualidade do ar das cidades no âmbito do O<sub>3</sub>.

## Referências

- ANCELET, T., DAVY, P.K., TROMPETTER, W.J., **Particulate matter sources and long-term trends in a small New Zealand city**, Atmospheric Pollution Research, v.6, p. 1105-1112, 2015
- AYOADE, J.O. **Introdução a Climatologia para os Trópicos**, Editora Difel, São Paulo, 1986
- BAIRD, C. **Química Ambiental**, 2.ed., Bookman, Porto Alegre, 2002
- BIGI, A., e GHERMANDI, G., **Long-term trend and variability of atmospheric PM10 concentration in the Po Valley**, Atmospheric Chemistry and Physics, v.14, p. 4895-4907, 2014
- CARSLAW, D.C. e ROPKINS, K., **Openair — an R package for air quality data analysis**. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52-61, 2012
- 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**, Environmental Science Policy, N 47, P. 68 a 79, 2015.
- CASTELHANO, F. J.; MENDONÇA, F. A. **Climate, Urban Planning and Tropospheric Ozone in Curitiba (Brazil): Risks to the Population's Health**. In: ICUR - INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN RISKS, 2016, Lisboa. ICUR PROCEEDINGS, v. 1. p. 1-8, 2016



- CLARK, T. L. e KARL, T. R. **Application of prognostic meteorological variables to forecasts of daily maximum one-hour ozone concentrations in the northeastern United States**; Journal of Applied Meteorology. 21 1662–1671,1982
- DERISIO, J.C. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**, Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2012.
- ESTEVES, G.R.T., BARBOSA, S.R.C.S., SILVA, E.P. e ARAUJO, P.D. **Estimativa dos efeitos da Poluição Atmosférica sobre a Saúde Humana: algumas possibilidades metodológicas e teóricas para a cidade de São Paulo**, II Encontro da ANPPAS, Indaiatuba -Brasil, 01-20, 2004
- GRAZULEVICIENE R, MAROZIENE L, DULSKIENE V, MALINAUSKIENE V, AZARAVICIENE A, LAURINAVICIENE D, JANKAUSKIENE K, **Exposure to urban nitrogen dioxide pollution and the risk of myocardial infarction, Scandinavian Journal of Work, Environmental and Health**, v.30, n.4, p.293-298, 2004
- IPCC, **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014
- JACOB, D.J. e WINNER, D.A, **Effect of climate change on air quality**. Atmospheric Environment v.43,n.1, p. 51-63,2009
- KLEINMAN, I., DAUM, P.H., IMRE, D., LEE, Y.N, NUNNERMACKER, L.J., SPRINGSTON, S.R., WEINSTEIN-LLOYD, J. RUDOLPH, J., **Ozone production rate and hydrocarbon reactivity in 5 urban areas: A cause of high ozone concentration in Houston**, Geophysical Research Letters, v.29, n.10, p.105-108,2002
- LIPPMANN, M., **Health Effects Of Ozone: A Critical Review**, Journal of the Air and Waste Management Association, V. 39, n.5, p. 672-695, 1989
- MONTEIRO, C.A.F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEO/USP, 1976.
- MUNIR, S, CHEN, H., ROPKINS, K., **Quantifying temporal trends in ground level ozone concentration in the UK**, Science of the Total Environment, v.458, p. 217-227, 2013
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE, **Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease**, OMS, 2016, Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf;jsessionid=A5C070246C14DE36F0035EC4DB251F12?sequence=1>. Acesso em Abril de 2018
- SALVO, A. e GEIGER, F.M., **Reduction in local ozone levels in urban Sao Paulo due to a shift from ethanol to gasoline use**. Natural Geoscience, V 7, 450 a 458, 2014
- SCHIRMER, W.N.; LISBOA, H.M. **Química da Troposfera: constituintes naturais, poluentes e suas reações**. Tecnológica Santa Cruz do Sul, v. 12 n. 2, p. 37-46, 2008
- SEINFELD, J. e PANDIS, S., **Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change**, Wiley-interscience, 2006
- SILVA, M.E.S., e GUETTER, A.K., **Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná**, Revista Terra Livre, v.1, n.20, p. 111-116, 2003
- STATHOPOULOU, E., MIHALAKAKOU, G., SANTAMOURIS, M. & BAGIORGAS, H.S. **On the impact of temperature on tropospheric ozone concentration levels in urban environments**. Journal of Earth System Science, v. 117, n. 3, p. 227-236, 2008
- SZULECKA, A., OLENIACZ, R. e RZESZUTEK, M., **Functionality of openair package in Air Pollution Assessment and Modeling – A Case of Study of Krakow**, Environmental Protection and Natural Resources Journal, v.28, n.2 p. 22-27, 2017
- WALCEK, C. J. e YUAN, H. H. **Calculated influence of temperature-related factors on ozone formation rates in the lower troposphere**; Journal of Applied Meteorology. 34 1056–1069, 1999.