

# ANÁLISE ESTATÍSTICA DE PARÂMETROS METEOROLÓGICOS DE UMA METRÓPOLE

## ANÁLISIS ESTADÍSTICA DE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS DE UNA METROPOLE

### STATISTICAL ANALYSIS OF METEOROLOGICAL PARAMETERS OF A METRÓPOLE

Nilo Antonio de Souza Sampaio\*,\*\*  
nilo.samp@terra.com.br

Sérgio Machado Correa\*\*  
sergio@air.pro.br

Roberto Campos Leoni\*\*\*, \*\*\*\*  
rcleoni@yahoo.com.br

\* Faculdade Sul Fluminense, Volta Redonda, Rio de Janeiro – Brasil

\*\* Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

Academia Militar das Aquilhas Negras, Resende, Rio de Janeiro, Brasil \*\*\*

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá- Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, São Paulo, Brasil \*\*\*\*

---

#### Resumo Resumen Abstract

O processo de formação e decomposição de NO<sub>x</sub> e ozônio estão intimamente ligados a diversos problemas respiratórios e ambientais, tornando o estudo destes compostos de grande importância e levando a diversos trabalhos na literatura. Com o número de automóveis crescendo constantemente, além da industrialização desenfreada em certos países em desenvolvimento, acabou acarretando um grave problema, principalmente nos centros urbanos industrializados que é a poluição do ar, inclusive gerando óbitos devido a toxicidade de certos componentes. Neste trabalho foram utilizados os softwares Statistica e Excel para a análise mais concisa dos resultados e das relações dos parâmetros. Com o Statistica conseguimos obter a análise a partir da estatística multi-variacional, acoplando os parâmetros e elucidando as relações entre eles. Utilizando o Excel por sua vez, conseguimos obter uma melhor avaliação da variação dos compostos em relação ao tempo, podendo assim, em seguida fazer as médias de cada mês para dividir o estudo entre as estações do ano. O objetivo do presente artigo é analisar e verificar a relação do ozônio com o NO<sub>x</sub>, além de observar quais parâmetros meteorológicos estão intimamente ligados a maior ou menor formação desses compostos, baseado na coleta de dados meteorológicos de compostos NO<sub>x</sub> e ozônio, além de diversos dados obtidos no CETESB, estação da USP, São Paulo. De acordo com os dados obtidos, foram selecionados alguns pontos para a análise mais precisa das concentrações de ozônio. Foram coletados dados durante 24 horas, e após observar-se um padrão de concentração significativa, foi verificado que esse intervalo é de 06h00min até 18h00min. Com isso, selecionaram-se dados nesses períodos de tempo durante doze meses. Com todos os dados obtidos, analisados e gerados em gráficos e comparações observou-se a ligação direta entre NO<sub>x</sub> e ozônio, tendo variação conforme as estações do ano, sendo mais específico conforme as mudanças de temperatura, pressão, chuvas, e inclusive com a quantidade de carros transitando.

PALAVRAS CHAVE: Variabilidade climática, análise estatística, NO<sub>x</sub>, Ozônio.

...

El proceso de formación y descomposición de NO<sub>x</sub> y ozono está íntimamente ligado a diversos problemas respiratorios y ambientales, haciendo estudio de estos compuestos de gran importancia y llevando a diversos trabajos en la literatura. Con el número de automóviles creciendo constantemente, además de la industrialización desenfreada en ciertos países

endesarrollo, acabó acarreado un grave problema, principalmente en los centros urbanos industrializados que es la contaminación del aire, incluso generando muertes debido a la toxicidad de ciertos componentes. En este trabajo se utilizaron los softwares Statistica y Excel para el análisis más conciso de los resultados y de las relaciones de los parámetros. Con el Statistica conseguimos obtener el análisis a partir de la estadística multi-variacional, acoplando los parámetros y elucidando las relaciones entre ellos. Utilizando Excel a su vez, conseguimos obtener una mejor evaluación de la variación de los compuestos en relación al tiempo, pudiendo así, a continuación, hacer los promedios de cada mes para dividir el estudio entre las estaciones del año. El objetivo del presente artículo es analizar y verificar la relación del ozono con el NO<sub>x</sub>, además de observar qué parámetros meteorológicos están íntimamente ligados a la mayor o menor formación de estos compuestos, basado en la recolección de datos meteorológicos de compuestos NO<sub>x</sub> y ozono, además de diversos datos obtenidos en el CETESB, estación de la USP, São Paulo. De acuerdo con los datos obtenidos, se seleccionaron algunos puntos para el análisis más preciso de las concentraciones de ozono. Se recogieron datos durante 24 horas, y después de observarse un patrón de concentración significativa, se verificó que ese intervalo es de 06h00min hasta 18h00min. Con ello, se seleccionaron datos en esos períodos de tiempo durante doce meses. Con todos los datos obtenidos, analizados y generados en gráficos y comparaciones se observó la conexión directa entre NO<sub>x</sub> y ozono, teniendo variación según las estaciones del año, siendo más específico según los cambios de temperatura, presión, lluvias, e incluso con la cantidad de coches transitando.

**PALABRAS CLAVE:** Variabilidad climática, análisis estadístico, NO<sub>x</sub>, Ozono.

...

The formation and decomposition of NO<sub>x</sub> and Ozone compounds are connected to several problems to the environment and also to humans making the study of those compounds highly important and leading to several works in the literature. The air pollution has worried many people since has increasing the number of cars on the street recently. The reason to this concern is that the gases, particles and sub-products emitted by vehicular combustion are one of the major polluters of the troposphere. This project aims to analyzing the rate between ozone and NO<sub>x</sub>, besides observe which meteorological parameters are directly linked to the formation of these compounds, based on the meteorological data of NO<sub>x</sub> and ozone compounds and also the verification of many parameters obtained during one year on CETESB, São Paulo. All statistical study is performed using Statistica and Excel. These softwares are important for more accuracy of results and the relation among the parameters. With the Statistica, we can make the analysis using the multi-variation tool, gathering the parameters and elucidating the rate among them. Using Excel software, we be able to obtain a better evaluation to the compounds variation in proportion to time, producing the average of each month, and later Allowing us exemplify to produce the average of seasons of the year. Simulations were carried out by steps. According to the data obtained, some points were selected for a more precise analysis of the concentrations of ozone. Data were collected during 24 hours, and after observing a significant concentration pattern, it was verified that this interval is from 06:00 to 18:00. Thus, data were selected over those twelve-month time periods. With all the data obtained, analyzed and generated in graphs and comparisons, it was observed the direct connection between NO<sub>x</sub> and ozone, having variation according to the seasons, being more specific according to the changes of temperature, pressure, rainfall, and even with the quantity of passing cars.

**KEYWORDS:** Climate variability, statistic analysis, Nox, Ozone.

## INTRODUÇÃO

Constantemente acabamos nos deparando com notícias relacionadas a desastres naturais ou problemas no meio ambiente, sejam por poluição ou por doenças e inclusive extinções de animais e plantas. Estes problemas, cada vez mais recorrentes, podem ser relacionados a certo tipo de compostos no ambiente, que entrando em reação com outros compostos, se tornam prejudiciais à saúde.

A poluição do ar tem sido desde considerável período de tempo, um grande problema nos centros urbanos industrializados, com a presença cada vez maior dos automóveis, Amaral, M. Djanira et al. [13]. Episódios de poluição excessiva causaram aumento do número de mortes em varias cidades ao redor do mundo. Segundo escrito por Pinto, Miguel F. T. et al. [14] “No último século tem-se assistido ao apogeu da intervenção do homem sobre o planeta, com o surgimento dos motores a combustão, com a queima de combustíveis fósseis, com o surgimento das indústrias siderúrgicas e de produtos químicos. Estes processos não foram acompanhados de análises que pudessem avaliar seu impacto sobre o meio ambiental, a toxicidade dos resíduos produzidos ou os prováveis danos à saúde.”. Infelizmente acaba sendo percebido que um dos elementos fundamentais que mais tem sido agredido pelo homem é o ar. Uma vez que o mesmo seria indispensável para a vida não só humana com de diversos seres vivos, segundo Braga, Alfesio et al. [15], ele provavelmente não recebeu maiores atenções pelo fato de ser abundante invisível e inodoro. Por isso, nos últimos tempos, temos nos deparado com os resultados desastrosos deste processo desordenado.

O ozônio, um composto inodoro, incolor e bastante encontrado, e que em certa quantidade acaba sendo responsável por agravar problemas respiratórios, está se tornando mais frequente em sua concentração na região metropolitana de São Paulo (CETESB [2]). Segundo o próprio relatório, Os efeitos para a saúde do ozônio são: “tosse, irritação na garganta, nos olhos e no nariz. Em casos extremos, segundo os médicos, a poluição pode agravar problemas cardiovasculares e levar até ao infarto.”.

Os NOx (óxidos de nitrogênio) são importantes poluentes, tanto que vemos artigos cada vez mais numerosos e populares feitos a respeito destes compostos, denotando não somente preocupação com as mudanças globais como também em relação a efeitos do meio ambiente gerado por sua concentração em grande quantidade (Williams, E. J; G. L. Hutchinson, and F. C. Fehsenfeld [11]).

Os carros em sua grande maioria são os responsáveis por formar compostos NOx. Segundo texto de Aline Dümes [4], intitulado Transcrição de Poluição atmosférica gerada pelos automóveis, pesquisas recentes apontaram que 68% dos poluentes do ar são oriundos dos carros. E quando verifica em áreas urbanas esse número acaba aumentando exponencialmente, chegando a alcançar cerca de 90%. Em uma grande cidade urbana há uma formação elevada de NOx, e como vimos anteriormente, sendo grande poluidor acaba consistindo em inclusive mortalidade de seres vivos, tanto humanos como animais.

Segundo artigo realizado em São Paulo publicado por Paulo H.N. Saldiva et al. [8], existe uma preocupante relação entre a poluição do ar e a taxa de mortalidade de idosos fazendo que mais estudos relacionados a esta área deva ser realizados a fim de elucidar de maneira sucinta uma relação direta sobre quais fatores acabam compactuando e corroborando para a produção dos poluidores, uma vez que os mesmo já estão sendo responsáveis por óbitos dos seres humanos.

No entanto, vale-se observar que em compostos como NOx e Ozônio deve ser levado em consideração todo o meio e condições nas quais eles são formados. Além disso, as concentrações de ozônio são fortemente ligadas às condições meteorológicas. Diversos fatores, incluindo alguns específicos como em regiões costeiras a presença da brisa proveniente do mar também são capazes de afetar a concentração, A.S. Luna et al. [1]. Portanto, é necessário desenvolver um modelo que consiga

juntar e relacionar as concentrações de ozônio e NOx com as muitas variáveis que provocam ou inibem suas produções para prever assim de forma mais sucinta suas concentrações.

Os sistemas atmosféricos envolvem distintas escalas espaciais e temporais que contribuem para a variedade climática regional de diferentes intensidades e ocorrências, podendo em uma região ter a atuação de diversos fenômenos atmosféricos, NisiaKruscheet al. [7]. Isto nos indica que mesmo área que não tem produção muito elevada de certos compostos poluentes pode acabar por receber de outras regiões mais poluidoras, transformando assim um problema mais geral do que regional.

Sistemas climáticos são extremamente complexos. Até pouco tempo eles trabalhavam a partir de sistemas de equações simples como tentativas de prever acontecimentos, tendo, porém grandes erros e incertezas, sendo frequentemente não lineares as relações existentes entre as variabilidades climáticas (Cannon, A. J. et al. [12]).

Usando técnicas de estatística multi-variacional acaba permitindo e elucidando dados, exemplificando assim bastante os trabalhos, uma vez que acaba reduzindo índices instáveis, possibilitando identificar qual é o índice mais importante aplicado para a atividade através da variância explicada para cada componente (F.R Soares [9]). Como por exemplo, para uma análise cuja se precisa de um local para observar certo tipo de evento, se utilizar através de estatística multi-variacional, poderemos saber qual lugar entre os escolhidos é mais propício a acontecer determinado evento.

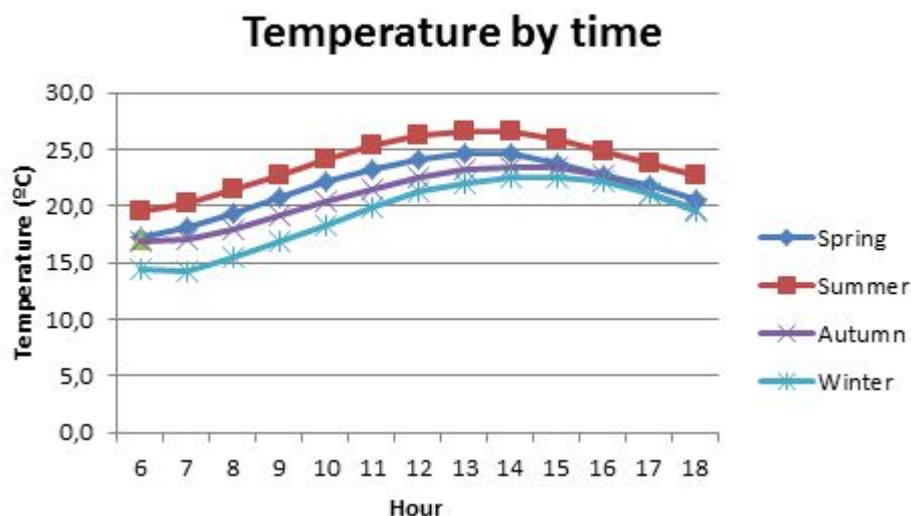
## **METODOLOGIA**

Para a realização do artigo em questão, diversos dados foram obtidos, além de estudos estatísticos para análise dos resultados. Foram utilizados dados fornecidos pela CETESB (2011/2012) os quais demonstravam a variação do índice pluviométrico, concentração de ozônio e NOx e a média do tráfego na localidade da pesquisa durante o período de dois anos, ambos analisados a temperatura e pressão ambiente. A partir destes dados, gráficos foram plotados utilizando os softwares Statistica® (tal software trabalha com a facilitação da visualização e gerenciamento de dados estatísticos) e Microsoft Excel®. Além disto, o Statistica® trabalha com a estatística multivariacional, que acopla diferentes resultados mostrando o quão dependente é a concentração de um elemento conforme a outra, por exemplo.

Conforme os dados obtidos, foram selecionados alguns pontos para a análise mais precisas das concentrações de ozônio. Foram obtidos dados durante 24 horas, e após observar-se um padrão de concentração significativa, foi verificado que esse intervalo é de 6 horas até 18 horas. Com isso, foram selecionados dados nesses períodos de tempo durante um ano, observando também a mudança de estações climáticas.

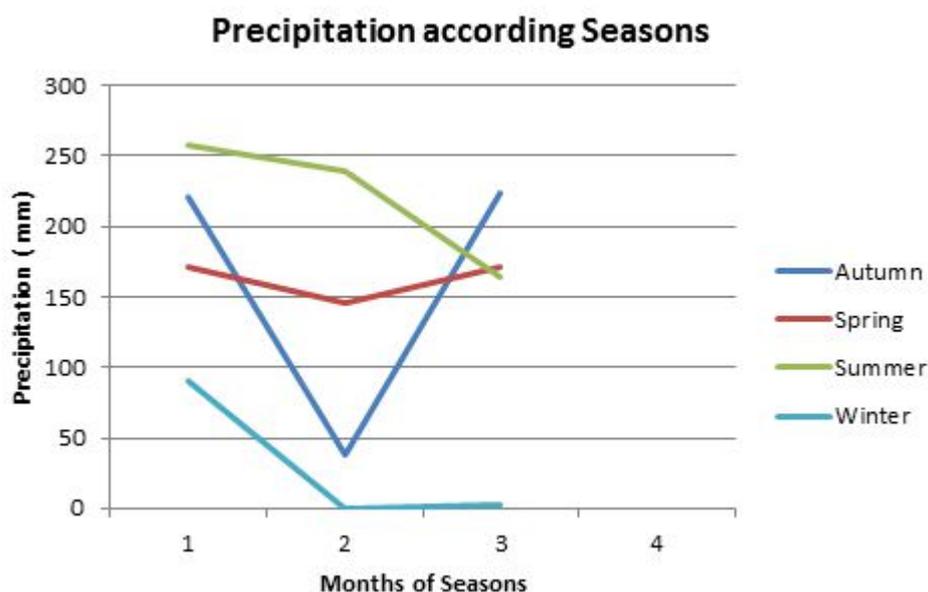
Para entrarmos com os dados no software de maneira adequada, definimos certos padrões e o ano foi dividido em quatro estações para que a análise obtida pudesse ser detalhada. Para podermos observar corretamente os dados e tendo em vista seu volumoso número, para cada fator foi feita uma média.

Para que os resultados que serão obtidos sejam fiéis à realidade, devemos estudar as condições do cotidiano. Com o objetivo de descobrir quais fatores influenciam na formação de ozônio e NOx, serão observados fatores comuns de nosso dia a dia, tais como os fatores climáticos e a frequência de veículos.



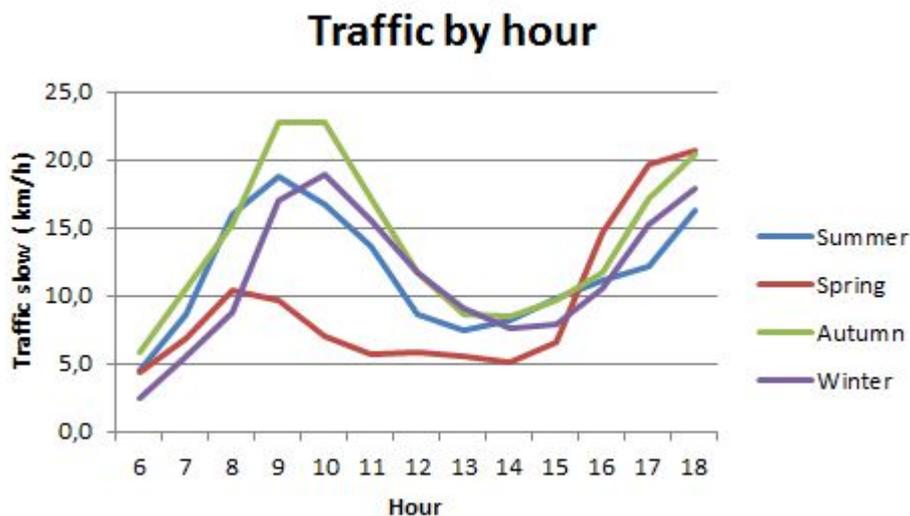
**Figure 1.** Baseado numa média de entre os dias de duração de cada estação, a temperatura média para o período de 6 horas até 18 horas.

Um segundo fator representativo é o índice pluviométrico. Uma vez que se tratando de NOx e ozônio pode ter destacado papel no mecanismo de formação de chuvas e o índice de precipitação poderá se apresentar de forma interessante no estudo.



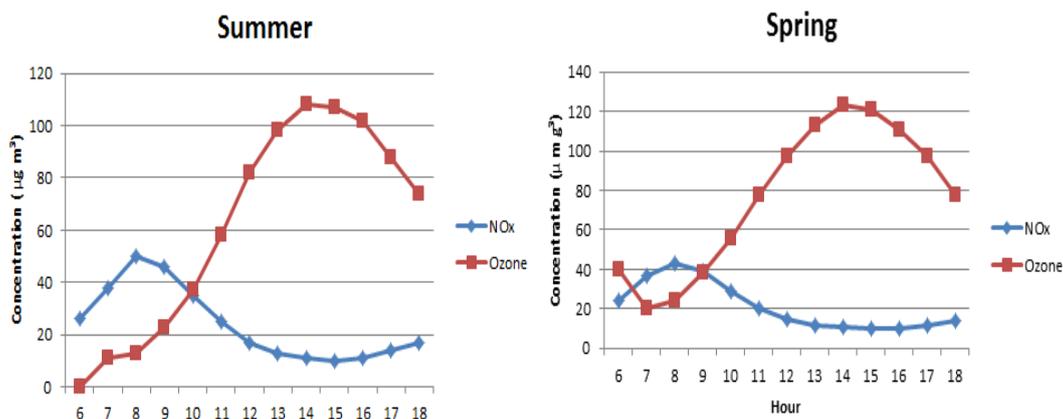
**Figure 2** - Precipitação pelos meses de cada estação em milímetros.

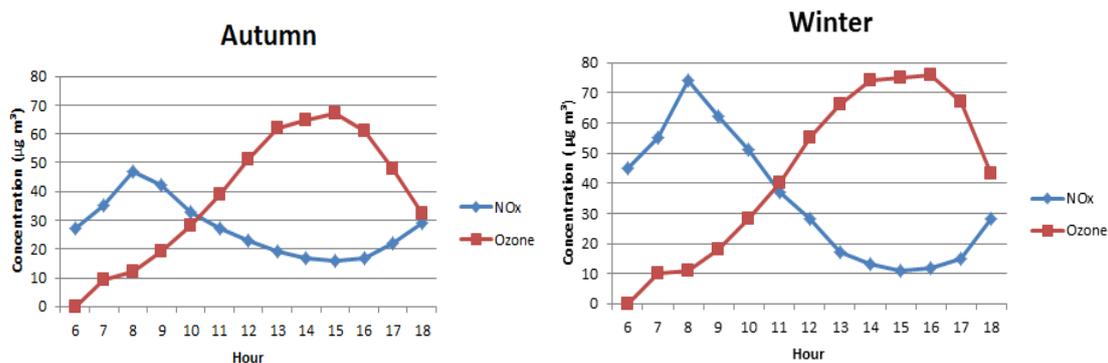
Um terceiro fator representativo é a frequência de veículos, pois é notável sua influência nos fatores atmosféricos. Uma vez que 68% dos poluentes do ar são oriundos dos carros, e esse percentual de poluentes gerados pelos automóveis sobe se consideradas apenas as áreas urbanas, alcançando 90%.



**Figure 3.** Baseado numa média de entre os dias de duração de cada estação, a frequência média para o período de 6 horas até 18 horas. Onde observamos a velocidade em km/h e o tempo em horas.

Com os principais fatores observados no decorrer de cada estação do ano, devemos entrar na parte do comportamento dos NO<sub>x</sub> e do ozônio nesse mesmo período de tempo. Também com os dados fornecidos pela CETESB, foi possível obter uma média e comparar o comportamento de um em função do outro.

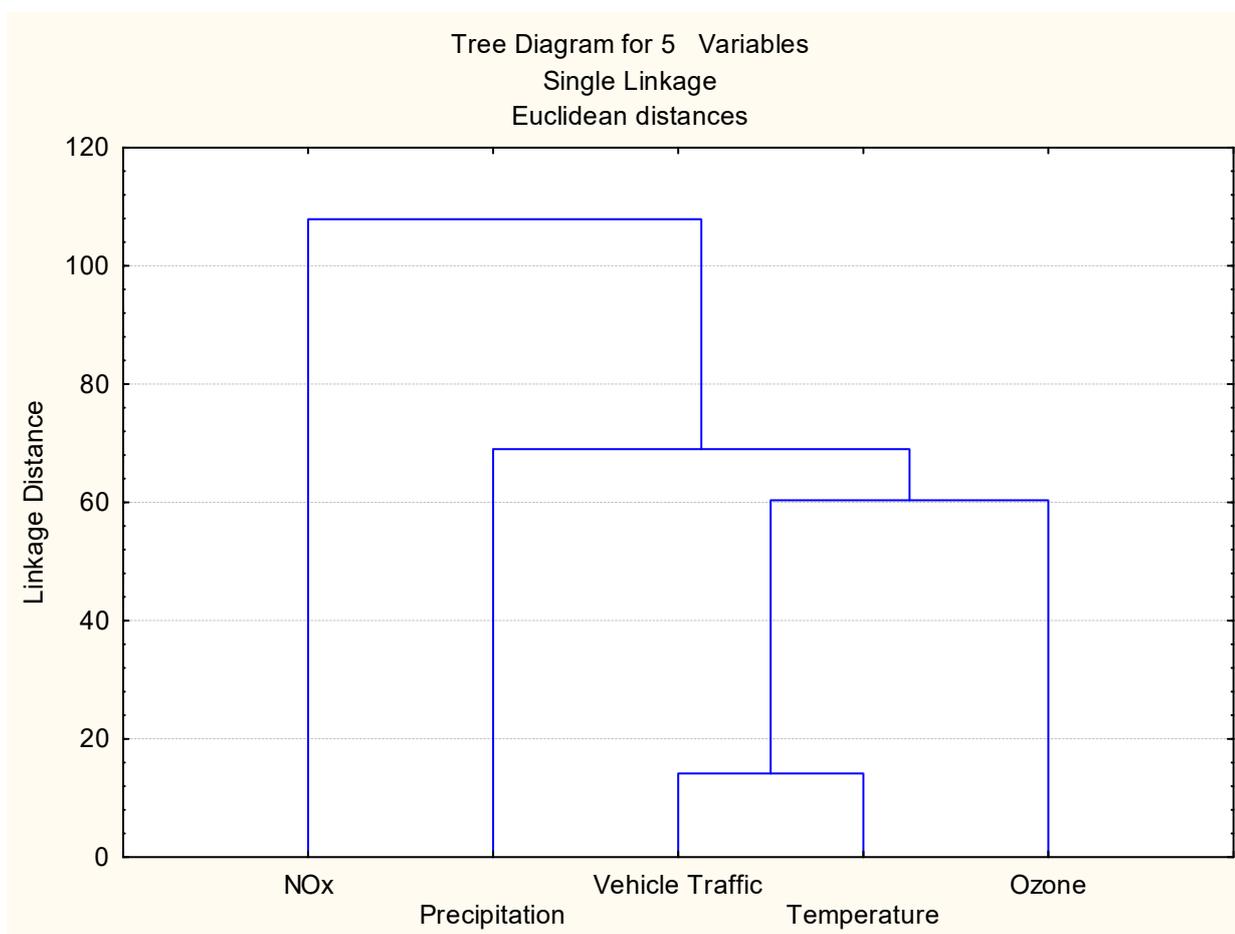




**Figure 4.** Conjunto de gráficos para o estudo do comportamento dos NOx e do ozônio em função de sua concentração média nos horários de 6 horas até 18 horas. A concentração está em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e a tempo em horas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depois de obtidos os gráficos mostrados anteriormente foram possíveis fazer um dendograma com estas informações. Um dendograma (dendro=árvore) é um tipo específico de diagrama ou representação icônica que organiza determinados fatores e variáveis. Resulta de uma análise estatística de determinados dados, em que se emprega um método quantitativo que leva a agrupamentos e à sua ordenação hierárquica ascendente - o que em termos gráficos se assemelha aos ramos de uma árvore que se vão dividindo noutros sucessivamente.



**Figure 5.** Dendograma mostrando as relações entre os fatores levados em conta no presente artigo e o ozônio e os NOx.

Por meio do gráfico acima, observamos as relações e dependências entre os fatores que foram citados na metodologia e os NOx e ozônio. Na horizontal temos a concentração dos NOx, índice de precipitação da chuva, tráfego, temperatura e concentração de ozônio, respectivamente. Na vertical temos a distância de ligação, ou seja, quanto menor o número, maior a relação entre os fatores.

Por exemplo, à primeira vista observamos que o tráfego logo se junta com a temperatura, tendo um maior grau de relação. Isso se deve ao fato de que a queima de combustíveis fósseis produz gases que contribuem para o aquecimento da temperatura, agravando o efeito estufa.

A seguir observamos que a relação tráfego-temperatura se encontra com a concentração de ozônio. Significa que o aumento do tráfego e a consequente elevação da temperatura afeta na quantidade de concentração de ozônio. Posteriormente essa relação se encontra com a precipitação e, por último, com a concentração de NOx.

Tendo o objetivo de melhorar as condições de vida diminuindo a poluição, é perceptível que o caminho para diminuir as altas concentrações de ozônio vistas nos últimos tempos, é entrando com políticas de incentivos à uma melhor organização no número de veículos, principalmente nos grandes centros.

Implementando o rodízio e incentivando o uso de meios de transporte que não agridem ao meio ambiente podemos obter resultados significativos para melhorias na sociedade. Não só se tratando de ozônio, pois podemos imaginar o gráfico acima como uma árvore, e na base desta árvore se encontra a relação tráfego-temperatura.

Sendo essa relação a base, observamos a dependência dos outros fatores em relação a esta. Logicamente são graus diferentes de relação entre concentrações de ozônio e NOx (ozônio está mais intimamente ligado comparado aos NOx), mas procurando soluções na base podemos obter resultados positivos se propagando em seu fluxo inteiro.

## CONCLUSÃO

Feito as relações entre os parâmetros apresentados, foi possível verificar através do dendograma, o grau de relação entre as variáveis, como o ozônio e os compostos de NOx. Pode-se concluir então que o aumento no tráfego de veículos é diretamente proporcional ao aumento da formação de Ozônio, porém não é o único fator que altera sua concentração, como se pode observar, há uma ligação entre a temperatura e sua concentração visto que, ao se passarem as horas do dia a temperatura tem seu pico entre 12h00min e 14h00min, e neste mesmo intervalo, observa-se uma grande formação de ozônio, logo, a temperatura é um fator preponderante para sua formação, além da quantidade de veículos.

Outro fator observado foi o índice pluviométrico, cujo, seu nível elevado é responsável pelo aumento na concentração de NOx, pois conforme o ciclo de nitrogênio, o mesmo fica contido no ar próximo ao solo, porém, com a chuva este sobe para camadas mais próximas a do ozônio, dando liberdade aos átomos de Nitrogênio se ligarem aos átomos livres de Oxigênio, propiciando a formação de NOx.

Ainda nos foi demonstrado que o índice de conexão é baixo entre NOx e ozônio denotando serem inversamente ligados.

Parâmetros como direção do vento e velocidade do vento foram descartados devido a apresentarem níveis de conexão muito grandes entre os componentes, não havendo assim uma ligação direta ou inversa entre eles.

Vale ressaltar que a resolução nº 3 de 28 de junho da CONAMA estabelece que a concentração de ozônio durante o dia deve ser inferior a 80,16 ppb e este valor só pode ser excedido uma vez por ano. Porém ao observarmos os gráficos das estações do ano, observamos que esse limite é ultrapassado não só uma vez, mas muitas, o que torna a situação grave. A partir dessa análise e com o intuito de melhorias

nas condições de vida, uma melhor organização no número de veículos e/ou na forma de como estes agredem o meio ambiente é necessária para normalizar os níveis de concentração de ozônio, e por estar ligado, a concentração de NO<sub>x</sub>.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao professor Sérgio Machado por ter nos proporcionado os dados, nos guiado e dedicado seu tempo a nos ajudar, e ao professor Nilo Sampaio por nos incentivar e ser fundamental na conclusão do artigo. Agradecer também o apoio financeiro ao projeto das agências CNPq, FAPERJ, CAPES.

## REFERÊNCIAS

- [1] A.S. Luna, M.L.L. Paredes, G.C.G. de Oliveira, S.M. Correa, 2014 “Prediction of ozone concentration in tropospheric levels using artificial neural networks and support vector machine at Rio de Janeiro, Brazil”.
- [2] CETESB (2010-2011) - Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, 2008, Secretaria do Meio Ambiente, Série Relatórios – ISSN 0103-4103, São Paulo.
- [3] Diniz, M. C. S.; Correia, M. F.; Melo E. C. S.; Farias, W. R. G.; Aragão, M. R. S. 2005 “Importância Relativa de Variáveis Meteorológicas na Formação da Convecção Profunda: Uma Aplicação da Análise Fatorial de Componentes Principais.”
- [4] Dumes, A., “Transcrição de Poluição atmosférica gerada pelos automóveis”.
- [5] Galichio, Wagner, 2007 “Estudo da relação entre ozônio e parâmetros meteorológicos na atmosfera de São Paulo”.
- [6] Hirota, Marina; Nobre, Carlos; Oyama, Marcos Daisuke. Et al. 2011 “Concurrent climate impacts of tropical South America land-cover change. Atmospheric Science Letters, v. 12, p. 261-267”.
- [7] Reboita, Michelle; Krusche, Nisia&Piccoli, Humberto Camargo.2006 “Climate Variability in Rio Grande, RS, Brazil: A Quantitative Analysis of Contributions due to Atmospheric Systems”.
- [8] Saldiva, P. H. N. ; III, C. A. P. ; Schwartz, J. ; Dockery, D. W Lichtenfels, Ana Júlia F C ; Salge, J. M. ; Barone, I. A. ; Böhm, György M . 1994 “Air Pollution and Mortality in Elderly People: A Time-Series Study in Sao Paulo, Brazil. The Tenth Health Effects Institute Annual Conference Program Abstracts for Poster Sessions. p. 43-43”.
- [9] Soares, F.r. 2011 “Use of multivariate techniques in the analysis of instability indices and lightning in the summer of 2008/2009”.
- [1] MO Andreae, OC Acevedo, A Araújo, P Artaxo, CGG Barbosa et al. 2015 “ The Amazon Tall Tower Observatory (ATTO) in the remote Amazon Basin: overview of first results from ecosystem ecology, meteorology, trace gas, and aerosol measurements”.
- [10] Williams, E. J., G. L. Hutchinson, and F. C. Fehsenfeld. 1992, “NO<sub>x</sub> and N<sub>2</sub>O Emissions from Soil, Global Biogeochem. Cycles, 6(4), 351–388, doi: 10.1029/92GB02124.”.
- [11] Cannon, A. J. and McKendry, I. G. 2002, “A graphical sensitivity analysis for statistical climate models: application to Indian monsoon rainfall prediction by artificial neural networks and multiple linear regression models. Int. J. Climatol., 22: 1687–1708. doi: 10.1002/joc.811”.
- [12] Amaral, M. DjaniraandPiubeli, F. Amaral 2003, “A Poluição atmosférica interferindo na qualidade de vida da sociedade.”.
- [13] Pinto, Miguel F. T. Dezembro 2008, “Modelação do transporte e dispersão atmosférica de poluentes produzidos por uma refinaria: Estudo de caso.”.
- [14] Braga, Alfesio; Böhm, György M.; Pereira, Luiz A. A. andSaldiva, Paulo. 2001 “Poluição atmosférica e saúde humana.”.

Recebido em: 23/04/2018

Aceito em: 14/06/2018

Endereço para correspondência:

Nilo Sampaio

Faculdade Sul Fluminense

nilo.samp@terra.com.br



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/)