

## Distribuição das concentrações de Ozônio (O<sub>3</sub>) na área de influência do polo industrial de Camaçari – Bahia: prováveis impactos à Saúde Humana e ao Meio Ambiente

Luciano da Silva Alves <sup>1\*</sup>, Laís Lage dos Santos <sup>2</sup>, Elizabeth da Rocha Couto <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Acadêmico de Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro Universitário Jorge Amado, Brasil. \*luciano.eng@outlook.com

<sup>2</sup>Acadêmica de Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro Universitário Jorge Amado, Brasil

<sup>3</sup>Doutora em Química pela Universidade Federal da Bahia, Professora do Centro Universitário Jorge Amado, Brasil.

*Histórico do Artigo:* Submetido em: 19/08/2019 – Revisado em: 16/12/2019 – Aceito em: 13/03/2020

### RESUMO

O objetivo desta pesquisa consistiu em avaliar o perfil das concentrações do ozônio nas regiões de Camaçari, Lamarão do Passé e Dias D'Ávila, localizadas em torno do Polo Industrial de Camaçari (PIC), e ponderar sobre os possíveis efeitos à Saúde Humana e ao Meio Ambiente. Para isto, foram utilizados os dados de monitoramento cedidos pela Cetrel S/A referentes ao detectado nas estações de Câmara (Camaçari), Machadinho (Camaçari), Escola (Dias D'Ávila) e Lamarão (Lamarão do Passé). As concentrações foram avaliadas conforme as máximas detectadas no período amostral de 1h, Resolução CONAMA n° 491/2018 (71,4 ppb – média móvel de 8h), Organização Mundial da Saúde - WHO (51ppb – média móvel de 8h) e através dos limites da AOT 40 (40 ppb/h). De acordo com os resultados, pôde-se observar que os maiores picos de O<sub>3</sub> foram registrados na estação de Lamarão. Destaca-se que durante todo período, os níveis de O<sub>3</sub> não ultrapassaram os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 491/2018. Contudo, quando comparado com os padrões da WHO, a concentração de 51,21 ppb registrada na estação de Lamarão violou o estabelecido. Dada a avaliação através da AOT 40, foi observado que os níveis de O<sub>3</sub> esteve acima do permitido em todas as estações. Em tese, conclui-se que a população de Lamarão do Passé possui tendência em adquirir enfermidades proveniente das concentrações de O<sub>3</sub>. Quanto aos impactos ao Meio Ambiente, verifica-se que poluição atmosférica é passível de causar danos a vegetação de Camaçari, Dias D'Ávila e Lamarão do Passé.

**Palavras-Chaves:** Monitoramento, Poluição, Ar, Ozônio.

## Distribution of Ozone (O<sub>3</sub>) concentrations in the area influence the industrial polo of Camaçari (Brazil): likely impacts on Human Health and the Environment

### ABSTRACT

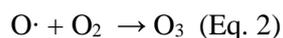
The objective of this research was to evaluate the profile of ozone concentrations in the Camaçari, Lamarão do Passé and Dias D'Ávila regions, located around the Camaçari Industrial Pole (PIC), and to consider the possible effects on Human Health and the environment. For this purpose, the monitoring data provided by Cetrel S/A referring to the data detected at Câmara (Camaçari), Machadinho (Camaçari), Escola (Dias D'Ávila) and Lamarão (Lamarão do Passé) stations were used. Concentrations were evaluated according to the maximum detected in the 1h sampling period, CONAMA Resolution No. 491/2018 (71.4 ppb - 8h moving average), World Health Organization - WHO (51ppb - 8h moving average) and across the limits from AOT 40 (40 ppb/h). According to the results, it was observed that the highest O<sub>3</sub> peaks were recorded at Lamarão station. It is noteworthy that throughout the period, O<sub>3</sub> levels did not exceed the limits established by CONAMA Resolution No. 491/2018. However, when compared to WHO standards, the 51.21 ppb concentration recorded at the Lamarão station violated the established. Given the evaluation through AOT 40, it was observed that O<sub>3</sub> levels were above the allowed in all stations. In theory, it is possible to conclude that the population of Lamarão do Passé has a tendency to acquire diseases from O<sub>3</sub> concentrations. Regarding the impacts on the environment, it is found that air pollution is likely to cause damage to the vegetation of Camaçari, Dias D'Ávila and Lamarão do Passé.

**Keywords:** Monitoring, Pollution, Air, Ozone.

## 1. Introdução

Inicialmente as preocupações com os poluentes atmosféricos ocorriam em torno das emissões do enxofre e seus efeitos. Apenas a partir da década de 50 a poluição fotoquímica oriunda das concentrações de ozônio ( $O_3$ ) começou a ganhar notoriedade. No período, os níveis de  $O_3$  e de outros oxidantes como o peroxiacetilnitrato (PAN) detectados em cidades dos Estados Unidos, especialmente em Los Angeles, configuravam prejuízos à saúde humana e a vegetação (Neves, 2009).

Definido como um poluente secundário, o ozônio troposférico é formado principalmente a partir das reações fotoquímicas ocorridas entre óxidos de nitrogênio -  $NO_x$  e compostos orgânicos voláteis – COVs (Couto, 2011; Dapper et al., 2016; Netto et al., 2017). As equações 1, 2 e 3 demonstram a principal rota de formação do ozônio.



Seguindo a Eq.1, verifica-se que o  $NO_2$  é dissociado pela incidência da luz solar (reação fotoquímica), dando origem por conseguinte ao  $NO$  e ao oxigênio atômico com radical livre para reagir. Nesse sentido, na Eq.2 o oxigênio atômico reage com o oxigênio molecular, dando origem ao ozônio ( $O_3$ ). Na Eq.3, onde ozônio é dissociado na reação com  $NO$ , formando o  $NO_2$ , é retratada a forma cíclica com o que as reações tendem a acontecer na atmosfera. Couto (2011) relata que embora esse seja o principal caminho para formação no  $O_3$ , a presença dos COVs pode ocasionar alterações no ciclo, onde ao incidir nas concentrações de  $NO$  e  $NO_2$ , resulta no aumento dos níveis de  $O_3$ . Para Francisco et al., (2016), a desordem está associada à reatividade e quantidade de  $NO$  e  $NO_2$  existente na atmosfera.

É importante destacar que, quando encontrado na estratosfera, o  $O_3$  representa um gás benéfico, onde é responsável por controlar a entrada da radiação ultravioleta na terra, contudo, na troposfera, as concentrações de  $O_3$  podem oferecer riscos ao meio ambiente e a saúde humana (Neves, 2009; Pimenta, 2010; Couto, 2011).

Estima-se que os efeitos do ozônio sobre o meio ambiente foram descobertos antes do conhecimento dos agravos ocasionados à saúde humana. Devido à característica oxidante, o  $O_3$  afeta diretamente no desenvolvimento das plantas (Wittig et al., 2008). De acordo com Martins e Rodrigues (2001) a identificação mais simples dos prejuízos causados, pode ser realizado através de análises em sua estrutura física que indiquem o comprometimento da saúde vegetal. As principais injúrias causadas pelo  $O_3$  estão ligadas a pigmentação, necrose, clorose e branqueamento (Cetesb, 2016).

Quanto aos prejuízos atrelados a saúde humana, as principais enfermidades estão ligadas a problemas respiratórios, cardiovasculares e irritações. Segundo a Cetesb (2014) o surgimento de irritações nos olhos, vias respiratórias e o agravamento de doenças respiratórias preexistentes, como a asma, são as ocorrências mais relatadas da exposição de seres humanos ao  $O_3$ .

Segundo Camara et al., (2015), as indústrias representam uma das principais fontes emissoras de elementos precursores do ozônio troposférico. Com isso, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o perfil das concentrações do ozônio nas regiões de Camaçari, Lamarão do Passé e Dias D'Ávila, localizadas em torno do Polo Industrial de Camaçari (PIC), e ponderar sobre os possíveis efeitos à Saúde Humana e ao Meio Ambiente.

O presente estudo visa possibilitar o entendimento da população geral e da comunidade científica sobre a influência do ozônio na qualidade do ar na área de influência do PIC.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Caracterização da Área de Estudo

Dado a análise do Polo Industrial de Camaçari (PIC) frente a poluição atmosférica, o mesmo é caracterizado por encontrar-se sob um terreno cuja a topografia suave e as condições meteorológicas possibilita a dispersão para as regiões vizinhas.

O monitoramento da qualidade do ar na área de influência do PIC tem sido realizado de forma contínua há cerca de 25 anos pela empresa Cetrel S/A. Apesar da escala temporal, verifica-se a necessidade de avançar frente ao entendimento e comportamento de outras espécies de poluentes além dos convencionais (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub> e Partículas Inaláveis <10 µm).

Atualmente, cerca de 90 empresas fazem parte da área de influência do PIC, onde partem dos segmentos associados a indústria petrolífera, química, papel, celulose, metalúrgica e dentre outros. Considerando os eventuais ocorridos acerca da implantação, encerramento ou mudança de processos por conta dos empreendimentos, a cada 3 anos são realizados novos estudos sobre a qualidade do ar na região.

### 2.2 Levantamento dos Dados

Os dados de monitoramento referente aos níveis de ozônio troposférico (O<sub>3</sub>), monóxido nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) ocorridas no ano de 2017 e no primeiro semestre de 2018 e os resultados meteorológicos associados a direção dos ventos na região do PIC foram disponibilizados pela Cetrel S/A (empresa responsável pela gestão ambiental do PIC) via parceria com o Centro Universitário Jorge Amado, através de planilha eletrônica do software Excel.

Com isso, foram utilizados nesta pesquisa, os valores pertinentes as concentrações detectadas nas estações de Câmara (Camaçari), Machadinho (Camaçari), Escola (Dias D'Ávila) e Lamarão (Lamarão do Passé). Quanto ao dado meteorológico, este corresponde ao monitorado na estação de na estação de Câmara (mais próxima da zona de influência do PIC).

### 2.3 Tratamento dos Dados

Para analisar o perfil do ozônio (picos e formação) durante o período estudado, foi utilizado a concentração máxima mensal no intervalo amostral correspondente a uma hora e, por conseguinte a média das concentrações de NO e NO<sub>2</sub> (NO<sub>x</sub>) no determinado momento.

Quanto as concentrações, essas foram avaliadas conforme a Resolução CONAMA nº 491/2018 (legislação responsável por dispor dos padrões da qualidade do ar no Brasil), mediante aos limites proposto pela Organização Mundial de Saúde (WHO) e de acordo com a metodologia AOT40 (pondera os efeitos sobre a vegetação).

Nesse sentido, em acordo com ambos os parâmetros estabelecidos, foram extraídas as maiores médias móveis mensais no intervalo amostral de 8 horas (CONAMA nº 491/2018 e WHO) e a média amostral das concentrações no período de 1 hora (AOT40). A Resolução CONAMA nº 491/2018 propõe o limite de 140 µg/m<sup>3</sup> (71,4 ppb), a WHO estabelece o padrão de 100 µg/m<sup>3</sup> (51 ppb) e a AOT40, refere-se ao valor máximo de 40 ppb.h.

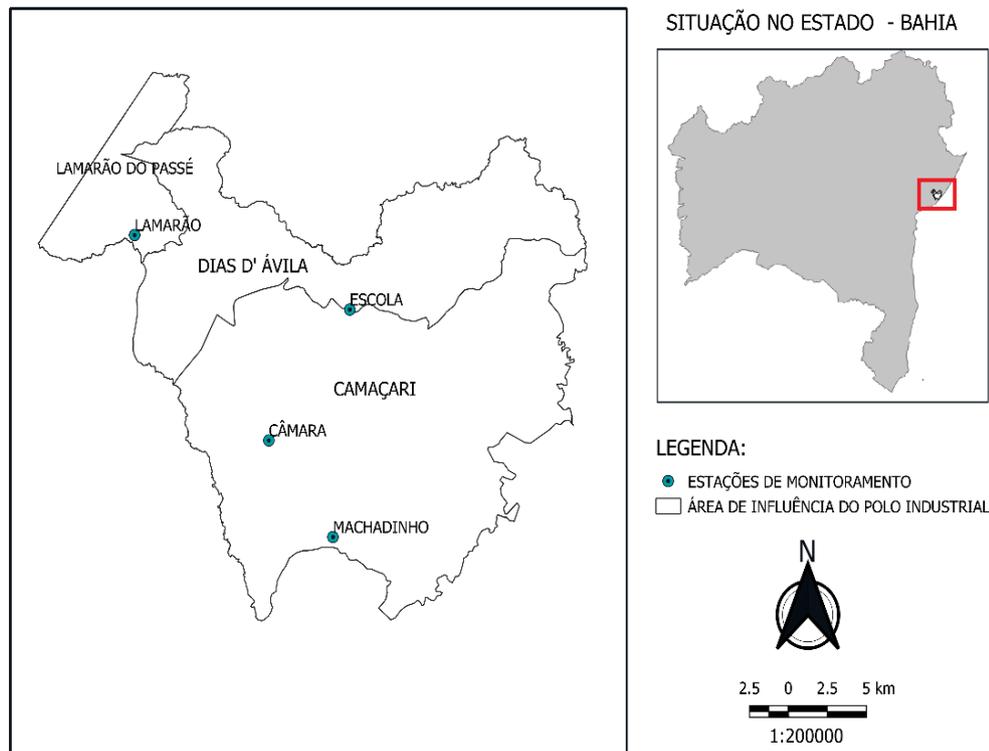
Através do Software livre Excel foi realizado a estatística descritiva das concentrações de ozônio referentes as máximas detectadas nas estações no período amostral de 1h e a média móvel 8h.

## 2.4 Metodologia do monitoramento do Ozônio na Região do Polo Industrial de Camaçari – Ba

O instrumento utilizado pela Cetrel S/A para avaliar a incidência de O<sub>3</sub> na atmosfera, foi desenvolvido pela empresa francesa *Environnement S.A*, cuja a metodologia utilizada para a análise, consiste na absorção ultravioleta na faixa de 253.7 nm (quimioluminescência) e possui valor mínimo de detecção (Limite de Detecção) de 0,4 ppb.

Os amostradores ativos automáticos são locados em estações de monitoramento remoto e operam de forma contínua durante 24 horas, detectando concentrações no intervalo de 15 em 15 minutos, totalizando a quantia de 96 resultados diários. A figura 1 apresenta a localização geográfica das estações de Câmara, Machadinho, Escola e Lamarão.

**Figura 1** – Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar na área de influência do PIC.



Fonte: Autores (2019).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Perfil do Ozônio Troposférico na Região do Polo Industrial de Camaçari – Ba (PIC)

A tabela 1 apresenta a estatística descritiva das concentrações máximas mensais de O<sub>3</sub> no período amostral de 1, referente ao detectado nas quatro estações de monitoramento. Tomando como base os valores referentes ao desvio padrão, observa-se que tanto no ano de 2017, quanto no primeiro semestre de 2018, em grande parte do tempo de monitoramento os níveis de O<sub>3</sub> entre as estações tende a ser homogêneo, apresentando variações em torno de até 10 ppb (máximo – mínimo). Apesar da característica, é preciso destacar a existência de meses onde as variações foram significativas, no ano de 2017, no mês de maio e dezembro, o desvio padrão foi de 14,37 e 11,11 ppb, junto a isso os intervalos de máximo e mínimo foram de 70,5 – 40,8 pbb e 40,7 – 15,4 ppb. No primeiro semestre de 2018, no mês de março, o desvio padrão foi maior encontrado, 17,48 pbb, com máximo e mínimo oscilando entre 67,4 e 26 ppb.

Durante todo período de monitoramento, nota-se que as duas maiores variações ocorreram diante das duas maiores concentrações, 70,5 pbb em maio de 2017 e 67,4 ppb no primeiro semestre de 2018. Acredita-se que tal fator esteja atrelado ao fato da formação do O<sub>3</sub> ocorrer de forma catalisada, depender de variáveis como as meteorológicas (emissões advindas do PIC) e/ou até mesmo ser resultante do aumento de emissões pontuais dos elementos precursores.

**Tabela 1** – Estatística descritiva das concentrações máximas mensais de O<sub>3</sub> no período amostral de 1h (ppb), referente ao detectado mensal nas quatro estações de monitoramento.

Mês	2017					Primeiro Semestre de 2018				
	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão
Jan	29,6	21,40	24,75	3,54	1,77	25,90	16,3	22,45	4,30	2,15
Fev	38,00	23,60	28,88	6,62	3,31	29,20	18,50	23,38	4,55	2,27
Mar	28,40	20,30	24,40	3,34	1,67	67,40	26,00	49,10	17,48	8,74
Abr	31,70	22,80	26,10	4,18	2,09	33,60	23,30	27,90	5,24	2,62
Mai	70,50	40,80	49,00	14,37	7,18	34,60	29,00	32,08	2,31	1,15
Jun	36,60	28,10	32,45	4,23	2,11	37,60	22,40	30,60	8,14	4,07
Jul	34,20	29,90	31,55	1,87	0,93					
Ago	47,20	31,50	39,20	6,46	3,23					
Set	34,40	28,20	29,93	2,99	1,50					
Out	39,30	26,70	32,43	5,62	2,81					
Nov	28,60	25,30	26,18	1,62	0,81					
Dez	40,70	15,40	31,53	11,11	5,56					

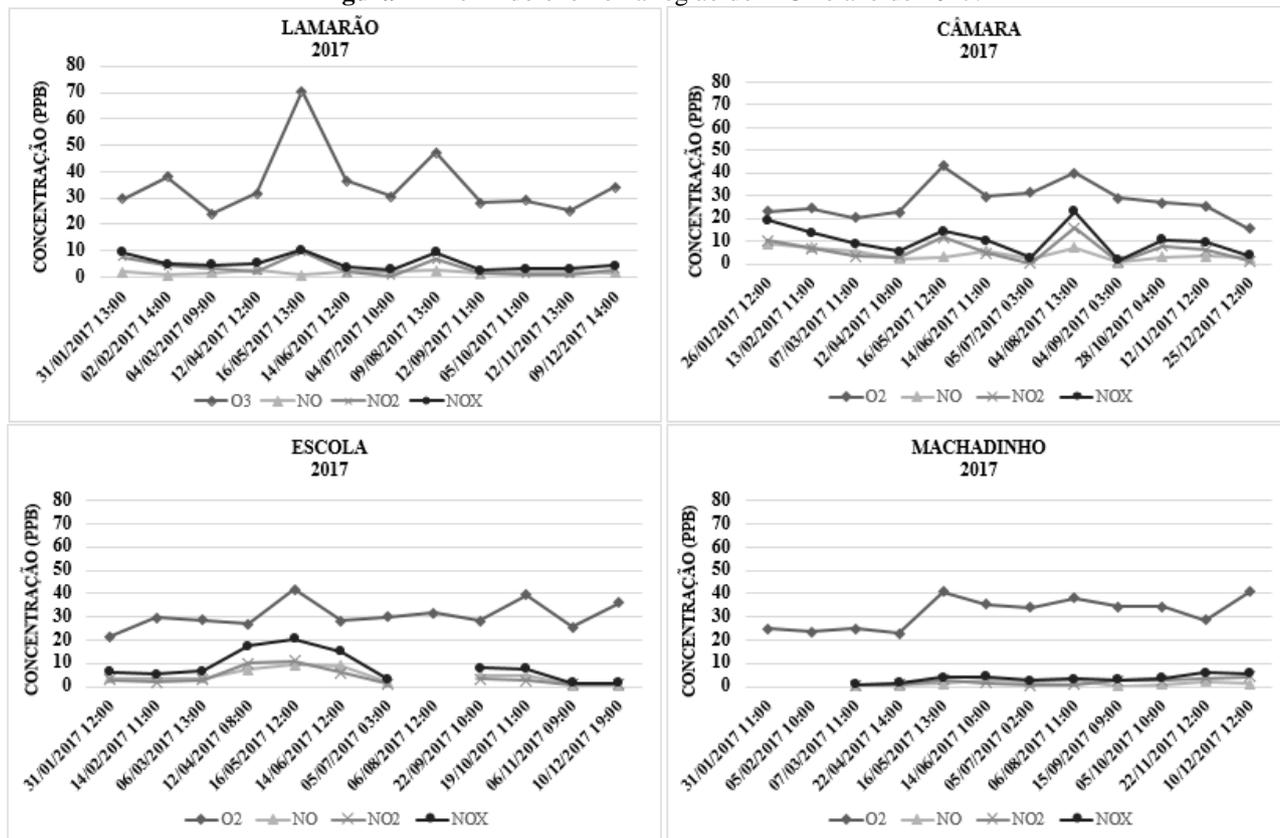
**Fonte:** Autores (2019).

As figuras 2 e 3 apresentam o perfil das concentrações máximas de ozônio no período amostral de 1 hora, nas estações de Câmara e Machadinho (Camaçari), Escola (Dias D'Ávila) e Lamarão (Lamarão do Passé), no ano de 2017 e no primeiro semestre de 2018.

Os resultados encontrados na figura 2 demonstram que os maiores picos de ozônio ocorreram paralelamente nas 4 estações, no período que compreende o mês de maio. Dentro desse contexto, destaca-se

que a maior incidência foi detectada na estação de Lamarão (70,5 ppb) e a menor, na estação de Machadinho (40,8 ppb). Nas estações de Câmara e Escola, foram detectados 43,1 e 41,6 ppb.

**Figura 2** – Perfil do ozônio na região do PIC no ano de 2017.

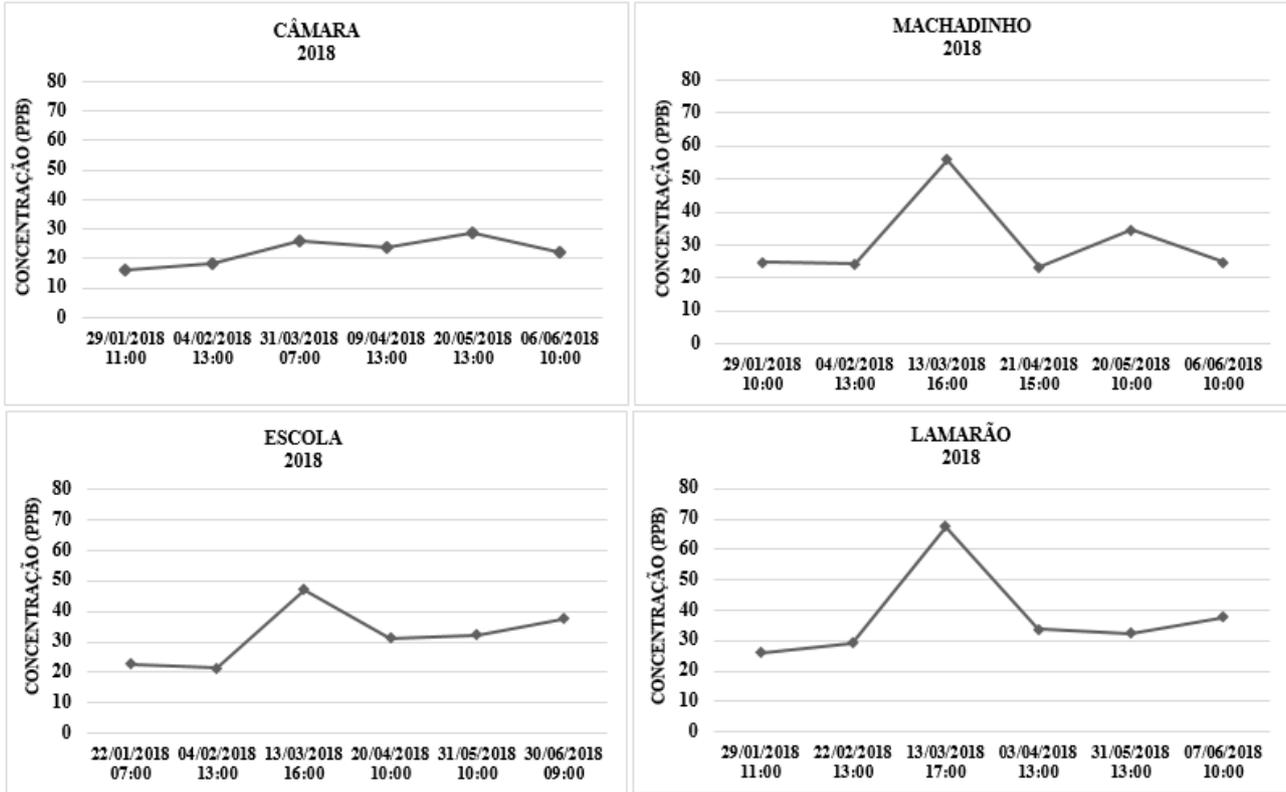


Fonte: Autores (2019).

Tendo em vista os picos ocorridos no ano de 2017, é identificado que com exceção de Machadinho, a curva de NOx tende a acompanhar a curva de ozônio, principalmente no momento em que as concentrações foram acentuadas. O eventual é melhor observado nas estações de Câmara e Lamarão. Nesta primeira, a curva de ozônio e de NOx seguem a mesma dinâmica. Já na estação de Machadinho e Escola, o comportamento é notado diante da ocorrência das maiores concentrações de O<sub>3</sub> (Figura 2). Tal perfil elucida sobre a existência de concentrações significativas de NO e NO<sub>2</sub> antes da formação do ozônio na atmosfera de Camaçari (Câmara e Machadinho), Dias D’Ávila (Escola) e Lamarão do Passé (Lamarão).

Conforme a análise da figura 3, é possível verificar que, exceto os resultados registrados na estação de Câmara, as maiores incidências de ozônio foram detectadas simultaneamente no mês de março, onde ficou registrado nas estações de Lamarão, Escola e Machadinho, as concentrações de 67,4 ppb, 47,2 ppb e 55,8 ppb. Para o primeiro semestre de 2018, devido a necessidade de calibração e/ou falhas nos amostradores de NO e NO<sub>2</sub>, não foi possível traçar o comportamento em função das máximas de O<sub>3</sub>.

**Figura 3 - Perfil do ozônio na região do PIC no primeiro semestre de 2018.**



Fonte: Autores (2019).

Além da presença de NO<sub>x</sub>, a formação do O<sub>3</sub> está diretamente ligada a existência de fótons (Braga et al., 2001; Antunes et al., 2008; Nogueira et al., 2014; Netto et al., 2017; Júnior, 2018). Seguindo o contexto, era de se esperar que as maiores concentrações de ozônio na área do PIC ocorressem entre os meses de dezembro e fevereiro (verão). Ao verificar as figuras 2 e 3, observa-se que as máximas foram registradas em março (transição entre a estação seca e chuvosa) e maio (estação chuvosa). Acredita-se que o fenômeno esteja atrelado ao aumento da nebulosidade resultante da atividade convectiva que, por sua vez, reduz a incidência de radiação solar na troposfera (Júnior, 2018). Tal comportamento também foi notado por Kalbarczyk et al., (2015), onde os maiores níveis de O<sub>3</sub> foram detectados no período chuvoso.

Avaliando o horário das maiores concentrações de O<sub>3</sub> nas figuras 2 e 3, é observado a tendência de formação no intervalo que corresponde das 10:00 às 14:00 horas. O resultado é proveniente da elevada radiação solar presente na região em estudo, o qual atua como catalisador, possibilitando o aumento dos níveis de O<sub>3</sub>, principalmente no município de Lamarão do Passé (Couto, 2011).

Não obstante, é observado a existência de meses onde a concentração máxima ocorreu no início da manhã, fim da tarde e no período da “madrugada”. Fundamentado nas pesquisas de Neves (2009) e Couto (2011), a poluição atmosférica nas regiões em estudo, na parte da manhã e final da tarde, além das emissões provenientes do PIC, é fortemente influenciada pelo tráfego de veículos. Quanto aos níveis detectados na parte da madrugada, esses estão associados ao período de calmaria que se estabelece na atmosfera a partir das 00:00 às 5:00 horas da manhã.

A estação de Machadinho está localizada próxima a faixa litorânea de Camaçari-BA. Dada a existência da dispersão atmosférica por meio do spray marinho, a área em que ocupa, além de ser livre das emissões do PIC, é tida como *Background* (área livre de influência antrópica). Contudo, no estudo de Neves (2009) a variação de ozônio na estação, nos anos de 2004 a 2008, esteve em maior parte do tempo de monitoramento na faixa de 20 a 30 ppb (média horária). Comparando os resultados com o obtido nesta pesquisa, constata-se o aumento das concentrações, onde a tendência de variação no ano de 2017 esteve no intervalo de 30 a 40 ppb (Figura 2). Embora não se tenha a série anual completa, no primeiro semestre de 2018, a concentração de ozônio acima de 50 ppb detectada no mês de maio retrata que área é passível da existência de influências antrópicas (Figura 3). Nesse contexto, acredita-se que o aumento de veículos ao longo dos anos, tenha contribuído com o aumento das concentrações de ozônio na região.

### 3.2 Dispersão de Poluentes na Área do Polo Industrial de Camaçari - Ba

Um dos principais desafios do monitoramento de poluentes atmosféricos consiste na identificação das fontes emissoras. As influências dos fatores meteorológicos e topográficos fazem com o que muitas das vezes um poluente seja identificado longe da fonte emissora. Nesse contexto, infere-se que as regiões englobadas nessa pesquisa estão sujeitas a receber parte das emissões oriundas do PIC. As figuras 4 e 5 apresentam a rosa de ventos na estação de Câmara no ano de 2017 e no primeiro semestre de 2018.

Conforme a análise da figura 4, é observado que no primeiro trimestre de 2017, a predominância de ventos detectada na estação de Câmara partiu de Leste e Lestesudeste (E - ESSE). Durante segundo trimestre, é verificado uma oscilação entre Estesudeste e Sulsudeste (ESE - SSE). No terceiro trimestre, a variação na predominância de ventos parte de Sudeste e Sulsudeste (SE – SSE). No quarto trimestre, a circulação foi a mais homogênea do ano, soprando das direções Estenordeste e Leste (ENE – E).

Os resultados contidos na Figura 5 demonstram que durante o primeiro trimestre de 2018, em maior parte do tempo a predominância de ventos partiu de Estenordeste e Leste (ENE - E). Já no segundo trimestre, houve uma maior ocorrência a partir da direção Sulsudeste (SSE).

Os resultados encontrados assemelham-se com os apresentados por Neves (2009). A pesquisadora apontou que a predominância de ventos na estação de Câmara, no ano de 2008, foi de Leste e Sudeste (E - SE).

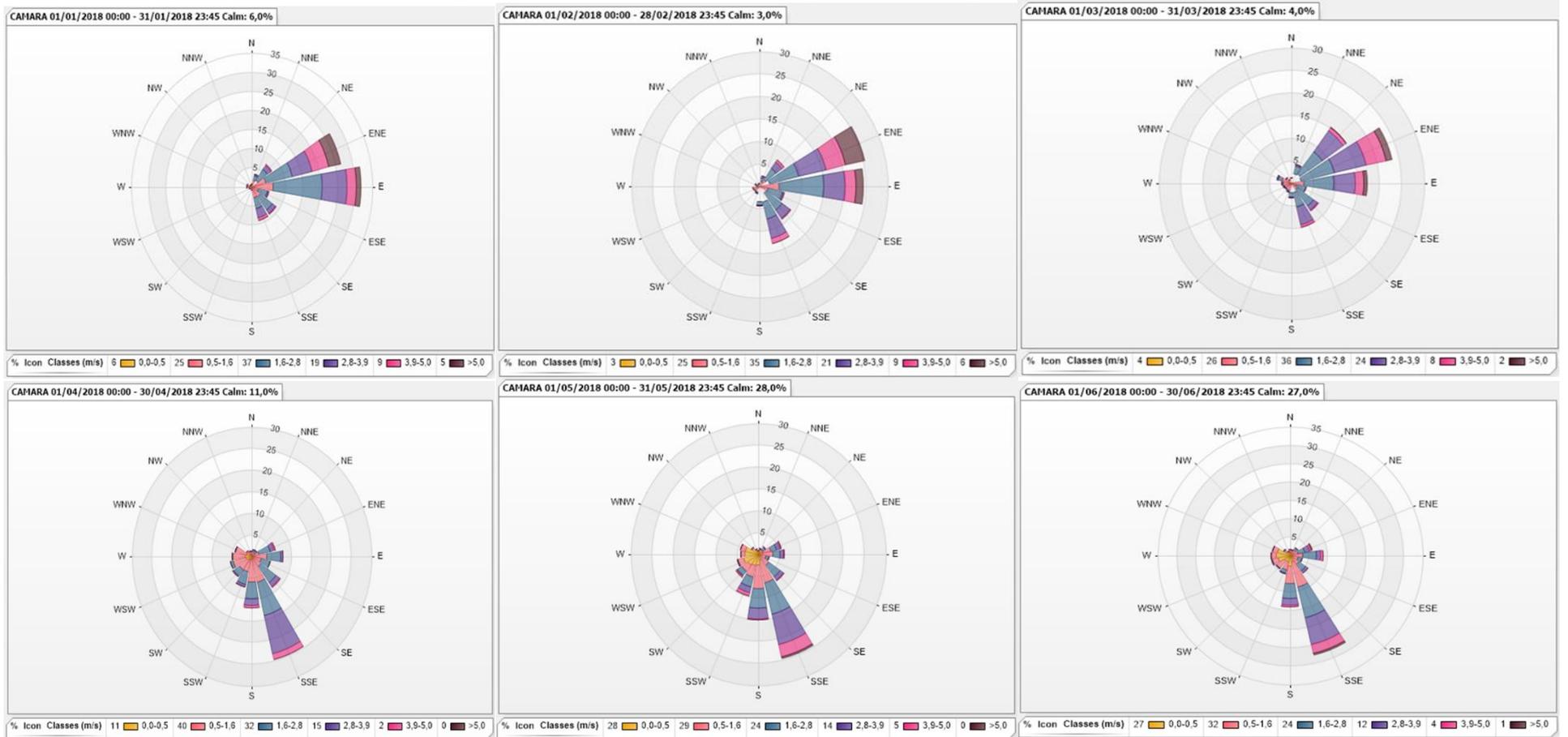
No estudo de Couto (2011), diante da modelagem de dados climatológicos referentes a escala temporal de trinta anos, foi colocado e destaque que, as condições meteorológicas associadas as circulações dos ventos e a topografia suave na área do PIC representam fatores determinantes na dispersão de poluentes atmosféricos. Ainda baseado na autora, pode-se afirmar que assim como no ano de 2017, as direções detectadas no primeiro semestre de 2018 contribuem com a dispersão de poluentes para os municípios de Lamarão do Passé e Dias D'Ávila. A poluição atmosférica oriunda das emissões do PIC, só afetariam a qualidade do ar da cidade de Camaçari diante da ocorrência de ventos partindo da região Nordeste (NE) e Noroeste (NW).

**Figura 4 - Rosa dos ventos mensal da estação de Câmara no ano de 2017.**



Fonte: Adaptado de Cetrel (2019).

**Figura 5 - Rosa dos ventos mensal na estação de Câmara no primeiro semestre de 2018.**



Fonte: Adaptado de Cetrel (2019).

### 3.3 Avaliação das Concentrações de Ozônio em Acordo com a Resolução CONAMA nº 491/2018 e com os Padrões da WHO (efeitos à saúde humana).

A tabela 2 apresenta a estatística descritiva das concentrações máximas mensais de O<sub>3</sub> (média móvel 8h), referente ao detectado nas quatro estações de monitoramento. Quando comparado com a tabela 1, é possível notar que, quando posto sob a média móvel de 8h, as variações tendem a ser menores. Mesmo diante do desvio padrão de 8,68 ppb referente a dezembro de 2017 e 14,52 ppb no mês março de 2018, em grande parte do tempo de monitoramento os valores apresentam-se em torno de até 4,43 ppb. É de consenso que o resultado encontrado para o desvio padrão é resultante da baixa variação entre os valores de máximo e mínimo, o qual permite que a média entre as estações seja aproximada ao detectado por cada uma. Não obstante, quando comparado com os achados da tabela 1, têm-se o seguinte comportamento: quando mensurado através da média móvel referente ao período amostral de 8h, os picos ocorridos não são tão recorrentes, isso por que seria necessário a ocorrência de elevadas concentrações num largo espaço de tempo.

Seguindo o contexto, mesmo que em menor frequência, assim como na tabela 1, acredita-se que *outliers* detectados na tabela 2 esteja atrelado ao fato da formação do O<sub>3</sub> ocorrer de forma catalisada, depender de variáveis como as meteorológicas (emissões advindas do PIC) e/ou até mesmo ser resultante do aumento de emissões pontuais dos elementos precursores.

**Tabela 2** – Estatística descritiva das concentrações máximas mensais de O<sub>3</sub> (média móvel 8h - ppb), referente ao detectado mensal nas quatro estações de monitoramento.

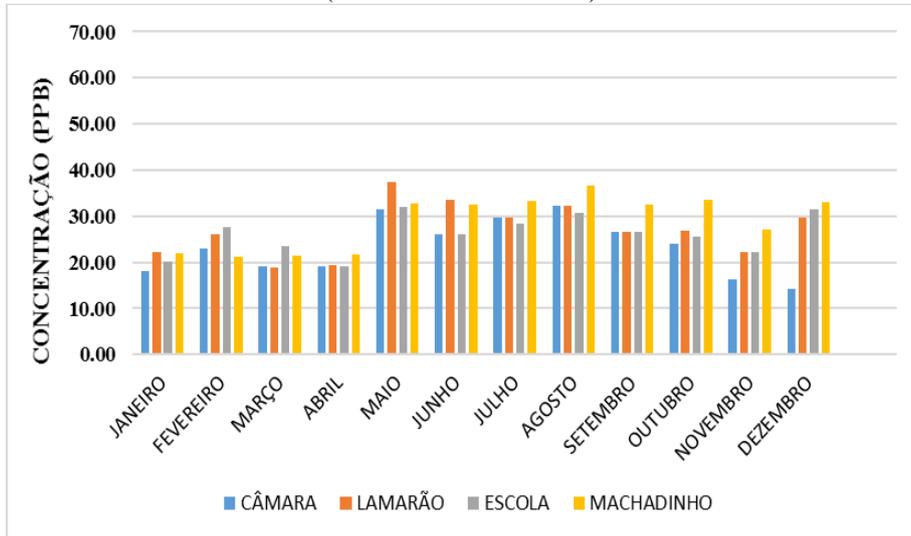
Mês	2017					Primeiro Semestre de 2018				
	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão
Jan	22,17	18,17	20,62	1,90	0,95	20,32	14,02	18,91	3,75	1,87
Fev	27,69	21,28	24,52	2,90	1,45	20,41	16,65	19,92	2,60	1,30
Mar	23,63	18,77	20,72	2,29	1,14	51,21	16,99	36,32	14,52	7,26
Abr	21,73	19,03	19,87	1,26	0,63	25,84	19,27	21,97	2,94	1,47
Mai	37,46	31,46	33,44	2,73	1,37	26,24	20,65	23,46	2,32	1,16
Jun	33,53	26,02	29,56	4,03	2,02	30,18	20,22	24,49	4,15	2,07
Jul	33,17	28,38	30,23	2,05	1,03					
Ago	36,76	30,74	33,00	2,61	1,30					
Set	32,52	26,59	28,11	2,94	1,47					
Out	33,43	24,09	27,45	4,14	2,07					
Nov	27,03	16,23	21,96	4,43	2,21					
Dez	32,93	14,20	27,06	8,68	4,34					

**Fonte:** Autores (2019).

A Figura 6 apresenta as concentrações máximas mensais de ozônio nas estações de Câmara, Machadinho, Escola e Lamarão no ano de 2017. Os valores de ozônio detectados nas estações não ultrapassaram o limite de 140 µg/m<sup>3</sup> (71,4 ppb) estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018. As maiores incidências no ano de 2017 foram registradas nas estações de Lamarão (37,5 ppb) no mês de maio e de Machadinho (36,7 ppb) no mês de agosto.

Embora os valores estejam em acordo com a legislação em vigor, assim como no estudo do perfil (Figura 4 e 5), as concentrações de ozônio na estação de Machadinho (média móvel de 8 horas), demonstram-se atípicas para uma área considerada Background. Durante os meses de abril, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, a incidência de O<sub>3</sub> foi a mais elevada dentre as quatro estações.

**Figura 6 -** Concentração máxima mensal de ozônio no ano de 2017 (média móvel de 8 horas).

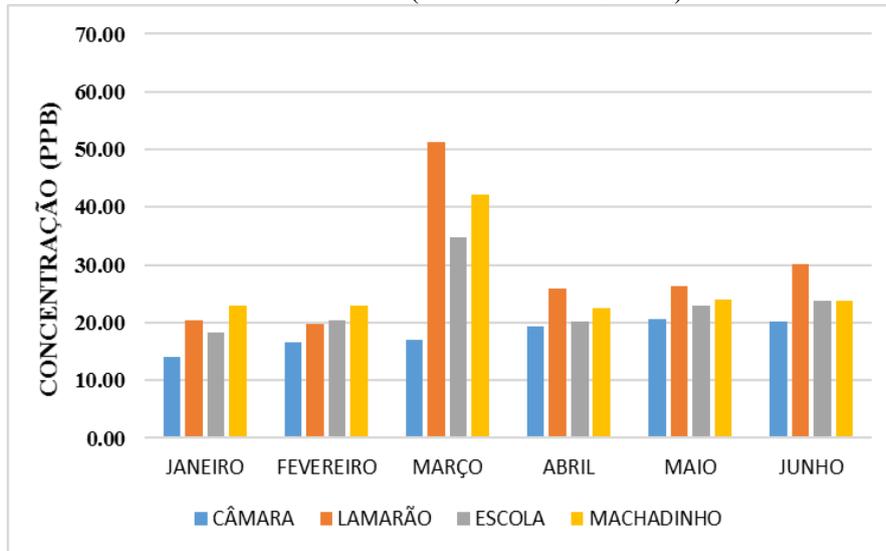


Fonte: Autores (2019).

Através da Figura 7 pode-se observar que no primeiro semestre de 2018, os níveis de Ozônio não estiveram acima do limite proposto pela Resolução CONAMA nº 491/2018. Durante o período, a maior concentração foi obtida na estação de Lamarão (51,21 ppb) no mês de março.

Relacionando com primeiro semestre de 2017, nota-se que com exceção do mês de março, nos demais meses não ocorreram variações significativas na faixa de concentração do O<sub>3</sub>.

**Figura 7 -** Concentração máxima mensal de ozônio no primeiro semestre de 2018 (média móvel de 8 horas).



Fonte: Autores (2019).

A Organização Mundial de Saúde (WHO) propõe que o limite de exposição ao ozônio não deve ultrapassar a concentração de 100 µg/m<sup>3</sup> ou 51 ppb. Avaliando as Figuras 6 e 7, apenas no primeiro semestre de 2018, no mês de março, a incidência de O<sub>3</sub> (51,21 ppb) registrada na estação de Lamarão ultrapassou o estabelecido. Apesar de ter ocorrido somente uma vez, é preciso atentar para sua representatividade. Isso devido ao fato da população estar exposta a elevadas concentrações de O<sub>3</sub> em um largo espaço de tempo.

Em crítica a legislação atual, Júnior (2018) revela que a metodologia não permite a análise de picos em intervalo menores de tempo, onde a conformidade com os limites da WHO e CONAMA, podem representar de forma errônea a qualidade do ar. Em consonância, o estudo de série temporal realizado por Freitas et al., (2016), no Município de Vitória (ES), destaca a existência de correlações entre picos de ozônio no período amostral de “uma hora” e o número de internações associadas a doenças cardiovasculares em crianças menores que 5 anos. Mesmo com a vigência atual da legislação brasileira, diante do fato da mesma ter sido fundamentada nos padrões da WHO (que já carece de revisões) é possível inferir sobre a necessidade de estudos que visem a melhoria dos instrumentos legais aplicáveis, tornando-os mais representativos.

No Brasil, um dos principais polos industriais está localizado na cidade de Cubatão, no estado de São Paulo. Entre os anos de 1970 e 1980, dado a existência do grande número de indústrias do setor petroquímico, siderúrgico e de fertilizantes, a cidade passou a ser considerada a mais poluída do mundo (Nardocci et al., 2013).

Ao relacionar os efeitos da poluição do ar com o número de internações por doenças respiratórias e cardiovasculares, foi observado na cidade de Cubatão que entre os anos de 2003 e 2008, existiu uma correlação significativa dos níveis de O<sub>3</sub> com o número de doenças respiratórias em menores de 5 anos e doenças cardiovasculares em maiores de 39 anos (Nardocci et al., 2013).

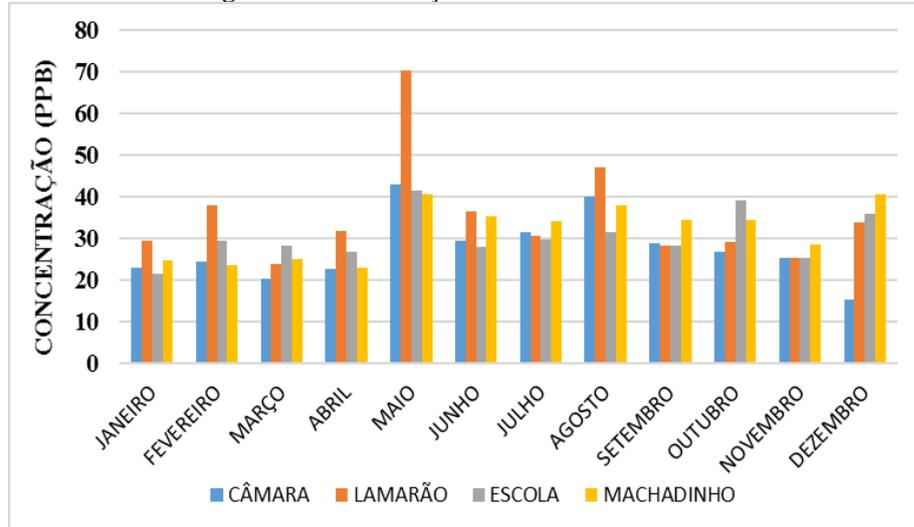
### *3.4 Avaliação das Concentrações de Ozônio Conforme a Metodologia AOT40 (efeitos ao meio ambiente).*

Dos poluentes atmosféricos, estima-se que o ozônio esteja entre os mais fitotóxicos (Cetesb, 2016). De acordo com Bulbovas et al., (2008), quando impregnado as plantas, o ozônio é acumulado nos estômatos e espaços intercelulares. Logo, em contato com a água, o poluente reage formando espécies com elevado poder oxidativo, podendo afetar as moléculas vitais e causar desequilíbrios bioquímicos. Diante da disfunção é possível que o processo da fotossíntese seja afetado, acarretando prejuízos ao crescimento e/ou até mesmo a morte celular do vegetal.

Em contrapartida, é preciso atentar-se para o fato de que algumas plantas possuem certa resistência, isso devido a existência de mecanismos que impedem a absorção do O<sub>3</sub> e que auxiliam no processo de desintoxicação do poluente (Dafré, 2010). Considerando a vulnerabilidade, uma planta bastante utilizada para o biomonitoramento é a *Nicotiana tabacum*.

A AOT40 (concentrações acumuladas de ozônio acima de 40 ppb.h) consiste numa metodologia utilizada para avaliar a influência das concentrações de O<sub>3</sub> sobre o meio ambiente (vegetação). Tal metodologia foi adotada pela Comissão Econômica das Nações Unidas da Europa (UNECE), cuja a expressão AOT remete o mapeamento geográfico de áreas onde o O<sub>3</sub> excede níveis críticos, podendo causar injúrias as plantas. De modo geral, o indicador é orientado para subsidiar estratégias para o controle de emissões dos elementos precursores. Diante da análise da figura 8, é observado que no mês de maio, agosto e dezembro, os níveis de ozônio ultrapassaram 40 ppb.h. No mês de maio, foram detectadas as concentrações de 43,1 ppb (Machadinho), 70,5 (Lamarão), 41,6 (Escola) e 40,8 (Machadinho). No mês de agosto, somente o registrado na estação de Lamarão (47,2 ppb) violou o limite proposto. No período correspondente a dezembro, apenas a incidência de 40,7 ppb na estação de Machadinho, esteve fora do padrão.

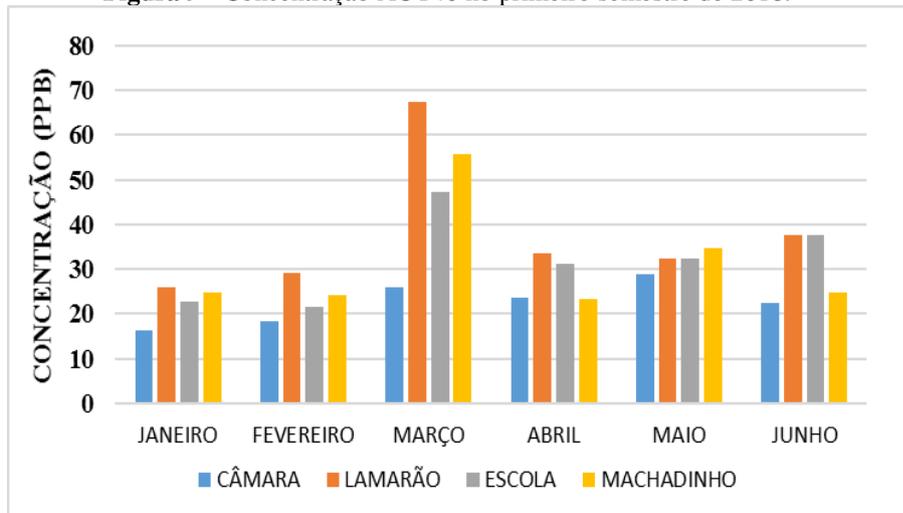
**Figura 8 - Concentração AOT40 no ano de 2017.**



Fonte: Autores (2019).

Através da figura 9, pode-se constatar somente no mês de março as concentrações de O<sub>3</sub> violaram o limite de 40 ppb.h. Foram detectados os valores de 67,4 ppb (Lamarão), 47,2 (Escola) e 55,8 ppb (Machadinho). Não obstante, ao longo do período, apenas as concentrações registradas nas estações de Lamarão e Escola, no mês de junho, estiveram próximas ao limite permitido.

**Figura 9 - Concentração AOT40 no primeiro semestre de 2018.**



Fonte: Autores (2019).

Tendo em vistas os resultados referentes ao ano de 2017 e ao primeiro semestre de 2018, tomando como análise a estatística descritiva referente as concentrações no período amostra de 1h, observa-se que na maioria das vezes em que os valores de O<sub>3</sub> ultrapassaram o valor de 40 ppb, o desvio padrão apresentou-se elevado, caracterizando a existência de picos de ozônio em alguma das estações. Uma vez que em maior parte do tempo de monitoramento as concentrações máximas registradas não atingem os 40 ppb, os resultados apontam a ocorrência de alguma externalidade (congestionamentos e/ou aumento das emissões advindas do PIC) nos meses em que as os níveis não estiveram de acordo com o proposto pela AOT40.

Os resultados encontrados assemelham-se com os de Neves (2009), embora tratado de forma breve, no ano de 2008, foi verificado a existência de concentrações acima de 40 ppb na região em estudo, salientando a possibilidade de efeitos negativos sobre a vegetação.

#### 4. Conclusão

De acordo com resultados associados ao perfil do ozônio, pode-se notar que em todo o período estudado, os maiores picos ocorreram na cidade de Lamarão do Passé. Ainda assim, é de destaque que as concentrações detectadas na estação de Machadinho (Camaçari), determina que área não seja mais classificada como *Background*.

No ano de 2017 foi possível avaliar a formação do O<sub>3</sub> através dos precursores NO e NO<sub>2</sub>. Diante dos resultados, pôde-se notar que a baixa concentração de NO e NO<sub>2</sub> diante da incidência máxima de O<sub>3</sub>, incide em determinada conformidade das reações na atmosfera.

No período estudado, as concentrações de ozônio não excederam o limite proposto pela Resolução CONAMA 491/2018. Contudo, quando avaliado com os padrões propostos pela Organização Mundial de Saúde (WHO), estação de Lamarão registrou concentrações de ozônio acima do permitido. Nesse sentido, destaca-se que o acontecido expõe a população residente de Lamarão do Passé a adquirir enfermidades provenientes da poluição atmosférica.

Quando avaliado os limites (AOT40) que mensuram os impactos do ozônio ao Meio Ambiente (vegetação), as concentrações ultrapassaram o limite em todas as estações de monitoramento. Desse modo, os resultados enfatizam comprometimento da poluição atmosférica na vegetação de Camaçari, Dias D'Ávila e Lamarão do Passé.

Ademais, é importante concluir que além das emissões contínuas de cerca de 90 empresas localizadas no Polo Industrial de Camaçari, a atmosfera das regiões em estudo é afetada pelo aumento do tráfego de veículos local.

Este artigo buscou traduzir dados de monitoramento referentes a interferência dos níveis de ozônio na qualidade do ar na área do PIC e elucidar sobre os prováveis efeitos à Saúde Humana e ao Meio Ambiente. Para estudos futuros, recomenda-se a realização de abordagens pontuais como: pesquisas que remetam a modelagem matemática das plumas de poluição na atmosfera, que estudem os efeitos diretos sobre a vegetação da região e que busquem a correlação estatística entre as concentrações de O<sub>3</sub> e a saúde da população. Além disso, ressalta-se a importância de ter acesso ao inventário de emissões do PIC, o qual permitirá mensurar quais os empreendimentos possuem maior potencial de influir na qualidade do ar.

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Iniciação Científica do Centro Universitário Jorge Amado, pelo incentivo a linha de pesquisa e a empresa Cetrel S/A por ter disponibilizado os dados referentes ao monitoramento da qualidade do ar.

## 6. Referências

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.

BULBOVAS, P. et al. **Avaliação da sensibilidade de plantas jovens de quiabo** (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. - Malvaceae) **ao ozônio**. Hoehnea, v.35, n.3, p. 359-366, 2008.

CAMARA, V. F.; LISBOA, H. M.; HOINASKI, L.; DAVID, P. C. **Levantamento das emissões atmosféricas da indústria da cerâmica vermelha no sul do estado de Santa Catarina, Brasil**. Cerâmica, vol. 61, n. 358, p. 213-218, 2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Avaliação dos níveis de ozônio troposférico (AOT 40) com referência a proteção da vegetação no estado de São Paulo**. Disponível em: <<https://www.cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/Relat%C3%B3rio-AOT40-online.pdf>>. Acesso em: 20 Maio 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo. 2014.

COUTO, E.R. **Transformações de SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> na atmosfera da área de influência do polo industrial de Camaçari**. 2011. 273 f. Tese (Doutorado em Química) Universidade Federal da Bahia, Bahia.

DAFRÉ, M. **Capacidade de oxi-redução de plantas de *Ipomoea nil* (L.) Roth cv. Scarlet O' Hara em área contaminada por ozônio, no Parque Estadual das Fontes de Ipiranga – SP**. 2010. 77p. Dissertação (Mestrado em biodiversidade e meio ambiente). Instituto de Botânica, Secretaria do Estado de Meio Ambiente, São Paulo.

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.

JÚNIOR, E.P. **Distribuição espacial do ozônio troposférico em Jundiá – SP, como subsídio a estudos de exposição da população.** 2018. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade de São Paulo. São Paulo.

KALBARCZYK, R.; KALBARCZYK, E.; NIEDŹWIECKA-FILIPIAK, I.; SERAFIN, L. **Ozone concentration at ground level depending on the content of NOx and meteorological conditions.** Ecol. chem. eng., n. 22, v. 4, p. 527-541, 2015.

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.

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.

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.; CARVALHO, L. R. F.; FORNARO, A. F. A. M. **Formaldehyde and acetaldehyde measurements in urban atmosphere impacted by the use of ethanol biofuel: Metropolitan area of Sao Paulo.** 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.

WITTIG, I. E.; ELIZABETH, A. A.; NAIDU, S. L.; KARNOSKY, D. F.; LONG, S. P. **Quantifying the impact of current and future tropospheric ozone on tree biomass, growth, physiology and biochemistry: a quantitative meta-analysis.** Global Change Biology, v.15, p. 396-424, jul. 2008.

World Health Organization – WHO. **Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution.** European Center for Environment and Health, 2005.

## Informações adicionais

*Como referenciar este artigo:* Alves, L.S., Santos, L.L., Couto, E.R. (2020). Distribuição das concentrações de Ozônio (O3) na área de influência do polo industrial de Camaçari – Bahia: prováveis impactos à Saúde Humana e ao Meio Ambiente. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.8, n.1, p.113-130.



A RVBMA utiliza a licença Creative Commons - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC, no qual, os artigos podem ser compartilhados desde que o devido crédito seja aplicado de forma integral ao autor (es) e não seja usado para fins comerciais.