



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

aa/bb/cc/dd-TDI

**ESTUDO DE QUALIDADE DO AR NA REGIÃO  
METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (RMRJ):  
ANÁLISE DO OZÔNIO TROPOSFÉRICO E VALIDAÇÃO  
DO MODELO BRAMS PARA O PERÍODO DOS JOGOS  
OLÍMPICOS DO RIO DE JANEIRO**

Beatriz Pereira Miranda

Relatório Final de Bolsa de Iniciação Científica, orientado por Ariane Frassoni e Ana Nunes

URL do documento original:

<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE  
São José dos Campos  
Setembro de 2020

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6923/6921

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: [pubtc@sid.inpe.br](mailto:pubtc@sid.inpe.br)

## **COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):**

### **Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **Membros:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

aa/bb/cc/dd-TDI

**ESTUDO DE QUALIDADE DO AR NA REGIÃO  
METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (RMRJ):  
ANÁLISE DO OZÔNIO TROPOSFÉRICO E VALIDAÇÃO  
DO MODELO BRAMS PARA O PERÍODO DOS JOGOS  
OLÍMPICOS DO RIO DE JANEIRO**

Beatriz Pereira Miranda

Relatório Final de Bolsa de Iniciação Científica, orientado por Ariane Frassoni e Ana Nunes

URL do documento original:  
<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE  
São José dos Campos  
Setembro de 2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Sobrenome, Nomes.

Cutter      Estudo de qualidade do ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ): análise do ozônio troposférico e validação do modelo BRAMS para o período dos Jogos Olímpicos do Rio de Janeiro / Beatriz Pereira Miranda. – São José dos Campos : INPE, Setembro de 2020.

?? + 19 p. ; (aa/bb/cc/dd-TDI)

Dissertação ou Tese (Mestrado ou Doutorado em Nome do Curso) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, AAAA.

Orientador : José da Silva.

1. Palavra chave. 2. Palavra chave 3. Palavra chave. 4. Palavra chave. 5. Palavra chave I. Título.

CDU 000.000

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](#).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](#).

Informar aqui sobre marca registrada (a modificação desta linha deve ser feita no arquivo publicacao.tex).

**ATENÇÃO! A FOLHA DE  
APROVAÇÃO SERÁ IN-  
CLUIDA POSTERIORMENTE.**

Mestrado ou Doutorado em Nome do  
Curso



## RESUMO

O ozônio troposférico (O<sub>3</sub>) é um poluente secundário prejudicial para os seres vivos e também age como um gás de efeito estufa. Ele não é emitido diretamente para a atmosfera, mas é um subproduto da reação química de compostos orgânicos voláteis (COVs) e óxidos de nitrogênio, na presença de radiação solar direta. Esforços têm sido realizados para reduzir as concentrações de O<sub>3</sub> na troposfera, a fim de minimizar seus impactos na saúde da população. Neste sentido, o uso de modelos de Previsão Numérica de Tempo auxilia na previsão da qualidade do ar especialmente em grandes centros urbanos, como é o caso da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Em 2016, o CPTEC/INPE forneceu previsões de qualidade do ar utilizando o modelo BRAMS versão 5.2, em 1km de espaçamento horizontal, a cada hora, como apoio para os Jogos Olímpicos e Paraolímpicos de 2016 realizados entre agosto e setembro na cidade do Rio de Janeiro. O presente trabalho tem como objetivo avaliar as previsões em 1km de resolução horizontal da variável O<sub>3</sub> do modelo BRAMS referentes ao período dos Jogos Olímpicos 2016. Para realizar a avaliação, a primeira etapa foi realizar um levantamento dos dados observados de O<sub>3</sub> na região de estudo. Foram levantados dados de O<sub>3</sub> a partir de medições realizadas por estações de monitoramento da qualidade do ar mantidas pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente da cidade do Rio de Janeiro (SMAC) a partir do programa MonitorAR-Rio (Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar) e pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), das estações localizadas em diversos bairros da RMRJ. Os dados observados de O<sub>3</sub> foram analisados em cinco diferentes estações de qualidade do ar, a saber: Na Cidade do Rio de Janeiro, as estações Adalgisa Nery e Largo do Bodegão, no bairro de Santa Cruz, na zona oeste, próximas ao Distrito Industrial de Santa Cruz, e a estação Maracanã, na zona norte. Também, as estações Jardim Primavera e Monteiro Lobato, nos municípios de Duque de Caxias e Nova Iguaçu, respectivamente. Os resultados indicam que a maioria das estações analisadas apresentaram a ocorrência de máxima concentração de O<sub>3</sub> próximo ao período de máxima insolação solar, entre 14h e 15h. Entretanto, algumas estações apresentaram um padrão diferenciado, que deverá ser melhor investigado em estudos futuros.

Palavras-chave: Ozônio troposférico. Poluição do ar. BRAMS. Região Metropolitana do Rio de Janeiro.





## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
4.1 Ciclo diurno médio da concentração de ozônio troposférico (ppb) na estação Maracanã mantida pelo INEA. O ciclo diurno médio foi calculado para o período de 01 a 31 de agosto (linha azul) e de 1 a 30 de setembro de 2016 (linha amarela). . . . .	10
4.2 Idem à Figura 4.1, porém para a estação Monteiro Lobato. . . . .	11
4.3 Idem à Figura 4.1, porém para a estação Jardim Primavera. . . . .	11
4.4 Idem à Figura 4.1, porém para a estação Adalgisa Nery. . . . .	12
4.5 Idem à Figura 4.1, porém para a estação Largo do Bodegão. . . . .	13



## LISTA DE TABELAS

Pág.



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1 Introdução</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Objetivos . . . . .	1
1.1.1 Objetivos específicos . . . . .	2
<b>2 Revisão Bibliográfica</b> . . . . .	<b>3</b>
2.1 Ozônio . . . . .	3
2.2 Óxidos de Nitrogênio . . . . .	4
2.3 Compostos Orgânicos Voláteis – COV's . . . . .	5
2.4 Formação do Ozônio na Troposfera . . . . .	5
<b>3 DADOS E METODOLOGIA</b> . . . . .	<b>7</b>
3.1 Descrição do método de aquisição dos dados . . . . .	7
3.2 Análise dos dados . . . . .	7
<b>4 Resultados</b> . . . . .	<b>9</b>
4.1 Atividades Desenvolvidas durante o período da bolsa . . . . .	9
4.1.1 Etapa 1 . . . . .	9
4.1.2 Etapa 2 . . . . .	9
4.1.3 Etapa 3 . . . . .	9
4.2 Resultados Obtidos em função do Plano de Trabalho proposto . . . . .	9
<b>5 Conclusões Gerais</b> . . . . .	<b>15</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> . . . . .	<b>17</b>



## 1 Introdução

O ozônio faz parte dos chamados gases traço. Apesar de representarem menos de 1% do total de gases da atmosfera, estes são fundamentais para as propriedades químicas da mesma e para o balanço de radiação do planeta.

A nível estratosférico (entre 20 e 50 *km* de altitude) o ozônio resulta naturalmente da interação entre radiação solar e oxigênio. A radiação solar dissocia as moléculas de oxigênio ( $O_2$ ), assim produzindo o oxigênio atômico ( $O$ ), que reage com outro  $O_2$  formando então o ozônio ( $O_3$ ). Por ser um gás instável, o ozônio rapidamente se destrói e reage com moléculas ( $O$ ) ou ( $O_2$ ) e com isso se desencadeia um ciclo de formação e destruição do ( $O_3$ ). Nesse nível da atmosfera o ozônio tem sua maior concentração, a chamada camada de ozônio, por consequência da alta incidência de radiação ultravioleta.

O ozônio também pode ser encontrado na troposfera (camada inferior da atmosfera). Segundo o Ministério do Meio Ambiente, nessa camada ele é um poluente secundário (não é emitido diretamente). Os compostos orgânicos voláteis (COVs) e os óxidos de nitrogênio (NOx) são os principais responsáveis pelo desequilíbrio dos seus processos de destruição e formação. A partir do aumento de indústrias e das frotas veiculares, houve também o da quantidade de COVs e NOx disponíveis e, por consequência, uma maior formação de  $O_3$ . Além disso, a influência da topografia e de condições meteorológicas são fatores importantes para a sua formação. Geralmente, a ocorrência de altas temperaturas, baixa umidade, ventos fracos e intensa radiação solar favorecem o processo de formação do ozônio na troposfera.

O  $O_3$  exerce diversos efeitos nocivos à saúde humana. É sabido que, nas grandes cidades, a degradação da qualidade do ar a partir dos efeitos nocivos da poluição atinge principalmente crianças e idosos. Freitas et al. (2007) encontrou associação entre o  $O_3$  e o aumento de admissões de doenças respiratórias em menores de 15 anos.

### 1.1 Objetivos

Utilizando as previsões da qualidade do ar do modelo BRAMS fornecido pelo CP-TEC/INPE, o trabalho tem como objetivo: estudar os padrões de qualidade do ar para a RMRJ com foco nos índices de  $O_3$ ; entender os padrões meteorológicos dominantes no período e correlacionar com os padrões de  $O_3$  observados; analisar as simulações do modelo BRAMS em alta resolução (1 km) para a região, a fim de

validar os resultados do modelo com dados observados e compreender o desempenho da versão operacional do BRAMS 5.2 para a previsão da qualidade do ar durante os meses de agosto e setembro de 2016.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

- Elaborar um estudo de referências bibliográficas sobre os conceitos básicos de legislação ambiental, padrões de qualidade do ar relacionados a O<sub>3</sub> e da formação deste poluente na atmosfera.
- Obter junto ao Instituto Estadual do Meio Ambiente (INEA) e à Prefeitura do Rio os dados de ozônio das estações de monitoramento de qualidade do ar disponíveis, bem como os dados meteorológicos junto ao CPTEC/INPE e INMET para o período estudado (agosto e setembro de 2016).
- Familiarização com as ferramentas necessárias para o desenvolvimento do trabalho.



## 2 Revisão Bibliográfica

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, a poluição atmosférica pode ser definida como qualquer forma de matéria ou energia com intensidade, concentração, tempo ou características que possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança e à qualidade de vida da comunidade. Esses danos podem ser causados diretamente pelos contaminantes (poluente primário) ou por suas diferentes combinações (poluente secundário).

Dentre os poluentes secundários, pode-se encontrar o ozônio troposférico ( $O_3$ ) cujos principais precursores são os óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e os Compostos Orgânicos Voláteis (COV's). Esses gases, combinam-se quimicamente com o oxigênio para formar o  $O_3$ .

### 2.1 Ozônio

O  $O_3$  é um gás oxidante, que está presente na atmosfera ao nível traço, ou seja, é um dos gases que ocupa menos de 1% do volume da atmosfera terrestre. Ele é formado a aproximadamente 30 km de altitude, onde os raios solares incidentes (com comprimento de onda menor que 242 nm) dissociam a molécula de oxigênio ( $O_2$ ). Formado naturalmente a partir da fotodissociação do  $O_2$ , a nível estratosférico, o  $O_3$  possui a função de filtrar os raios ultravioletas do sol. O mesmo gás é encontrado também na troposfera em baixas concentrações, quando está em equilíbrio com seus precursores. Entretanto, quando a atmosfera sofre alterações com relação aos seus gases, no caso, agentes poluidores, esse equilíbrio é perdido. Os níveis de  $O_3$  na troposfera dependem dos níveis de COV's, do monóxido de carbono (CO), dos  $NO_x$  e da intensidade da radiação solar. Quando a quantidade de  $O_3$  na baixa troposfera se eleva, este, por ter caráter oxidante quando presente nessa camada da atmosfera, exerce diversos efeitos nocivos à saúde humana e ao ecossistema terrestre. Além do mais, é possível que o aumento o  $O_3$  troposférico possa ter um impacto negativo na qualidade do ar e nas mudanças climáticas, visto que este é um dos gases do efeito estufa (HOUGHTON et al., 2001).

O  $O_3$  é um gás presente a nível traço, presente em uma camada aproximadamente 50km acima da superfície terrestre, que exerce uma grande importância na estratosfera. Ele protege os seres vivos a partir da absorção da radiação eletromagnética emitida pelo sol no comprimento de onda do ultravioleta (UV). Formado naturalmente a partir da fotodissociação do oxigênio atmosférico ( $O_2$ ), esse processo ocorre

a partir da absorção da radiação UV nos comprimentos de onda entre 0,1 microns e 0,2 microns. A fotólise do  $O_2$  leva à formação de dois átomos de oxigênio (O). Este, altamente reativo, se combina rapidamente com uma molécula de  $O_2$  para formar o  $O_3$ . As moléculas de  $O_3$  produzidas passam a absorver radiação UV entre 0,2 microns e 0,3 microns no processo de fotodissociação do  $O_3$  na estratosfera, entre 20km a 60km de altura. Como as ligações na molécula de  $O_3$  são mais fracas do que aquelas na molécula de  $O_2$ , a fotólise é conseguida com fótons de mais baixa energia. Este processo explica como o  $O_3$  age como um filtro para a radiação UV.

Na troposfera, o  $O_3$  também é encontrado naturalmente em baixas concentrações (10-20 partes por bilhão por volume – ppbv), quando em equilíbrio com seus precursores. No entanto, a influência das atividades antrópicas vem alterando consideravelmente esse equilíbrio e também os níveis globais de concentração de fundo (MARTINS, 2006). Com o aumento da quantidade de automóveis e indústrias no planeta, houve um crescimento na emissão de  $NO_x$  e COV's. Uma vez que o  $O_3$  é produzido mediante reações químicas entre estes dois compostos na presença de radiação solar, principalmente em áreas urbanas, industriais e em regiões propensas à estagnação de massas de ar (GOMIDES et al., 2009), houve um aumento de sua produção nos últimos anos.

## 2.2 Óxidos de Nitrogênio

Os gases conhecidos como  $NO_x$  são os formados durante os processos de combustão. Segundo a CETESB, os veículos são as principais fontes desses poluentes. O óxido de nitrogênio (NO) se transforma em  $NO_2$  sob a ação de luz solar, e este desempenha papel importante na formação de oxidantes fotoquímicos como o ozônio. Dependendo das concentrações, o  $NO_2$  causa prejuízos à saúde.

As concentrações de  $NO_2$  diminuem conforme as concentrações dos gases  $NO_x$  diminuem. (RUSSELL; MCCUE, 1998) mostrou em simulações para Los Angeles que reduzindo as emissões de  $NO_x$  também seriam reduzidos os picos de  $NO_2$  bem como o ácido nítrico e aerossóis de nitrato, que formam o  $NO_2$ .

O  $NO_2$  e o NO são compostos gasosos tóxicos e altamente oxidantes, formados pela combinação de oxigênio e nitrogênio. Esses poluentes desempenham um papel fundamental no ciclo do  $O_3$  troposférico, pois são precursores deste poluente. As principais fontes de  $NO_x$  são os motores dos automóveis e, em menor escala, as usinas termoelétricas, indústrias, fogões a gás, aquecedores que utilizam querosene e o cigarro (CANÇADO et al., 2006), além de processos biológicos no solo e relâmpagos. Por seu

efeito tóxico e oxidante, podem provocar severos prejuízos à saúde.

### 2.3 Compostos Orgânicos Voláteis – COV's

O termo COV's engloba um grande grupo de poluentes que se encontram presentes na atmosfera, principalmente, sob a forma gasosa (HOSHI et al., 2008). Segundo a CETESB, os COV's são gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos, sendo emitidos pelos veículos, pelas indústrias, pelos processos de estocagem e transferência de combustível etc. Muitos dos gases que fazem parte desse grande grupo de poluentes podem ser considerados essenciais precedentes do  $O_3$ .

### 2.4 Formação do Ozônio na Troposfera

O ciclo do  $O_3$  na troposfera ainda não é totalmente conhecido devido ao alto grau de complexidade dos fatores que envolvem a produção e consumo desse gás. Porém, o mecanismo de formação e as reações químicas que regem sua formação na baixa troposfera já são conhecidos. Como visto anteriormente, o  $O_3$  é formado a partir da combinação de um átomo com uma molécula de oxigênio. Entretanto em altitudes mais baixas, a única fonte de oxigênio atômico é o  $NO_2$ , que é dissociado por um fóton ( $h\nu$ ) de comprimento de onda entre 0,28 micrôn e 0,43 micrôn.

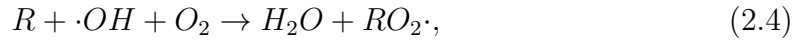


O oxigênio atômico produzido é rapidamente consumido, formando o ozônio, que por sua vez é degradado pelo óxido de nitrogênio.

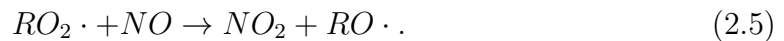


Essas três reações estabelecem uma concentração estável do ozônio na troposfera. Contudo, com a alta concentração de COV's, essencialmente os hidrocarbonetos, esse equilíbrio é prejudicado. Na presença desses compostos e de radicais hidroxila, o NO pode ser convertido a  $NO_2$  sem consumir  $O_3$ , contribuindo para um acúmulo do poluente.

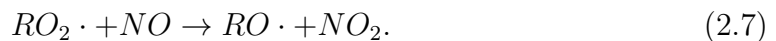
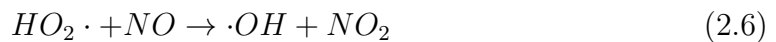
Os hidrocarbonetos (R) são atacados por radicais hidroxilas, formando radicais alquil peróxi ( $RO_2\cdot$ ), como apresentado na Equação a seguir:



que por sua vez reagem com o NO, produzindo assim, o  $NO_2$  e um radical alcoxi, tal que:



Esse radical gerado também pode contribuir para maiores concentrações de  $O_3$ , visto que é precursor de um novo radical alcóxi e do hidro peróxido  $HO_2$ , ambos capazes de transformar NO em  $NO_2$  da seguinte forma:



O radical hidroxila, principal composto oxidante do processo, possui três fontes principais na atmosfera, a saber:

- Dissociação fotoquímica do  $O_3$ ;
- Dissociação fotoquímica de compostos carboxílicos;
- Dissociação fotoquímica do ácido nitroso.

Analisando os mecanismos, observa-se que a formação do  $O_3$  e de outras espécies secundárias não é instantânea. Além disso, o  $O_3$ , devido a sua particular característica de formação, é altamente influenciado pelas condições de vento, temperatura, radiação e concentração de seus precursores. Em muitas regiões urbanas, os maiores níveis de  $O_3$  são observados relativamente afastados do grande centro urbano.

### 3 DADOS E METODOLOGIA

#### 3.1 Descrição do método de aquisição dos dados

A aquisição da base de dados a ser analisada no projeto foi obtida a partir da base de dados da Prefeitura do Rio e INEA.

O foco do estudo foi os meses de agosto e setembro de 2016, período de ocorrência das Olimpíadas do Rio de Janeiro.

Os dados observados de  $O_3$  foram analisados em cinco diferentes estações de qualidade do ar, a saber: Na Cidade do Rio de Janeiro, as estações Adalgisa Nery e Largo do Bodegão, no bairro de Santa Cruz, na zona oeste, próximas ao Distrito Industrial de Santa Cruz, e a estação Maracanã, na zona norte. Também, as estações Jardim Primavera e Monteiro Lobato, nos municípios de Duque de Caxias e Nova Iguaçu, respectivamente.

#### 3.2 Análise dos dados

Ciclos diurnos médios foram calculados para a análise da evolução horária do  $O_3$  computando uma média para cada hora do dia no período analisado. O cálculo a cada hora do dia resultou em um gráfico da média do  $O_3$  ao longo das 24 horas do dia nas estações analisadas.

$$\bar{x}_i = \frac{(x_{i,j_1} + x_{i,j_2} + \dots + x_{i,j_n})}{n} \quad (3.1)$$

Na qual  $\bar{x}_i$  = média do  $O_3$  na hora  $i$ , para cada dia  $j$  por um número  $n$  de dias. O cálculo foi realizado separadamente para o mês de agosto e setembro de 2016.



## **4 Resultados**

### **4.1 Atividades Desenvolvidas durante o período da bolsa**

As atividades desenvolvidas durante o período a que se refere este relatório são descritas a seguir.

#### **4.1.1 Etapa 1**

Foi elaborado um estudo de referências bibliográficas sobre os conceitos básicos de legislação ambiental, padrões de qualidade do ar relacionados a  $O_3$  e da formação deste poluente na atmosfera.

#### **4.1.2 Etapa 2**

Foram obtidos dados de  $O_3$  junto ao Instituto Estadual do Meio Ambiente (INEA) e à Prefeitura do Rio e dos dados meteorológicos junto ao CPTEC/INPE e INMET para o período estudado (agosto e setembro de 2016). Após a organização dos dados e seleção das melhores estações, foram descritas as características dos locais de cada uma delas. Como atividades complementares, no período da pandemia, devido a diminuição das frotas veiculares nas ruas houve também a diminuição das emissões por estas fontes. A partir disso, foram obtidos dados de  $O_3$ , Nox e CO junto ao INEA para o primeiro mês de isolamento na RMRJ a fim de analisar da qualidade do ar nesse período.

#### **4.1.3 Etapa 3**

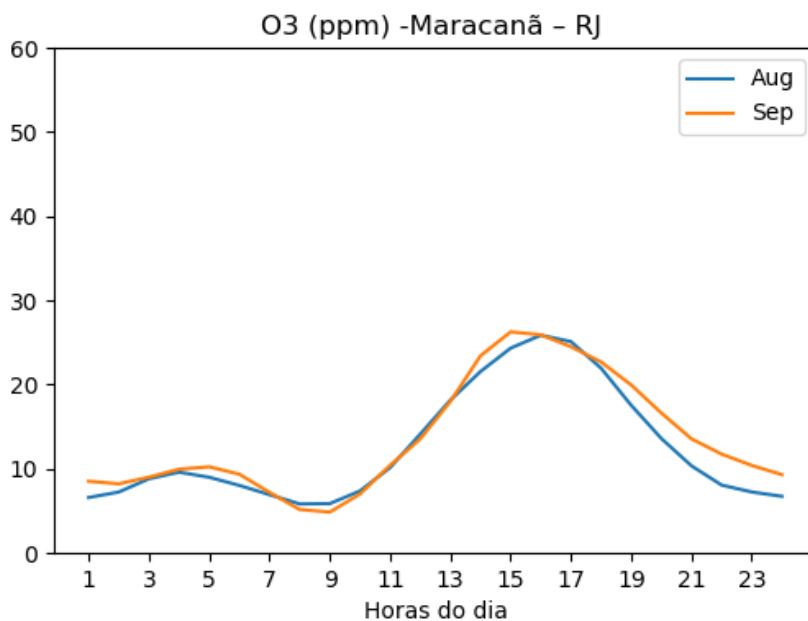
Com intuito de começar a familiarização com um ambiente que atenda as necessárias para o desenvolvimento de rotinas computacionais para o cálculo de estatísticas básicas e análise dos dados o Ubuntu foi instalado com auxílio da orientadora. A partir disso, foram instalados também o Anaconda/Python e a ferramenta GrADS. Para a análise, com auxílio da orientadora, gráficos do ciclo diurno médio e médias diárias do  $O_3$  das estações analisadas, para os meses de agosto e setembro de 2016. Gráficos do ciclo diurno médio separados por dias da semana também foram desenvolvidos utilizando a linguagem Python.

### **4.2 Resultados Obtidos em função do Plano de Trabalho proposto**

A partir do cálculo do ciclo diurno médio do  $O_3$  para as estações analisadas, identificou-se que no geral, existe um ciclo diurno médio bem característico na maioria das estações estudadas. O pico de  $O_3$  na atmosfera, esperado entre os horários de

12 às 16h devido à grande incidência de radiação solar, ficou bem evidenciado nas estações Maracanã (Figura 4.1), Monteiro Lobato (Figura 4.2) e Jardim Primavera (Figura 4.3).

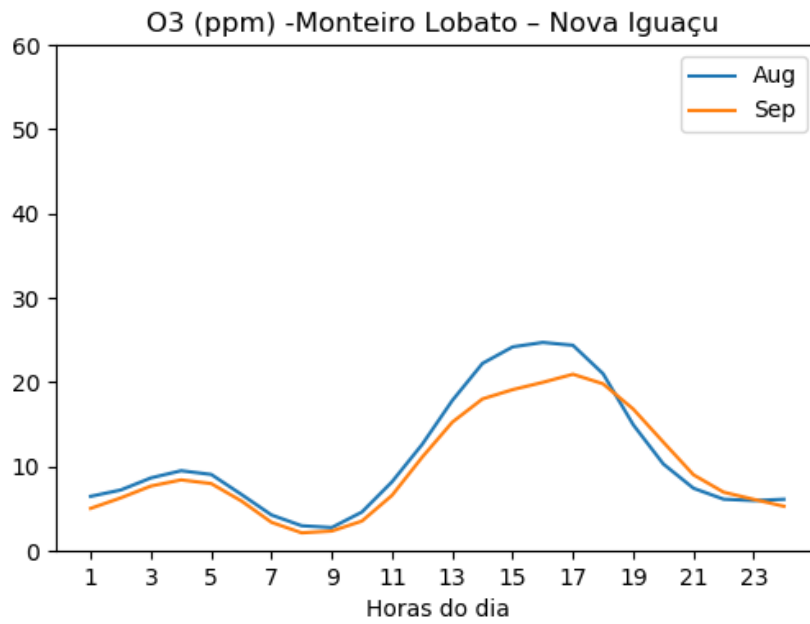
Figura 4.1 - Ciclo diurno médio da concentração de ozônio troposférico (ppb) na estação Maracanã mantida pelo INEA. O ciclo diurno médio foi calculado para o período de 01 a 31 de agosto (linha azul) e de 1 a 30 de setembro de 2016 (linha amarela).



Fonte: Produção da autora.

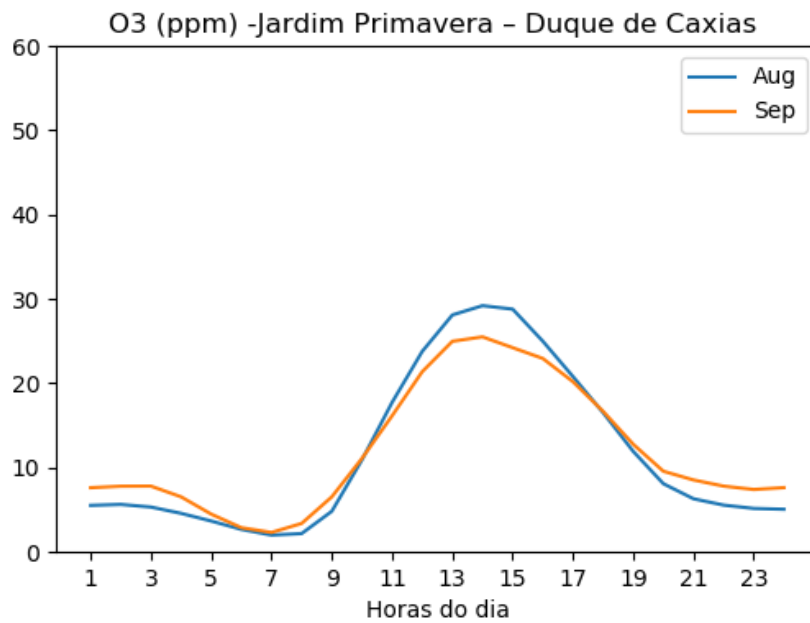


Figura 4.2 - Idem à Figura 4.1, porém para a estação Monteiro Lobato.



Fonte: Produção da autora.

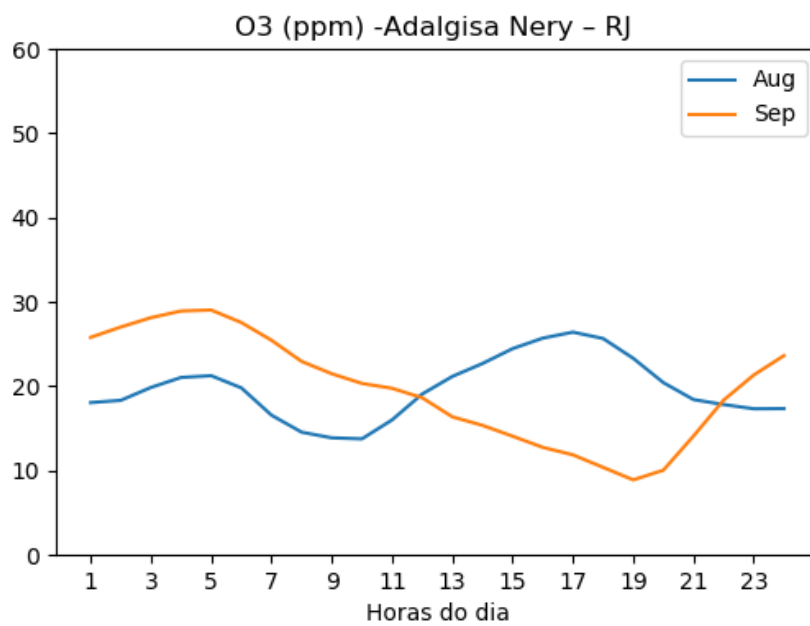
Figura 4.3 - Idem à Figura 4.1, porém para a estação Jardim Primavera.



Fonte: Produção da autora.

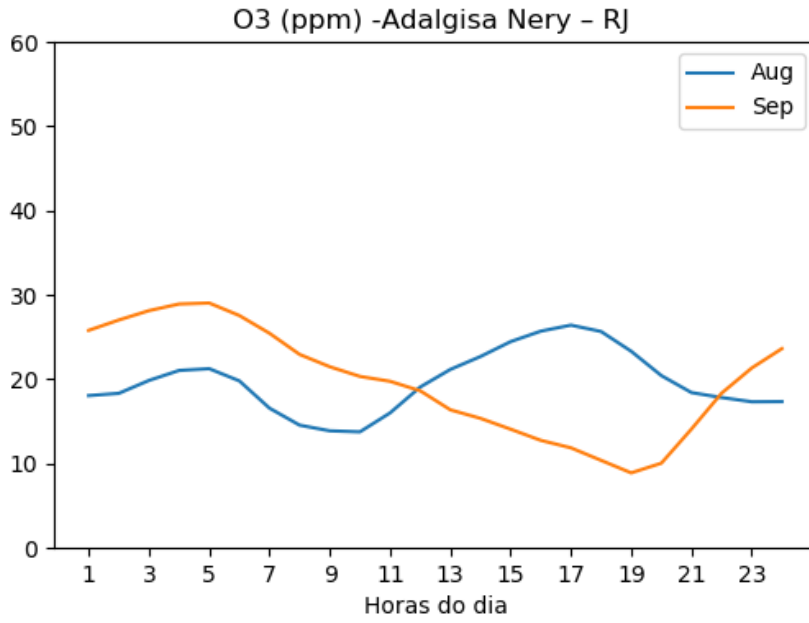
Nas estações Adalgisa Nery (Figura 4.4) e Largo do Bodegão (Figura 4.5), o ciclo apresentou um padrão distinto. Esse comportamento pode estar associado ao fluxo de veículos ou às condições meteorológicas na área de influência das estações.

Figura 4.4 - Idem à Figura 4.1, porém para a estação Adalgisa Nery.



Fonte: Produção da autora.

Figura 4.5 - Idem à Figura 4.1, porém para a estação Largo do Bodegão.



Fonte: Produção da autora.



## 5 Conclusões Gerais

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro é a segunda maior região metropolitana do Brasil, segundo as estimativas populacionais do IBGE de 2018 a RMRJ concentra uma população de mais de 13 milhões de habitantes. Sua topografia contribui para a estagnação de poluentes atmosféricos, o que pode ser considerado um fator de risco para as pessoas que nela residem. Logo, dadas as suas características, a poluição atmosférica deve ser monitorada constantemente. Os padrões do ciclo diurno médio da concentração de  $O_3$  na maioria das estações analisadas apresenta um comportamento esperado, associado ao período de maior intensidade de radiação solar. Em ambos os meses analisados nestas estações, este padrão é similar. Porém, para algumas estações, verificou-se um padrão distinto entre agosto e setembro, o que pode estar associado às características climatológicas das estações ou a mudanças nos padrões de tráfego de veículos, já que foram períodos com a realização dos jogos olímpicos, quando é esperado mudanças nestes padrões. Em estudos futuros será investigado estas diferenças encontradas, bem como será analisado se o modelo regional BRAMS representa satisfatoriamente o comportamento observado do  $O_3$  nas diferentes estações de monitoramento da qualidade do ar na RMRJ utilizadas neste estudo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANÇADO, J.; BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; RBEX, M. A. **Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica**. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/jbpneu/v32s1/a02v32s1.pdf>>. Acesso em: 17 de Novembro de 2016. 4
- FREITAS, E. D.; ROZOFF, C. M.; COTTON, W. R.; Silva Dias, P. L. Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of São Paulo, Brazil. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 122, n. 1, p. 43–65, 2007. ISSN 00068314. 1
- GOMIDES, E.; DUTRA, F., F. E.; FERREIRA, F. D. **Emissão veicular e o ozônio troposférico na Região Metropolitana de Belo Horizonte**. 2009. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/rafael/cibim\\_9\\_las\\_palmas-emissao\\_veiculares\\_-\\_oznio\\_29-aspectos\\_medio\\_ambientales.pdf](http://www.feam.br/images/stories/rafael/cibim_9_las_palmas-emissao_veiculares_-_oznio_29-aspectos_medio_ambientales.pdf)>. Acesso em: 03 de julho de 2017. 4
- HOSHI, J.; AMANO, S.; SASAKI, Y.; KORENAGA, T. Investigation and estimation of emission sources of 54 volatile organic compounds in ambient air in Tokyo. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 10, p. 2383–2393, 2008. 5
- HOUGHTON, J.; DING, Y.; GRIGGS, D.; NOGUER, M.; LINDEN, P. van der; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. **Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001. 881p. Disponível em: <<http://webpages.icav.up.pt/PTDC/CVT/098487/2008/IPPC,%202001.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2018. 3
- MARTINS, L. **Sensibilidade da formação do ozônio troposférico às emissões veiculares na Região Metropolitana de São Paulo**. 2006. Disponível em: <[http://www.iag.usp.br/pos/sites/default/files/d\\_leila\\_d\\_martins\\_0.pdf](http://www.iag.usp.br/pos/sites/default/files/d_leila_d_martins_0.pdf)>. Acesso em: 30 de janeiro de 2018. 4
- RUSSELL, A.; MCCUE, K. **Mathematical modeling of the formation of nitrogen-containing air pollutants. 2. Evaluation of the effect of emission controls**. Pittsburgh, Pennsylvania, 1998. Disponível em:

<<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es00168a004>>. Acesso em: 28 jan.  
2018. 4



## PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

### **Teses e Dissertações (TDI)**

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

### **Manuais Técnicos (MAN)**

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

### **Notas Técnico-Científicas (NTC)**

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

### **Relatórios de Pesquisa (RPQ)**

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

### **Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)**

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

### **Publicações Didáticas (PUD)**

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

### **Publicações Seriadas**

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Contam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

### **Programas de Computador (PDC)**

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

### **Pré-publicações (PRE)**

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.