

Formação e concentração do Ozônio troposférico no município de Lamarão do Passé – Ba: estudo das transformações de NOx e os possíveis impactos a saúde humana

Formation and concentration of tropospheric Ozone in the municipality of Lamarão do Passé – Ba: study of NOx transformations and possible human health impacts

Luciano da Silva Alves¹, Lara Camila da Silva Alves²

¹ Centro Universitário Jorge Amado – UNIJORGE, Salvador, Brasil.

² Universidade Salvador - UNIFACS, Salvador, Brasil.

Todos autores contribuíram de forma igualitária

Palavras-Chave

monitoramento
poluição do ar
ozônio troposférico
qualidade do ar
saúde humana

Key-word

monitoring
air pollution
tropospheric ozone
air quality
health human

RESUMO

Esta pesquisa tem como principal objetivo avaliar a formação e concentração de Ozônio (O₃) troposférico na atmosfera de Lamarão do Passé, localizada na área de influência do Polo Industrial de Camaçari - Ba e relatar sobre os possíveis efeitos a saúde humana. Para a realização desta pesquisa, foram utilizados os dados de monitoramento diários da qualidade do ar disponibilizados pela Cetrel S/A, referentes ao ano de 2017 e ao primeiro semestre de 2018. Os dados foram tratados conforme a média horária das concentrações, Resolução CONAMA n° 491/2018 e Organização Mundial da Saúde (OMS). Os resultados demonstraram conformidade na formação do O₃ através das transformações de NOx. Quanto as concentrações, essas não violaram o limite de 71,4 ppb imposto pela Resolução CONAMA n° 491/2018. Para tanto, quando comparado com os padrões orientados pela OMS, a concentração de 51,21 ppb ultrapassou o limite estabelecido de 51 ppb. Embasado nos resultados, dado que em maior parte do tempo de monitoramento as concentrações estiveram de acordo com a legislação em vigor, conclui-se que as probabilidades de adquirir doenças associadas a poluição atmosférica no Município, são minimizadas, contudo, por estar localizada em zona industrial, exige-se que as atividades de monitoramento sejam acompanhadas continuamente.

ABSTRACTS

The main aim of this research is to evaluate the tropospheric ozone formation and concentration on the atmosphere of Lamarão do Passé, located in the area of influence of the Industrial Complex of Camaçari-Ba and report about the possible effects to Human Health. For the accomplishment of this research, the data of daily air quality monitoring, made available by Cetrel / SA, were used, reference the year 2017 and for the first half of 2018. Data were treated according to the hourly mean of concentrations, CONAMA Resolution n° 491/2018 and World Health Organization (WHO). The results demonstrated compliance in the formation of O₃ through NOx transformations. Regarding concentrations, these did not violate the limit of 71 ppb imposed by CONAMA Resolution n° 491/2018. Therefore, when compared to WHO, the concentration of 51.21 ppb exceeded the established limit of 51 ppb. Based on the results, since in most of the time tracking the concentrations were in accordance with the legislation in force, it is concluded that the probabilities of acquiring diseases associated with air pollution in the Municipality are minimized, however, to be located in industrial zone, requires that monitoring activities are accompanied with continuously.

Informações do artigo

Recebido: 08 março, 2019

Aceito: 16 abril, 2019

Publicado: 30 abril, 2019

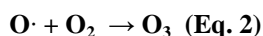
Introdução

Inicialmente, os problemas associados à poluição atmosférica eram direcionados às emissões de enxofre. Somente a partir de 1940 a poluição fotoquímica oriunda das concentrações de O₃ tornou-se reconhecida (NEVES, 2009). Desde então as preocupações em torno do viés ozônio troposférico e saúde tornaram-se existentes.

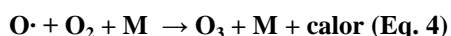
O ozônio (O₃) constitui uma espécie química que quando encontrado na estratosfera (camada mais elevada) é responsável por controlar a incidência de radiação ultravioleta na terra. No entanto, quando suas concentrações encontram-se na troposfera (camada mais baixa), pode causar prejuízos à Saúde Humana (NEVES 2009; COUTO, 2011; NETTO et al. 2017).

Os poluentes atmosféricos podem ser divididos em primários e secundários. São primários, aqueles que são lançados diretamente na atmosfera, e secundários, os que se formam através de reações químicas que acontecem na atmosfera (PIMENTA, 2010; NETTO et al. 2017). O O₃ troposférico é classificado como um poluente secundário, onde sua formação é dada por reações fotoquímicas na atmosfera, principalmente a partir de Óxidos de Nitrogênio - NO_x e Compostos Orgânicos Voláteis - COVs (BRAGA et al. 2001; ANTUNES et al. 2008; DAPPER et al. 2016).

As equações abaixo demonstram a rota principal para formação do ozônio troposférico. Conforme a Eq.1, o (dióxido de nitrogênio) NO₂ é dissociado pela incidência da radiação ultravioleta oriunda da luz solar, dando origem ao NO (monóxido de nitrogênio) e ao oxigênio atômico (radical livre). Nesse sentido, na Eq.2 o Oxigênio atômico irá reagir com o Oxigênio molecular, dando origem ao O₃. Já na Eq.3 observa-se que o O₃ é dissociado na reação com NO, formando o NO₂.



Segundo Finlaysson-Pitts e Pitts (1997, *apud* DALLAROSA, 2005), a reação entre o Oxigênio atômico e o molecular é mais importante para a formação de O₃ na atmosfera (Eq.4). Considera-se M uma molécula fundamental para retirar a energia térmica gerada na reação do oxigênio atômico e o O₂, dando origem ao O₃.



De acordo com Couto (2011), essas reações tendem a acontecer em equilíbrio na atmosfera, contudo o ciclo pode ser alterado, sobretudo pela presença de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs).

Os COVs contribuem com a alteração das concentrações de NO, no qual irá resultar no aumento do ozônio troposférico.

Contudo, o seu impacto está ligado à reatividade e quantidade de cada composto e dos níveis de NO_x existentes na atmosfera (FRANCISCO et al. 2016).

A formação de O₃ também é condicionada pelas condições meteorológicas (NEVES, 2009; NOGUEIRA et al. 2014; NETTO et al. 2017). Devido à necessidade de fótons para que as reações entre os elementos precursores aconteçam, alguns estudos demonstram que a relação entre O₃ e incidência solar tende a acontecer de forma proporcional, onde nos períodos em que a radiação solar aumenta as concentrações de O₃ também tendem a aumentar (ANTUNES et al. 2008; NOGUEIRA et al. 2014).

Conforme Cesar et al. (2013) as indústrias estão dentre as principais fontes emissoras de poluentes precursores para formação do ozônio troposférico.

Dentro desse contexto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a formação e concentração de ozônio (O₃) troposférico na atmosfera de Lamarão do Passé, localizada na área de influência do Polo Industrial de Camaçari, estado da Bahia e relatar os possíveis efeitos à saúde humana.

Material e Métodos

Aquisição dos dados

Para a realização desta pesquisa foram utilizados os dados de monitoramento da qualidade do ar referentes ao município de Lamarão do Passé - Ba, disponibilizados pela Cetrel S.A. A Cetrel S.A., empresa responsável pela gestão de ambiental do Polo Industrial de Camaçari-Ba, realiza o monitoramento da qualidade do ar através de 10 estações de locadas em seu entorno.

O ozônio é monitorado através de 4 estações: Machadinho e Câmara (Camaçari), Escola (Dias D'Ávila), Lamarão (Lamarão do Passé).

Os dados utilizados foram cedidos pela Cetrel S.A. em planilha eletrônica no software Excel[®].

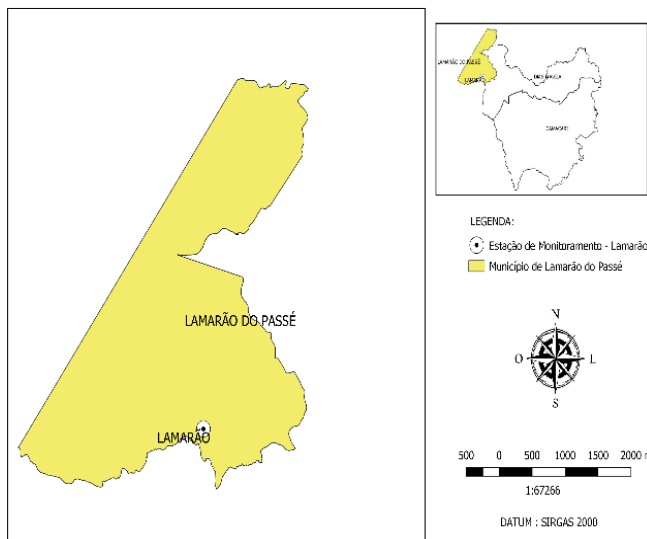
Foram avaliados valores referentes às concentrações de ozônio (O₃), monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂), registrados em intervalos de 15 em 15 minutos (96 resultados diários) na estação de monitoramento de Lamarão, no ano de 2017 e no primeiro semestre de 2018.

A Cetrel S.A. utiliza em suas estações de monitoramento da qualidade do ar, o amostrador ativo O₃41M, desenvolvido pela empresa francesa Environnement S.A. O equipamento é calibrado para detectar as concentrações de O₃ no período de 15 em 15 min.

O princípio de funcionamento é dado pela quimioluminescência, onde o O₃ absorve a radiação ultravioleta (UV) emitida por uma lâmpada de mercúrio a baixa pressão na faixa de 253,7 nm. Nesse sentido, vale destacar que o Limite de Detecção (LD) é de 0,4 ppb.

A Figura 1 apresenta a localização (latitude: 12°35'42.817"S e longitude 38°23'55.252"O) da estação de monitoramento da qualidade do ar, no município de Lamarão do Passé-Ba.

Figura 1 – Localização da Estação de Monitoramento da Cetrel S.A. no município de Lamarão do Passé-Ba.



Fonte: Autores (2019).

Tratamento dos dados

Para identificação do perfil, foi realizada a média aritmética diária referente as concentrações de O₃, NO e NO₂ no intervalo amostral de uma hora. Com isso, buscou identificar a incidência de NO e NO₂ no momento em que os níveis de O₃ foram máximos.

Quanto à avaliação conforme a Resolução CONAMA nº 491/2018, legislação responsável por dispor dos padrões da qualidade do ar no Brasil.

Foi aplicado sobre as concentrações de O₃ a média móvel diária estabelecida para o período amostral de 8 horas. Destaca-se que as concentrações de O₃ identificadas no intervalo, não devem ultrapassar o limite de 140 µg/m³ (71,4 ppb).

Tendo em vista os possíveis efeitos do O₃ sobre a saúde humana, utilizou-se do padrão proposto pela Organização Mundial da Saúde. Assim como na CONAMA nº 491/2018, é orientado a média móvel diária estabelecida para o período amostral de 8 horas, entretanto, o limite determinado pela OMS é de 100 µg/m³ (51 ppb).

Resultados e Discussões

A Figura 2 apresenta o perfil da formação de O₃ na atmosfera de Lamarão do Passé, no ano de 2017.

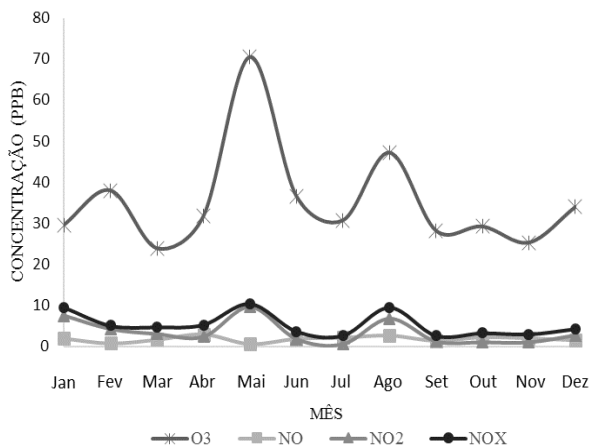
Segundo a análise, observou-se a existência de um pico na concentração de O₃ nos meses de maio/17 e agosto/17, onde foram registradas concentrações de 70 e 47,2 ppb, respectivamente.

Nos demais meses do ano, o O₃ oscilou numa faixa de 25 a 36 ppb, demonstrando perfil pouco acentuado.

Quanto ao NO e ao NO₂, verificou-se a baixa concentração, diante das maiores concentrações de ozônio (Figura 2).

De acordo com Netto et al. (2017), o fato de ser uma reação catalisada, faz com o que as taxas de NO e NO₂ diminuam consideravelmente.

Figura 2 – Perfil da formação de O₃ (média máxima mensal) no ano de 2017.



Fonte: Autores (2019).

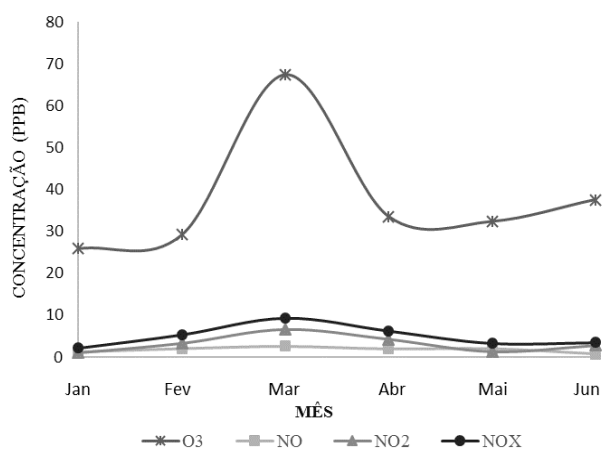
Analisando a curva de NOx, foi possível constatar que mesmo diante das baixas concentrações, em grande parte do tempo do monitoramento, acompanha a curva de O₃. O fenômeno foi melhor observado nos períodos de maio/17 e agosto/17.

Quando a presença de NOx foi maior, ocorreram as maiores concentrações de O₃. Isso significa que provavelmente antes do O₃ ser formado, existia na atmosfera muito NO e NO₂ (Figura 2).

A Figura 3 demonstra o perfil da formação de O₃ na atmosfera de Lamarão do Passé, no primeiro semestre de 2018.

Apesar do pico máximo ter ocorrido no mês de março/17, onde foi registrado a concentração de 67,4 ppb, as curvas de perfil do O₃ e dos NOx demonstram semelhança com o ocorrido em 2017. Quando a incidência de O₃ foi maior, houveram maiores concentrações de NOx na atmosfera, confirmando a seguinte ressalva: quanto mais NO e NO₂, existirá maior a tendência da formação de.

Figura 3 – Perfil da formação de O₃, (média máxima mensal) no primeiro semestre de 2018.



Fonte: Autores (2019).

Baseado na pesquisa de Neves (2009), a área que abrange município de Lamarão de Passé, sofre influência significativa das emissões advindas do Polo Industrial de Camaçari (PIC).

A autora cita que na região, já houveram registros de concentrações de O₃ na faixa de 100 e 200 ppb (média amostral de uma hora).

No estudo de dispersão de poluentes na área do PIC, Neves (2009) e Couto (2011) destacam que a predominância de ventos no sentido ESE (Estesudeste), SE (Sudeste) e a topografia pouco acidentada da cidade de Camaçari, faz como o que as cargas de poluentes atmosféricos sejam carregados para a atmosfera de Lamarão de Passé. Nesse sentido, destaca-se ainda que, a alta radiação solar presente na área, atua como catalisador para formação de O₃, favorecendo a ocorrência de picos em determinados períodos.

A Tabela 2 e 3 apresenta as médias das concentrações máximas mensais no período amostral de uma hora e a frequência que ocorreram em função do horário. Nota-se que no ano de 2017, as maiores incidências de O₃ foram registradas entre as 09:00 e 14:00 horas. Destaca-se que dos 12 resultados, 9 estiveram contidos no intervalo de 10:00 às 13:00 horas, o que corresponde a uma média de 75% (Tabela 2).

Avaliando individualmente, enquanto que às 13 horas houveram os maiores registros de máxima de O₃, cerca de 33% dos resultados, as 9:00 e 10:00 foram detectados somente uma máxima, totalizando 8% (Tabela 2).

Tabela 2 – Frequência das concentrações médias máximas de O₃ em função do horário no ano de 2017.

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
HORA	13:00	14:00	09:00	12:00	13:00	12:00	10:00	13:00	11:00	11:00	13:00	14:00
O ₃ (ppb)	29,6	38	23,9	31,7	70,5	36,6	30,7	47,2	28,2	29,2	25,3	34
FREQUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE O ₃ EM FUNÇÃO DO HORÁRIO												
	09:00		10:00		11:00		12:00		13:00		14:00	
	8%		8%		17%		17%		33%		17%	

Fonte: Autores (2019).

Tabela 3 – Concentrações médias máximas de O₃ em função do horário no primeiro semestre de 2018.

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN		
HORA	11:00	13:00	17:00	13:00	13:00	10:00		
O ₃ (ppb)	25,9	29,2	67,4	33,6	32,4	37,6		
FREQUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE O ₃ EM FUNÇÃO DO HORÁRIO								
	10:00		11:00		13:00		17:00	
	17%		17%		50%		17%	

Fonte: Autores (2019).

No primeiro semestre de 2018, os resultados demonstraram conformidade como o ano de 2017.

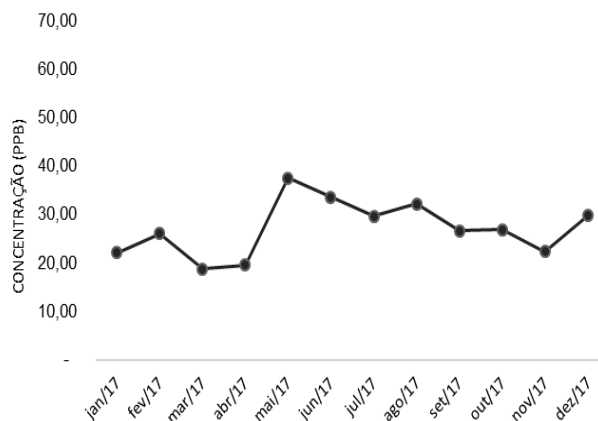
No período 50% da média máxima identificada ocorreu às 13:00 horas, sendo que 83% dos níveis de O₃ foram detectados intervalo das 10:00 às 13:00 horas (Tabela 3).

As concentrações máximas detectadas em maior parte do tempo de monitoramento no intervalo das 10:00 às 13:00 horas, demonstra que a formação do O₃ na região de Lamarão do Passé ocorre com maior dinâmica no período de alta radiação solar.

Os resultados apontados na Figura 4, demonstraram que conforme a Resolução CONAMA nº 491/2018, no ano de 2017, as concentrações de ozônio detectadas não violaram os limites de 140 µg/m³ (71,4 ppb) estabelecidos para o padrão intermediário (PI) e de 100 µg/m³ (51 ppb) determinado pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

No período, a maior incidência registrada na média móvel de 8 horas foi 37,46 ppb.

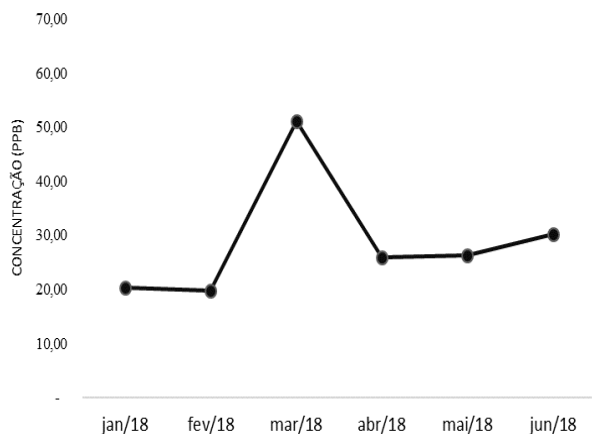
Figura 4 – Variação da concentração média máxima mensal no ano de 2017 (média móvel de 8 horas).



Fonte: Autores (2019).

Conforme a Figura 5, durante o primeiro semestre de 2018, a maior concentração de Ozônio (média móvel de 8 hrs) foi registrada no mês de março (51,21 ppb). Comparando com o valor orientado pela Resolução CONAMA nº 491/2018, pode-se constatar que os níveis de O₃ registrados na estação de Lamarão no primeiro semestre de 2018 não ultrapassou o estabelecido. Contudo, quando avaliado com o limite de 51 ppb definido pela OMS, a concentração de 51,21 ppb excedeu o determinado.

Figura 5 – Variação da concentração média máxima mensal no primeiro semestre de 2018 (média móvel de 8hrs).



Fonte: Autores (2019).

Dada a violação, pode-se afirmar que a exposição de pessoas a concentração de 51,21 ppb de O₃, pode ocasionar e/ou agravar enfermidades associadas a irritações nos olhos e vias respiratórias (CETESB, 2014). Para Amâncio et al. (2012) crianças e idosos constituem as faixas etárias com maior risco de adquirir doenças provenientes da poluição atmosférica.

Ao relacionar os efeitos da poluição do ar com o número de internações por doenças respiratórias e cardiovasculares, foi observado na cidade de Cubatão (área que detém de influência industrial) que entre os anos de 2003 e 2008, existiu uma correlação significativa dos níveis de O₃ com o número de doenças respiratórias em menores de 5 anos e doenças cardiovasculares em maiores de 39 anos (NARDOCCI et al. 2013).

Assim como na pesquisa de Nardocci et al. (2013), o estudo de série temporal realizado por Freitas et al. (2016) também retratou correlações entre as concentrações de ozônio e o número de internações por doenças respiratórias em crianças menores que 5 anos.

Estudos como os de Freitas et al. (2016) e Nardocci et al. (2013), reforçam e elucidam sobre a necessidade da implementação do monitoramento ambiental com o intuito de obter dados que permitam auxiliar nas tomadas de decisões destinadas à prevenção e remediação.

Conclusão

Diante dos resultados apresentados nesta pesquisa, foi verificada relação na formação do O₃ através das transformações de NO_x na troposfera, onde pode-se

observar as baixas concentrações diante dos máximos de O₃. Nesse sentido, destaca-se a tendência da formação do O₃ em maiores concentrações no intervalo das 10:00 às 13 horas, período no qual a radiação solar presente na região tem maior intensidade.

Com base nos resultados das concentrações de O₃ e conforme os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018 e pela Organização Mundial de Saúde (OMS) foi constatado que embora níveis de O₃ não tenham ultrapassado o padrão da legislação brasileira em vigor, houve violação quanto ao valor orientado pela OMS.

O fato da ocorrência ter sido identificada somente uma vez ao longo de 18 meses, pode-se afirmar que a probabilidade da população de Lamarão do Passé-Ba adquirir doenças oriundas da incidência de O₃ é relativamente reduzida. Entretanto, dado o histórico da região mediante a influência do Polo Industrial de Camaçari, o resultado configura recomendar que as atividades de monitoramento e controle da qualidade do ar sejam acompanhadas com veemência e continuidade.

Referências

- AMÂNCIO, C. T.; NASCIMENTO, L. F. C. **Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais**. Revista da Associação Médica Brasileira, v.58, n. 3, p. 302-307, mai./jun. 2012.
- ANTUNES, M. L. P.; AGUILAR, A. F.; CAMARGO, S. R. G. **Identificação das fontes precursoras de ozônio na troposfera de sorocaba (s.p.)**. REA – Revista de Estudos Ambientais, Blumenau, v.10, n. 1, p. 33-39, jan./jun. 2008.
- BRAGA, A.; BÖHM, M. G.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. **Poluição atmosférica e saúde humana**. Revista USP, São Paulo, n. 51, p. 58-71, set./nov. 2001.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 491 de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 19 nov 2018.
- CESAR, G. C. A.; NASCIMENTO, C. F. L.; CARVALHO, A. J. **Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças**. Revista de Saúde Pública, v.47, n.6, p.1209-12, 2013.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo. 2014.
- COUTO, E.R. **Transformações de SO₂ e NO₂ na atmosfera da área de influência do Polo Industrial de Camaçari**. 2011. 273 f. Tese (Doutorado em Química) Universidade Federal da Bahia, Bahia.
- DALLAROSA, Juliana Braga. **Estudo da formação e dispersão de ozônio troposférico em áreas de atividade de processamento de carvão aplicando modelos**

numéricos. 2005. 139 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

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, v.30, n.86, p.83-97, 2016.

FRANCISCO, A.; ALVIM, D.; GATTI, L.; PESQUERO, C.; ASSUNÇÃO, J. **Ozônio troposférico e compostos orgânicos voláteis em região impactada pela agroindústria canavieira.** Química Nova, v. 39, n. 10, p. 1177-1183, 2016.

FREITAS, C. U.; LEON, A. C. M. P.; JUNGER, W. L.; GOUVEIA, N. **Poluição do ar e impactos na saúde em Vitória, Espírito Santo.** Revista de Saúde Pública, v.50, n. 4, 2016.

NARDOCCI, A. C.; GOUVEIA, N. C.; FREITAS, C. U.; LEON, A. C. M. P.; JUNGER, W. L. **Air pollution and respiratory and cardiovascular diseases: a time series study in Cubatão, São Paulo State, Brazil.** Cadernos de Saúde Pública, v.29, n. 9, p. 1867-1876, set. 2013.

NETTO, F. D.; DAEMME, L. C.; PENTEADO, R.; BELTRÃO, V. C.; SILVA, V. C. B.; CORRÊA, S. M. **Formação de ozônio troposférico: uma revisão da literatura.** XXV Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva, v. 4. 2017.

NEVES, N.M.S. **Formação e dispersão de ozônio na região do recôncavo baiano.** 2009. 137 f. Tese (Doutorado em Química) Universidade Federal da Bahia, Bahia.

NOGUEIRA, T., DOMINUTTI, P. A., DE CARVALHO, L. R. F., FORNARO, A., DE FATIMA ANDRADE, M. **Formaldehyde and acetaldehyde measurements in urban tmosphere impacted by the use of ethanol biofuel: Metropolitan area of Sao Paulo.** (MASP), 2012–2013. Fuel, v. 134, p. 505-513, 2014.

PIMENTA, Maria Antunes. **Ozônio troposférico – os efeitos na saúde e no meio ambiente e diretrizes para a Região de Belo Horizonte.** 2010. 83 f. Monografia (Especialização em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PITS, B, J, F.; PITTS, J, N. **Chemistry of the upper and lower atmosphere: theory, experiments and applications.** San Diego, USA: Academic Press, 2000.