

## ***Predições de qualidade do ar com base nas estimativas de emissões de gases de efeito local do sistema de transportes de Manaus, Amazonas***

A avaliação da qualidade do ar foi realizada por meio de simulações a partir das estimativas de emissões de gases de efeito local oriundos do sistema de transportes na cidade de Manaus/AM, com o objetivo de analisar projeções em dois cenários. O setor de transporte é importante emissor de gases poluentes para atmosfera, sobretudo, devido ao uso de combustíveis fósseis em sua matriz energética. O modelo adotado foi o TAPM, amplamente utilizado para simulações de mesoescala. Este modelo contém uma base meteorológica global, com informações orográficas, entre outras, necessárias às aplicações iniciais da modelagem e foi alimentado com as estimativas de emissões calculadas pelos autores com base nos protocolos do IPCC. O primeiro cenário denominado referência, foi definido que nenhuma intervenção ocorreria; e para o segundo, cenário de melhorias, adotaram-se as previsões contidas no Plano Municipal de Mobilidade Urbana e as projeções de redução nele expressas. Após as simulações, as matrizes de resultados foram comparadas para quatro poluentes. Em todos eles as maiores concentrações foram observadas na estação seca, exceto para o O<sub>3</sub>. Os resultados apontam que as reduções nas emissões propostas no cenário de melhorias são interessantes para melhorar a qualidade do ar para O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, mas são insuficientes para modificar o comportamento do material particulado.

**Palavras-chave:** Poluição Atmosférica; Mobilidade Urbana; Simulações.

## ***Air quality predictions based on estimates of local effect gas emissions from the transport system of Manaus, Amazonas***

The evaluation of air quality was carried out through of simulations based on the gases emissions estimates of local effect from the transportation system in the city of Manaus/AM, with the objective of analyzing projections in two scenarios. The transport sector is an important emitter of polluting gases to the atmosphere, mainly due to the use of fossil fuels in its energy matrix. The adopted model was TAPM, widely used for mesoscale simulations. This model contains a global meteorological base, with orographic information, among others, required for the initial applications of the modeling and fed with the estimations of emissions calculated by the authors based on the IPCC protocols. The first scenario called reference it was defined that no intervention would occur. And for the second, scenario of improvements, it was adopting the forecasts contained in the Municipal Urban Mobility Plan and the projections of reduction expressed in there. After the simulations, the results matrices were compared for four pollutants. In all of them the highest concentrations were observed in the dry season, except for O<sub>3</sub>. The results show that the emission reductions proposed in the improvement scenario are interesting to improve air quality for O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>, but they are insufficient to modify the behavior of the particulate material.


**Keywords:** Air Pollution; Urban mobility; Simulations.


Topic: **Meteorologia, Climatologia e Mudanças Climáticas**


Received: **03/04/2021**


Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Approved: **28/04/2021**

**Jurandir Moura Dutra**   
Universidade Federal do Amazonas, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2235849288384765>  
<http://orcid.org/0000-0002-3198-3818>  
[jurandirdutra@ufam.edu.br](mailto:jurandirdutra@ufam.edu.br)

**Myriam Alexandra dos Santos Batalha Dias Nunes Lopes**   
Universidade de Aveiro, Portugal  
<http://lattes.cnpq.br/6526804840639766>  
<http://orcid.org/0000-0002-7624-1279>  
[myr@ua.pt](mailto:myr@ua.pt)

**Alexandra Amaro de Lima**   
Universidade Federal do Amazonas, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6915958689972413>  
<http://orcid.org/0000-0003-3918-0013>  
[xanduca@gmail.com](mailto:xanduca@gmail.com)

**Geise de Goes Canalez**   
Universidade Federal do Amazonas, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8966529345366877>  
<http://orcid.org/0000-0002-1454-0118>  
[gcanalez@ufam.edu.br](mailto:gcanalez@ufam.edu.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0018

### **Referencing this:**

DUTRA, J. M.; LIMA, A. A.; CANALEZ, G. G.; LOPES, M. A. S. B. D. N..  
Predições de qualidade do ar com base nas estimativas de emissões de gases de efeito local do sistema de transportes de Manaus, Amazonas. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.4, p.207-220, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0018>

## INTRODUÇÃO

Uma das vulnerabilidades existentes nos grandes centros urbanos é o aumento da concentração de poluentes presentes na atmosfera causados pelas emissões veiculares. Este, por sua vez, provocado pelo aumento do fluxo de trânsito em horários de pico, redução da velocidade média de tráfego nos corredores, congestionamentos de grandes extensões e, conseqüentemente, aumento do gasto de combustível (TEIXEIRA et al., 2008). As emissões veiculares são responsáveis por contribuir com uma grande variedade das substâncias tóxicas lançadas no ar, que além dos problemas estéticos são de risco à saúde da população e tem sido relacionada com doenças respiratórias, cardiovasculares e cancerígenas (DAUMAS, 2002; GUIMARÃES, 2004; POPE et al., 2006; VALENTE et al., 2008; GUIMARÃES et al., 2012). A concentração de poluentes causa danos ao meio ambiente, além de ser a causa de inúmeros acidentes de trânsito por baixa visibilidade (LIMA et al., 2009).

Classificados como fontes móveis de poluição, os veículos automotivos são capazes de emitir para a atmosfera diversos gases durante o processo de combustão. Dentre os gases, os óxidos de carbono (CO e CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos (HC), além daqueles considerados cancerígenos, como os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) e partículas inaláveis (MP10) (BRANDÃO et al., 2020). Nos centros urbanos concentra-se a maior parte das emissões veiculares. Essas emissões são consequência do aumento da frota de veículos e são agravadas pelo número elevado de paradas em semáforos e conversões que produzem um consumo maior de combustíveis (LIMA et al., 2009).

Determinar a qualidade do ar de uma região requer o monitoramento de um grupo de poluentes, seja pela sua ocorrência, seja por seus efeitos adversos. Contudo, instrumentos de auxílio são fundamentais, como estação de coleta de dados e modelos que predigam com o menor desvio possível, a fim de que seus resultados sejam mais próximos e fiéis à realidade. É necessário desenvolver políticas públicas que envolvam o controle das emissões. A diminuição das concentrações de poluentes atmosféricos nas áreas urbanas no estado de São Paulo, por exemplo, foi devido a implementação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) (ESCUCIATTO et al., 2016; ABE et al., 2018; ARAÚJO et al., 2020).

Pioneira no controle de emissões, a legislação europeia prevê três instrumentos fundamentais para a gestão da qualidade do ar: o inventário de emissões, o monitoramento da qualidade do ar e os recursos de modelagem para estimar a qualidade do ar nas zonas não monitoradas (RIBEIRO et al., 2014). Por outro lado, no Brasil, a Resolução CONAMA n° 3 de 28/06/1990 estabeleceu as diretrizes para a gestão e controle das emissões de poluentes atmosféricos e atribuiu aos poderes públicos estaduais o monitoramento da qualidade do ar instituindo-lhes a obrigação de construir o seu Plano de Emergência de Episódios Críticos de Poluição do Ar, cujo instrumento deverá ser capaz de integrar ações entre as esferas estadual e municipal em consonância com a sociedade e a iniciativa privada.

Apesar da região sudeste do Brasil possuir alguns sítios de controle e monitoramento de qualidade do ar (CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), estas não são suficientes. Assim em cidades com grande extensão territorial é viável técnica, mas economicamente inviável adicionar a estas uma rede

de monitoramento da qualidade do ar que seja possível abranger a totalidade dos fenômenos relativos à poluição atmosférica em toda a região ou até mesmo nas áreas adjacentes. Esse monitoramento é possível através do uso de ferramentas como imagens de satélite e modelos numéricos.

Dutra et al. (2019) analisaram o deslocamento preferencial dos poluentes emitidos na cidade de Manaus utilizando o modelo TAPM. Ao mesmo tempo, modelos matemáticos foram usados igualmente para prever o deslocamento, como em Fávero et al. (2020). Os autores obtiveram ótimos resultado simulando a dispersão de poluentes na atmosfera com o modelo que combina um método de separação de variáveis e a técnica GILTT (*Generalized Integral Laplace Transform Technique*). Em Ramos et al. (2008) conseguiram reproduzir através do modelo CATT-BRAMS (*Coupled Aerosol and Tracers Transport model to the Brazilian Regional Atmospheric Modeling System*) as condições atmosféricas durante o período analisado, além do transporte atmosférico e evolução do monóxido de carbono (CO) e do material particulado (PM 2,5) presentes na atmosfera devido aos incêndios.

Assim, neste trabalho, analisamos como o modelo TAPM foi eficiente em reproduzir dois cenários de emissões automotivas: i. cenário referência, que analisa as emissões com aporte tendencial de aumento, mantidas as condições existentes no ano de 2014; ii. Cenário com reduções de 10% como previsto no Plano Municipal de Mobilidade Urbana de Manaus (PlanMob) para o ano de 2035 (MANAUS, 2015). Para os dois cenários serão usadas informações atmosféricas e dados coletados durante o ano de 2014.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Este estudo foi desenvolvido na região metropolitana da cidade de Manaus/AM, durante o ano de 2014. A capital do Amazonas localiza-se próximo a floresta Amazônica (3°6'26"Sul, 60°1'34"Oeste) em uma área urbana de aproximadamente 427 km<sup>2</sup>.

Desenvolvido pelo *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO), o *The Air Model Pollution* (TAPM) (HURLEY et al., 2005) é um modelo sintético de mesoescala, que despreza a curvatura Terra e baseia-se em equações matemáticas que descrevem a dinâmica dos fluídos, através da equação da quantidade de movimento usando a componente (u) e equação da continuidade de um fluido incompressível pela componente (v) do vento, além das equações escalares para a umidade específica em consonância com a temperatura potencial (HURLEY, 2002). Desta forma, o TAPM permite prever variáveis meteorológicas e a concentração de poluentes passivos e reativos na atmosfera.

Para sua inicialização, o modelo TAPM possui uma base de dados meteorológicos em escala global, informações de altitude do terreno e uso do solo (*Earth Resources Observations Systems* - EROS) em coordenadas geográficas e resolução espacial de 1 km. Adicionalmente, médias mensais da temperatura da superfície do mar (TSM) do *National Center Atmospheric Research* (NCAR), com grade de 100 x 100 km. Os dados de modelos atmosféricos foram os do *Limited Area Prediction System* (LAPS) e *Global Analysis and Prediction* (GASP), ambos do *Bureau of Meteorology* (BOM), em coordenadas cartesianas com resolução temporal de 6 horas e espacial de 75 km a 100 km.

Estudos mostraram a eficiência e validação das saídas do TAPM tanto para as componentes

meteorológicas como para saídas do transporte e dispersão atmosférica (PARK et al., 2004; RIBEIRO, 2005; SOUSA, 2008; CORREIA, 2012; MIRANDA et al., 2016).

### **Input para as simulações das emissões do transporte urbano**

Com base em dois cenários, foram realizadas simulações com o TAPM para a qualidade do ar e emissões de poluentes derivados dos transportes automotivos na cidade de Manaus, baseado no método usado por Dutra et al. (2019). Os cenários foram simulados com base no PlanMob (MANAUS, 2015), usando como base os meses de fevereiro e agosto de 2014, sendo estes representativos da estação chuvosa e seca, na região Amazônica (MARENGO et al., 2009).

A fim de simular as emissões de poluentes por transporte urbano na estação seca e chuvosa, o TAPM foi alimentado com dados atmosféricos coletados durante a campanha intensiva do Projeto *The Green Ocean Amazon Experiment (GOAMAZON2014/15)*, disponibilizados pelo Grupo de Estudos Meteorológicos e Modelagem na Amazônia (GEMMA).

Além disso, foi necessário inserir as emissões antrópicas devidas à mobilidade urbana, tendo sido adotada a abordagem *bottom-up* no cálculo dos gases de efeito local nos meses seco e chuvoso do ano de 2014, descrita com detalhes em Dutra et al. (2019). Os autores realizaram um inventário das emissões de substâncias emitidas pela frota automotiva (gasolina automotiva ou gasolina C, etanol e diesel) na cidade de Manaus, como o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não-metânicos (NMHC), aldeídos (RHCO), óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP). Logo, as emissões foram distribuídas a partir de uma estimativa do rolamento viário nas zonas da cidade de Manaus (MANAUSTRANS, 2017), sendo classificado por zonas: Sul em 20%; Norte 20%; Leste 20%; Centro-Sul 16%; Centro-Oeste e Oeste 12%. Com o auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGis que fez a distribuição e a partilha entre 35 grades do domínio medindo 1000 m x 1000 m, aplicando inclusive, a proporcionalidade entre áreas das grades compartilhadas por duas ou mais zonas.

### **Cenários Simulados**

Como mencionado anteriormente, as simulações foram desenvolvidas em dois cenários, um primeiro denominado de tendencial ou de referência (C<sub>1</sub>) e um segundo cenário de melhorias (C<sub>2</sub>), onde ambos ocorrem igualmente nas estações seca e chuvosa. O primeiro cenário é caracterizado pela modelagem da qualidade do ar dos quatro poluentes analisados conforme o PlanMob, considerando que a frota automotiva aumentasse continuamente, além da evolução tecnológica de modo a manter os mesmos padrões de emissão e incremento observados hoje.

Em um segundo momento foram realizadas simulações, considerando o cenário de melhorias. Este cenário é caracterizado por intervenções tanto no sistema viário, como a abertura de novas vias, ampliação e comunicação entre outras já existentes. Além disso, nesse cenário foi considerado a reestruturação do transporte coletivo, implantação de novos equipamentos urbanos e terminais de integração.

Para que seja possível construir a estrutura viária do C<sub>2</sub>, foi necessário entender a malha viária atual

e criar novas necessidades de deslocamentos denominando-as de Eixo de Estruturação Urbana, conforme descritos no PlanMob. Adicionalmente, deverão ser construídos 133,42 km de intervenções em novas vias, que acrescidas aos 147,68 km já existentes, perfarão uma extensão total de 281,1 km, atendendo às diretrizes e aos objetivos específicos contidos no Plano Diretor Urbano e Ambiental de Manaus (PDUA) instituído pela Lei Complementar 002 de 16/01/2014 em seus incisos I e II do artigo 18 e inciso VII do artigo 62.

As mudanças estruturais do PlanMob mencionadas no C<sub>2</sub>, vão além do aumento do número de vias, pois intervêm, inclusive, no sistema de transporte público. Serão implementados: corredores do BRT (*Bus Rapid Transit*) ou Transporte Rápido por Ônibus no eixo norte-sul (extensão de 30 km) e leste-centro (19,6 km), corredores preferenciais e novos equipamentos de integração, o que garantirá a operação do transporte com qualidade e eficiência. No que tange aos novos equipamentos de integração, o PlanMob propõe a construção de mais cinco novos terminais de integração, além dos já existentes, e cinco estações de conexão com o BRT. Todavia, o PlanMob apresentado no C<sub>2</sub> aponta um volume de redução nas emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos da ordem de 10,9%, considerados os modais individuais e coletivos, em relação ao cenário de referência. Dessa forma, realizou-se nova rodada de simulações com o modelo TAPM, alimentando-o com todas as entradas anteriormente requeridas e reduzindo-se as emissões em 10% a fim de adequar às predições do PlanMob.

Os arquivos de entrada foram alimentados, nesta ordem, com os seguintes poluentes estimados: material particulado com espessura de até 10 µm, demais óxidos de nitrogênio, aldeídos, formaldeídos e compostos orgânicos voláteis biogênicos e antropogênicos, dióxido de nitrogênio e material particulado com espessura de até 2,5 µm.

Os arquivos de saídas gerados pelo modelo, integrações de hora em hora, expresso em concentrações medidas em partes por bilhão (ppb) ou microgramas por metro cúbico (µg/m<sup>3</sup>) de poluentes atmosféricos foram: material particulado, dióxido de nitrogênio, demais óxidos de nitrogênio e ozônio. Apesar do excelente desempenho do modelo em outras regiões do planeta (IDAD, 2002; 2004; PARK et al., 2004), não foi possível validar, neste trabalho, as saídas para o Ozônio (O<sub>3</sub>), Material Particulado (MP) Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e outros Óxidos de Nitrogênio – (NO<sub>x</sub>) devido a falhas na série amostral, cujas medidas não apresentavam intervalo regular confiável.

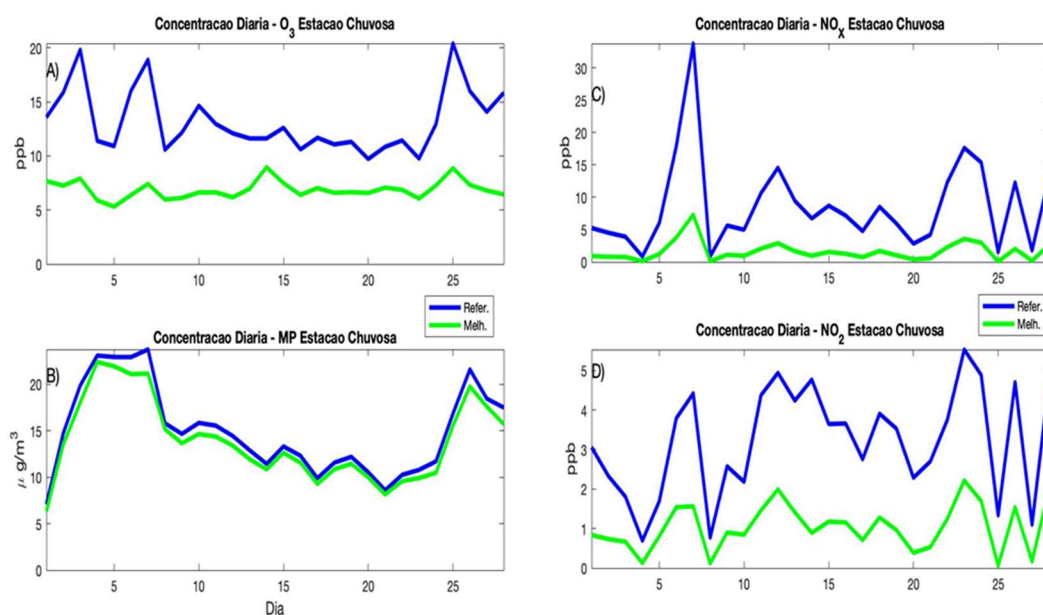
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão comparados os resultados gerados durante as duas simulações realizadas com o modelo TAPM para os cenários C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub>, durante os meses de fevereiro e agosto de 2014. Para tal, foram extraídas médias simples das concentrações horárias de material particulado (MP), ozônio troposférico (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e demais óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), durante o mês de fevereiro, caracterizado pela estação chuvosa, e igualmente no mês de agosto, seca. Essas médias diárias foram consideradas a partir da mesma coordenada geográfica (3°4' Sul e 59°57' Oeste - Estação Experimental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA).

Através dos resultados foi possível verificar que em ambas as estações analisadas (chuvosa e seca) o

C<sub>1</sub> apresentou valores muito acima dos gerados por C<sub>2</sub>, em todas as variáveis analisadas. Esse aumento nas saídas de C<sub>1</sub> é devido ao fato de que, neste cenário o modelo trabalha com a estimativa do aumento progressivo a cada ano das emissões.

Os resultados apresentados na Figura 1 mostram as simulações realizadas com TAPM que representam o comportamento sazonal da concentração na atmosfera de O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> e MP para a estação chuvosa. Nota-se na Figura 1 que, durante os seis primeiros dias (01 a 07) e final (24 a 26) as médias diárias da estação chuvosa geradas pela simulação de referência mostraram a presença de três picos de concentração de O<sub>3</sub>, em torno de 20 ppb, enquanto nos demais dias as máximas concentrações não ultrapassam 15 ppb. Coincidentemente, esses picos acontecem nos períodos de recebimentos de salários dos habitantes da cidade, o que ocasiona uma maior circulação de veículos automotivos. Essa forte relação entre a maior circulação de veículos e o ozônio existe devido à reação dos hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio na atmosfera, ativados pela radiação ultravioleta (LI et al., 2014). Apesar do modelo representar a climatologia do mês de fevereiro (INMET, 2009) através dos valores elevados de precipitações comuns nessa época do ano na região Amazônica, o O<sub>3</sub> troposférico ainda alcança valores médios de 13,24 ppb, podendo alcançar em alguns dias picos em torno de 20,43 ppb. Entretanto, as máximas diárias não ultrapassaram o permitido pela Resolução CONAMA 03/1990.



**Figura 1:** Médias diárias geradas através das simulações do modelo TAPM durante a estação chuvosa (fevereiro) para um cenário de referência – C<sub>1</sub> (curva azul) e para um cenário de melhorias – C<sub>2</sub> (curva verde): a) saídas para o O<sub>3</sub>; b) saídas para o MP; c) saídas para o NO<sub>x</sub>; d) saídas para o NO<sub>2</sub>.

O O<sub>3</sub> troposférico não é emitido por combustão, mas formado por reações fotoquímicas próximas à superfície na presença de precursores como hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis antropogênicos e biogênicos quando há disponibilidade de luz solar e umidade, embora apresente processo catalítico durante o período noturno, porém menos reativo. O O<sub>3</sub> troposférico causa, além de irritação nos olhos e nas vias respiratórias, outras patologias mais graves, além de produzir fitotoxicidade a certas culturas agrícolas, capaz de inibir o crescimento e gerar impactos econômicos desagradáveis (LOGAN et al., 1981; LOGAN, 1985; KIRCHHOFF, 1990; MARTINS, 2006; TREBS et al., 2012).

Quando analisamos as simulações de C<sub>2</sub> (Figura 1a), verifica-se que as melhorias implementadas ao modelo foram suficientes para reduzir os valores médios diários praticamente à metade (7,06 ppb). Além disso, o comportamento da curva que representa a concentração média diária de O<sub>3</sub> identificada pela cor verde na Figura 1a foi suavizada dá ao longo do mês, como mostra os baixos valores de desvio padrão da série (1,14). A alta amplitude entre C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub> é reforçada pelo baixo coeficiente de correlação em torno de 0,52 reforçando a eficiência do modelo em representar no futuro o comportamento do O<sub>3</sub> nos diferentes cenários (Tabela 1).

**Tabela 1:** Medidas de tendência central e dispersão para as saídas do modelo TAPM.

MP - Estação Seca		MP - Estação Chuvosa		
	Referência	Melhorias	Referência	Melhorias
<b>Correlação</b>	0,98		0,99	
<b>Média Mensal</b>	20,93 µg/m <sup>3</sup>	19,10 µg/m <sup>3</sup>	15,00 µg/m <sup>3</sup>	13,98 µg/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão</b>	5,43	4,66	4,73	4,41
<b>Valor Máximo Diário</b>	32,41 µg/m <sup>3</sup>	8,04 µg/m <sup>3</sup>	23,72 µg/m <sup>3</sup>	22,37 µg/m <sup>3</sup>
<b>Valor Mínimo Diário</b>	30,39 µg/m <sup>3</sup>	7,85 µg/m <sup>3</sup>	7,05 µg/m <sup>3</sup>	6,3 µg/m <sup>3</sup>
O <sub>3</sub> - Estação Seca		O <sub>3</sub> - Estação Chuvosa		
	Referência	Melhorias	Referência	Melhorias
<b>Correlação</b>	0,84		0,52	
<b>Média Mensal</b>	9,76 ppb	5,59 ppb	13,24 ppb	7,06 ppb
<b>Desvio Padrão</b>	3,64	0,79	2,95	1,14
<b>Valor Máximo Diário</b>	22,75 ppb	7,63 ppb	20,43 ppb	11,15 ppb
<b>Valor Mínimo Diário</b>	5,86 ppb	4,11 ppb	9,73 ppb	5,31 ppb
NO <sub>2</sub> - Estação Seca		NO <sub>2</sub> - Estação Chuvosa		
	Referência	Melhorias	Referência	Melhorias
<b>Correlação</b>	0,97		0,98	
<b>Média Mensal</b>	4,96 ppb	1,91 ppb	3,22 ppb	1,08 ppb
<b>Desvio Padrão</b>	3,4	1,13	1,38	0,72
<b>Valor Máximo Diário</b>	15,09 ppb	0,93 ppb	5,53 ppb	0,69 ppb
<b>Valor Mínimo Diário</b>	4,52 ppb	0,3 ppb	3,34 ppb	0,06 ppb
NO <sub>x</sub> - Estação Seca		NO <sub>x</sub> - Estação Chuvosa		
	Referência	Melhorias	Referência	Melhorias
<b>Correlação</b>	0,99			
<b>Média Mensal</b>	23,71 ppb	5,03 ppb	8,61 ppb	1,81 ppb
<b>Desvio Padrão</b>	19,85	4,28	6,97	1,91
<b>Valor Máximo Diário</b>	81,03 ppb	1,51 ppb	33,79 ppb	0,84 ppb
<b>Valor Mínimo Diário</b>	17,24 ppb	0,3 ppb	7,83 ppb	0,06 ppb

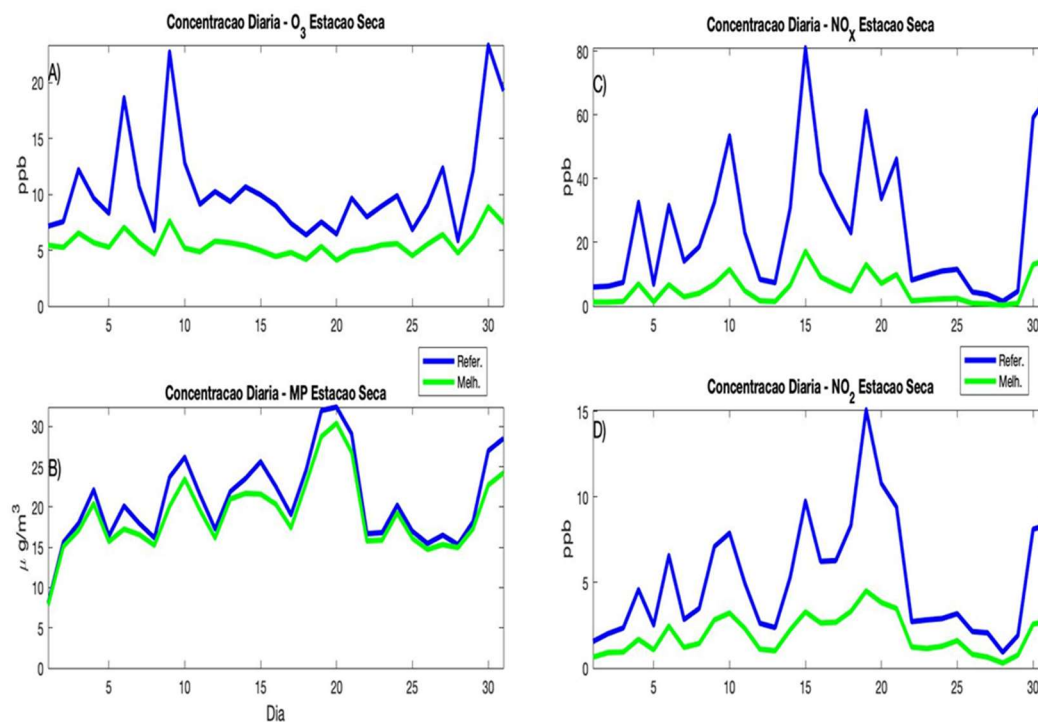
Apesar da sua origem não ser unicamente devido às emissões automotivas como o O<sub>3</sub>, o MP tem origem por processos mecânicos, além da poeira de solo, sal marinho, cinzas geradas por queimadas naturais e industriais e das emissões biogênicas naturais. Sua concentração na atmosfera é fortemente dependente das condições meteorológicas observadas. Nota-se na Figura 1b uma semelhança no comportamento entre as curvas C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub> que pode ser verificado através da correlação quase perfeita entre as duas séries (0,99) (Tabela 1) e suas médias mensais 15,00 µg/m<sup>3</sup> e 13,98 µg/m<sup>3</sup> respectivamente. Essas baixas concentrações podem ter sido influenciadas pelo período chuvoso na região, pois as chuvas frequentes e abundantes no mês de fevereiro são condições muito desfavoráveis à dispersar os poluentes, além da remoção destes pela umidade. Ao mesmo tempo, tendo em vista que para o cenário C<sub>2</sub> foram implementadas melhorias como a redução das emissões automotivas, a semelhanças entre as duas curvas na Figura 1b mostra que o modelo não conseguiu reproduzir as melhorias implementadas no cenário C<sub>2</sub>.

Enquanto se analisa a concentração média diária dos óxidos de nitrogênio (Figura 1c), nota-se que a

curva  $C_1$  apresenta um pico de máximas emissões entre 04 e 08 de fevereiro em torno de 33,79 ppb, semelhante ao comportamento do  $O_3$  troposférico no  $C_1$  para os primeiros dias do mês. Devido ao  $NO_x$  tratar-se de um poluente originário pela combustão dos veículos automotivos, à medida que se compara aos resultados das melhorias (curva verde) nota-se que estas foram suficientes para impor uma forte redução das concentrações  $NO_x$ , em torno de 1,81 ppb. Apesar da grande diferença entre as concentrações médias máximas e mínimas (32,95 ppb e 7,77 ppb, respectivamente) entre as simulações, o modelo foi eficiente em demonstrar o comportamento das mesmas, como pode ser verificado através da alta correlação entre os cenários (0,84) (Tabela 1).

Ao mesmo tempo, as concentrações médias diárias do óxido de nitrogênio durante a estação chuvosa no  $C_1$  modelados pelo TAPM, estão ainda mais baixos 8,61 ppb. Durante esse período do ano ocorrem eventos diários de precipitação, o que ameniza a poluição atmosférica. O mesmo ocorre com o cenário  $C_2$ , no qual as concentrações médias de  $NO_2$  estão próximas de zero. Ainda é possível verificar através da alta correlação (0,98) (Tabela 1) entre as informações do cenário  $C_1$  e  $C_2$ , que o comportamento das curvas é praticamente igual.

A Figura 2 apresenta as simulações realizadas com TAPM que representam o comportamento sazonal da concentração na atmosfera de  $O_3$ ,  $NO_x$ ,  $NO_2$  e MP para a estação seca. O inverno no Hemisfério Sul é caracterizado por baixos índices pluviométricos e grande estabilidade atmosférica (ARYA, 1999), o que dificulta enormemente a formação de nuvens de chuva e dispersão dos poluentes, além das altas concentrações, principalmente de  $O_3$  e MP (SANTOS et al., 2016).



**Figura 2:** Médias diárias geradas através das simulações do modelo TAPM durante a estação seca (agosto) para um cenário de referência –  $C_1$  (curva azul) e para um cenário de melhorias –  $C_2$  (curva verde): a) saídas para o  $O_3$ ; b) saídas para o MP; c) saídas para o  $NO_x$ ; d) saídas para o  $NO_2$ .

Apesar de o período seco apresentar tendência à estabilidade atmosférica e por isso maior



concentração de poluentes, a curva do cenário de referência  $C_1$  do  $O_3$  (Figura 2a) apresentou médias diárias abaixo de 22,75 ppb enquanto  $C_2$  encontra-se concentração abaixo de 7,63 ppb. Esses valores estão muito abaixo do apresentado anteriormente, para a estação chuvosa. Contudo, como a proporção de redução nas duas estações é a mesma compreende-se que há um fator limitante ao processo de catalisação de  $O_3$  troposférico, mas difícil de inferir neste estudo porque as reduções são similares e proporcionais, porém com volumes absolutos diferentes.

Os resultados mostram (Figura 2a) que o modelo não foi capaz de reproduzir as altas concentrações de  $O_3$  troposférico. Além disso, as diferenças entre as máximas e mínimas deveriam apresentar uma amplitude menor, tendo em vista que os baixos índices pluviométricos e a baixa velocidade do vento tenderiam a concentrar os poluentes na atmosfera durante um período de dias.

Por outro lado, o comportamento das curvas  $C_1$  e  $C_2$  que descrevem a concentração média diária do MP geradas durante as simulações do modelo TAPM (Figura 2b), apresentaram médias diárias em torno de 20,93  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e 19,10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Igualmente como na estação chuvosa, os cenários apresentaram um alto coeficiente de correlação (0,98) (Tabela 1). Todavia, a pequena diferença entre as máximas (2,02  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e mínimas (0,19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) diárias poderiam sinalizar que as informações geradas durante a estação chuvosa para os dois cenários mostraram que ambas as concentrações e o comportamento médio da curva durante o mês de agosto são semelhantes e não estariam relacionados às emissões automotivas e sim, a outras fontes de emissões, como por exemplo, às queimadas comuns durante a estação seca.

Quando se analisa a concentração média diária do óxido de nitrogênio (Figura 2c) durante a estação seca é possível verificar que o modelo conseguiu reproduzir a diferença imposta na construção dos dois cenários, como mostram a média máxima (79,52  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e mínima mensais (16,94  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). As oscilações diárias da concentração de  $\text{NO}_x$  na atmosfera ao longo do mês são responsáveis pela forte diferença entre a concentração máxima e mínima diárias, que podem ter sido provavelmente influenciadas por mudanças no tempo (precipitação) reproduzida pelo modelo. Ao mesmo tempo, nota-se que o modelo TAPM foi eficiente em descrever as melhorias ( $C_2$ ), sendo mostrado através das baixas concentrações médias diárias em torno de 1,63 ppb.

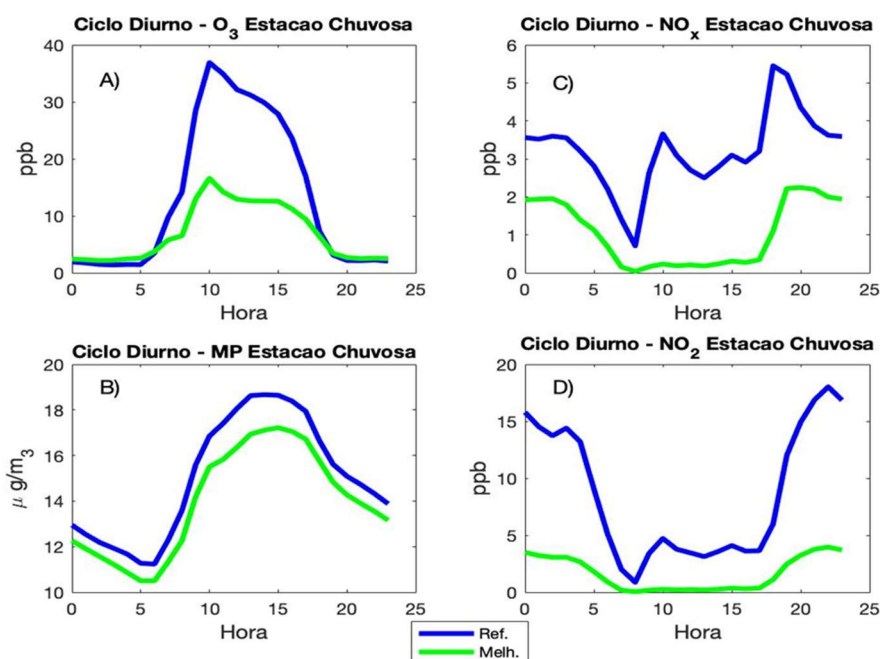
As curvas apresentadas na Figura 2d apresentam as simulações para as concentrações médias de  $\text{NO}_2$  nos cenários  $C_1$  e  $C_2$ . Apesar dos resultados do cenário  $C_1$  mostrar uma curva com comportamento semelhante ao mostrado anteriormente na Figura 2c, as máximas concentrações médias diárias do  $\text{NO}_2$  apresentadas na Figura 2d, possuem valores muito inferiores alcançando 15,09 ppb. Quando se verifica o cenário  $C_2$  nota-se que as concentrações médias de  $\text{NO}_2$  durante a estação seca são ainda muito mais baixas, alcançando picos máximos diários de até 4,52 ppb. Entretanto, ambos os cenários estão abaixo dos limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/1990.

Essas reduções observadas para o cenário de melhorias são interessantes, pois estes gases ( $\text{NO}_2$  e  $\text{NO}_x$ ) são precursores do  $O_3$  troposférico (LOGAN, 1981; LOGAN et al., 1985; KIRCHHOFF, 1990), mas observou-se, nas simulações, que elas não são suficientes para reduzir proporcionalmente a sua produção mesmo com todas as intervenções no sistema viário e no sistema de transportes público propostas pelo

PlanMob. Então, é possível afirmar que há um fator limitante à catalisação de  $O_3$  troposférico que não está relacionado, neste caso, aos precursores à base de nitrogênio.

Durante os meses de verão, a região Amazônica passa por um período de intensa precipitação e altos índices pluviométricos (FISCH, 1990; MARENGO, 2004) o que proporciona uma atmosfera mais limpa e uma concentração menor de poluentes. Em relação, ao comportamento médio horário, a ocorrência de valores elevados de  $O_3$  é registrada entre 13h00 e 15h00, ou seja, poucas horas após o máximo de incidência de radiação solar diária. No período noturno, como não há incidência de radiação solar, não há formação de novas moléculas de  $O_3$  e a concentração do poluente tende a decrescer de forma brusca devido à remoção química de  $O_3$  por NO presente na atmosfera, emitidos pelos veículos a noite (CARVALHO, 2006; GALICHIO et al., 2007).

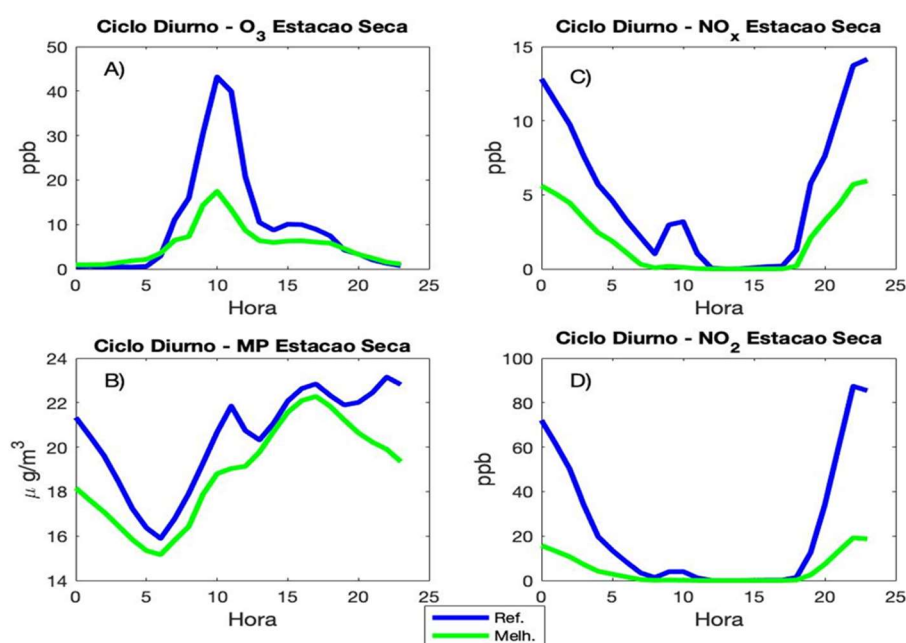
Ainda, as Figuras 3 e 4 mostram ciclo diurno do  $O_3$ , MP,  $NO_x$  e  $NO_2$  calculados a partir das médias horárias durante as estações chuvosa e seca. A concentração do  $O_3$  apresentada na Figura 3a, a qual mostra o aumento gradativo das concentrações de  $O_3$  que começam a reagir quimicamente com os primeiros raios solares na região (06:00) (CARVALHO et al., 2004) até as 10:00 quando acontece o pico de máxima concentração. A da curva do ciclo diário médio do  $O_3$  troposférico acompanha o comportamento diurno da temperatura próximo à superfície (até 3 metros do solo) mostrando que o modelo descreveu somente a influência da oxidação do monóxido de carbono pela radiação solar. Além disso, os resultados mostram que a curva do pico máximo em ambos os cenários simulados acontece em torno de 3 a 6 horas antes dos resultados apresentados em Costa (2015); Chiqueto et al. (2016). Ainda, é possível verificar uma forte amplitude entre as curvas dos cenários simulados em torno de 19 ppb, mostrando que através das melhorias introduzidas as emissões foram reduzidas significativamente.



**Figura 3:** Ciclo diurno das simulações do modelo TAPM durante a estação chuvosa (fevereiro) para um cenário de referência – C<sub>1</sub> (curva azul) e para um cenário de melhorias – C<sub>2</sub> (curva verde): a) saídas para o  $O_3$ ; b) saídas para o MP; c) saídas para o  $NO_x$ ; d) saídas para o  $NO_2$ .

Sobretudo, quando se analisa a curva do ciclo diurno do MP durante a estação chuvosa (Figura 3b) verifica-se que esta acompanha o comportamento diário da temperatura na região. Apesar da maior parte do MP presente na atmosfera ser originário das emissões automotivas, as fortes chuvas características nessa época do ano sugerem que as emissões apresentadas pelo modelo podem ter predominância das partículas biogênicas (detritos vegetais e partículas emitidas pela floresta) o que pode ter influenciado nas máximas concentrações nos cenários C1 e C2, inferiores a  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

A Figura 3c mostra que o TAPM reproduziu o comportamento médio diário das concentrações  $\text{NO}_2$  (SOUZA et al., 2018) apresentando um máximo durante as primeiras horas do dia (entre 00h00 e 03h00) em torno de 14 ppb e um segundo máximo em torno de 18 ppb as 22h00. Ainda, segundo Jenkin et al. (2000), Dallarosa et al. (2007) e Souza et al. (2018), o primeiro máximo pela manhã é o resultado da oxidação do NO, enquanto o segundo máximo a noite é devido ao aumento das emissões veiculares após o pico da saída do trabalho, para o cenário C<sub>1</sub>. Ao mesmo tempo, a Figura 3c mostra que para o cenário de melhorias (C<sub>2</sub>) o modelo apresentou uma significativa diminuição das emissões para os picos da manhã e do final da tarde de aproximadamente 4 ppb. Ao analisarmos o ciclo diurno do  $\text{NO}_x$ , nota-se que este contribui na concentração de  $\text{NO}_2$  apenas durante o período entre o final da manhã e início da tarde, apesar disso, essa contribuição não ultrapassa 4 ppb.



**Figura 4:** Ciclo diurno das simulações do modelo TAPM durante a estação seca (agosto) para um cenário de referência – C<sub>1</sub> (curva azul) e para um cenário de melhorias – C<sub>2</sub> (curva verde): a) saídas para o O<sub>3</sub>; b) saídas para o MP; c) saídas para o NO<sub>x</sub>; d) saídas para o NO<sub>2</sub>.

Por outro lado, apesar da estação seca em anos neutros (anos de ausência de *La Niña*) propiciar naturalmente uma forte concentração de poluentes em suspensão na atmosfera, o modelo não conseguiu reproduzi-la, como mostram as máximas concentrações de MP entre  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para o cenário o C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub>, respectivamente (Figura 4b). A baixa concentração do MP durante um período de seca na região indica provavelmente a dificuldade do modelo em reproduzir a interferência do clima na concentração de poluentes nos dois cenários.

Quando se analisa o ciclo diurno da concentração de  $\text{NO}_x$  e  $\text{NO}_2$ , sabe-se que esses poluentes são altamente afetados pelas condições atmosféricas, que através dos ventos podem ser transportados da região de origem para outra localidade, além de serem depositados na superfície através da chuva. Desta forma, verifica-se através das Figuras 4c e 4d que o modelo TAPM conseguiu reproduzir no cenário  $C_1$  o comportamento diário do  $\text{NO}_x$  e  $\text{NO}_2$ , marcados por máximas concentrações nas primeiras horas do dia, em torno de 80 ppb e 14 ppb, respectivamente. Essas máximas concentrações de  $\text{NO}_x$  e  $\text{NO}_2$  ocorrem após o período predominante das chuvas durante o mês de fevereiro aliado ao aumento do fluxo de veículos automotivos no final da tarde e início da noite. Aliado a esse aumento das atividades que ocorrem após as chuvas, as máximas concentrações que ocorrem durante a madrugada são uma consequência da oxidação do NO (DALLAROSA et al., 2007; SOUZA et al., 2018).

## CONCLUSÕES

Durante esse estudo foram realizadas simulações para dois cenários distintos, um primeiro de referência ( $C_1$ ) e outro de melhorias ( $C_2$ ) com o auxílio do modelo TAPM a fim de verificar o comportamento da atmosfera na cidade de Manaus/AM com base no PlanMob, quanto à concentração de poluentes devida aos veículos automotivos. No cenário  $C_1$ , admite-se que a projeção da frota evoluirá mantendo a tendência de crescimento exponencial, enquanto o cenário  $C_2$  - de melhorias, condiz com as previsões contidas no PlanMob que prevê intervenções no sistema viário, reestruturação do transporte coletivo, além de criação de terminais de integração.

Os cenários foram simulados a partir de dados meteorológicos que descreviam o comportamento da atmosfera no ano de 2014, durante o projeto *GOAMAZON 2014/15*. Além das variáveis atmosféricas, foram usadas as informações no mesmo período, das emissões antrópicas devidas à mobilidade urbana, tendo sido utilizada a abordagem *bottom-up* no cálculo dos gases de efeito local e poluentes atmosféricos para os meses de fevereiro e agosto, tomados como referência do período chuvoso e seco, respectivamente.

Contudo, muito mais interessante que implementar novos terminais de integração no sistema de transporte coletivo seria abrir os demais terminais já existentes universalizando o cartão inteligente da bilhetagem eletrônica e formalizando parcerias com microempreendedores para a recarga de bilhetes de viagens, pulverizando os pontos de abastecimento. Com esta ação reduzir-se-iam os deslocamentos negativos promovidos pelo atual desenho do sistema, de maneira que a proporcionar ganho de tempo na mobilidade dos usuários e redução das emissões antrópicas dos transportes públicos de passageiros. Assim, a qualidade do ar melhoraria muito mais.

Por fim, a redução de 10% nas emissões propostas no cenário de melhorias, guardadas as críticas metodológicas, mostrou-se interessante para avaliação da qualidade do ar, pois reduziu consideravelmente a dispersão de três poluentes:  $\text{O}_3$  (média aproximada de redução do processo de formação e extinção da ordem de 48%),  $\text{NO}_2$  e  $\text{NO}_x$  (média aproximada de redução das concentrações na casa de 60% e 80%, respectivamente). Entretanto, não foi suficiente para reduzir a propagação de material particulado.

Quanto aos poluentes analisados, sabe-se que os resultados modelados não avaliam outras fontes.

Desta forma, não há como afirmar se os limites de emissão de certos poluentes estão em consonância com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/1990. Seria, então, necessário modelar a qualidade do ar, incluindo também, as emissões da indústria, do transporte hidroviário (intermunicipal e interestadual), das usinas térmicas, quando porventura estiverem em operação, das contribuições biogênicas da floresta do entorno observada a dinâmica da circulação atmosférica, das antropogênicas resultantes das queimadas locais e das emissões residenciais. Estas últimas devem ser menos representativas que regiões subtropicais ou temperadas, porque não há queima de lenha em lareiras, embora seja provavelmente matriz energética para preparar a alimentação de famílias periféricas e carentes da cidade de Manaus.

## REFERÊNCIAS

- ABE, K. C.; MIRAGLIA, S. G. E. K.. Avaliação de impacto à saúde do programa de controle de poluição do ar por veículos automotores no município de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.47, p.61-73, 2018.
- ARAÚJO, J. M.; ROSÁRIO, N. M. E.. Poluição atmosférica associada ao material particulado no estado de São Paulo: análise baseada em dados de satélite. **RBCIAMB** v.55, n.1, 32-47, 2020.
- ARYA, S.. **Air pollution meteorology and dispersion**. New York: Oxford University Press, 1999.
- BRANDÃO, P. V. R.; ALBUQUERQUE, E. L.; FIALHO, R. L. L.. Comparative study between the methodologies for conducting pollutant gas emission inventories by automotive sources: CETESB x Ministry of the Environment Braz. **J. of Develop.**, v.6, n.5, p.25544-25554, 2020.
- CARVALHO, V. S. B.; CAVALCANTI, P. M. P. S.; CATALDI, M.; PIMENTEL, L. C. G.. Avaliação da Concentração do Ozônio e de seus precursores na RMRJ e correlação deste com variáveis meteorológicas durante o ano de 2002. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13. **Anais**. Rio de Janeiro, 2004.
- CARVALHO, V. S. B.. **Meteorologia da qualidade do ar no que tange as concentrações de ozônio e dos óxidos de nitrogênio na região metropolitana do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- CHIQUETO, J. B.; YNOUE, R. Y.; MIRANDA, W. C. SILVA, M. E. S.. Concentrações de ozônio troposférico na Região Metropolitana de São Paulo e a implementação de parques urbanos: observações e modelagem. **Boletim Paulista de Geografia**, v.95, p.1-24, 2016.
- CORREIA, A. R. F.. **Avaliação de desempenho de modelos de qualidade do ar**. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Ordenamento) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.
- COSTA, P. S.. **Concentração do ozônio em dois sítios experimentais da região metropolitana de Manaus**: Medidas convencionais e estimativas remotas. Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2015.
- DALLAROSA, J. B.; TEIXEIRA, E. C.; ALVES, R. C. M.. Application of numerical models in the formation of ozone and its precursors in areas of influence of coal-fired power station – Brazil. **Water Air and Soil Pollution**, v.178, n.1-4, p.385-399, 2007.
- DAUMAS, R. P.. **Poluição do ar e mortalidade em idosos no município do Rio de Janeiro**: análise de série temporal. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Medicina Social da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- DUTRA, J.; RELVAS, H.; CANALEZ, G.; PINHEIRO, H. WAICHMAN, A.; LOPES, M.. Análise de Deslocamento dos Poluentes de Emissões na Cidade de Manaus, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.01, p.039-056, 2019.
- ESCUCIATTO, E.; DZIEDZIC, M.; VASCONCELOS, E. C.. A influência da renovação da frota de veículos na qualidade do ar na região central de Curitiba. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.42, p.2-11, 2016.
- FÁVERO, C.; GONÇALVES, G. A.; BUSKE, D.; QUADROS, R. S.; SILVEIRA, V. C.. Modelo de pluma segmento com velocidades estocásticas para dispersão atmosférica em condições de vento fraco. **Ciência e Natura**, v.42, 2020.
- FISCH, G.. Aspectos climáticos da Floresta Tropical Amazônica. **Acta Amaz.**, v.20, p.39-48, 1990.
- GALICHIO, W.; FORNARO, A.. **Relação entre ozônio e parâmetros meteorológicos na atmosfera de São Paulo**: período de 2002 a 2005. São Paulo: USP, 2007.
- HURLEY, P.. **The Air Pollution Model (TAPM) Version 2 – Part 1**: Technical Description, CSIRO – Atmospheric Research. 2002.
- HURLEY, P.; PHYSICK, W. L.; LUHAR, A. K.; EDWARDS, M.. **The Air Pollution Model (TAPM) Version 3 – Part 2**: Summary of some verification Studies. CSIRO – Atmospheric Research. 2005.
- IDAD. Instituto do Ambiente e Desenvolvimento. **Estudo de Impacte na qualidade do ar do Projeto da Central de Ciclo Combinado de Pego**. IMA 24.02-02/10. Aveiro, 2002.
- IDAD. Instituto do Ambiente e Desenvolvimento. **Programa De Monitorização da Qualidade do Ar, Poluentes ao nível do Solo e Comportamento dos Aterros/Biogás da ETRS da Meia Serra** IMA 20.04-03/15. Aveiro, 2004.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Amazonas**. INMET, 2009.
- JENKIN, M. E.; CLEMITSHAW, K. C.. Ozônio e outros poluentes fotoquímicos secundários: processos químicos que regem sua formação na camada limite planetária. **Ambiente Atmosférico**, v.34, n.16, p.2499-2527, 2000.
- KIRCHHOFF, V. W. J. H.; MARINHO, E. V. A.. Surface Carbon

Monoxide Measurements in Amazonia. **Journal Geophysical Research**, v.95, p.16.933-16.943, 1990.

KIRCHHOFF, V. W. J. H.. Increasing concentrations of CO and O<sub>3</sub> rising deforestation rates and increasing tropospheric carbon monoxide and ozone in Amazonia. **Environmental Science and Pollution Research**, v.3, p.210-212, 1996.

LI, J.; CARLSON, B. E.; LACIS, A. A.. Application of spectral analysis techniques to the intercomparison of aerosol data – Part 4: Synthesized analysis of multisensor satellite and ground-based AOD measurements using combined maximum covariance analysis. **Atmospheric Measurement Techniques**, v.7, p.2531-2549, 2014.

LIMA, E. A. P.; GUIMARAES, E. C.; POZZA, S. A.; BARROZO, M. A. S.; COURRY, J. R.. A Study of Atmospheric Particulate Matter in a City of the Central Region of Brazil Using Time Series Analysis. **International Journal of Environment Engineering**, v.1, n.1, 2009.

LOGAN, J. A.; PRATHER, M. J.; WOFSY, S. C.; McELROY, M. B.. Tropospheric Chemistry: A Global Perspective. **Journal Geophysical Research**, v.86, p.7.210-7.254, 1981.

LOGAN, J. A.. Tropospheric Ozone: Seasonal Behavior, Trends, and Anthropogenic Influence. **Journal Geophysical Research**, v.90, p.10.463-10.482, 1985.

MANAUS. **Lei Ordinária nº 2075 de 29/12/2015**. Institui o Plano de Mobilidade Urbana de Manaus - PLANMOB-Manaus - e estabelece as diretrizes para o acompanhamento e monitoramento de sua implementação, avaliação e revisão periódica. Manaus: DOE, 2015.

MANAUSTRANS. **Superintendência Municipal de Trânsito**. Comunicação pessoal. 2017.

MARENGO, J. A.. Variabilidade interdecadal e tendências de precipitação na bacia amazônica. **Theor. Appl. Climatol.**, v.78, p.79-96, 2004.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.. Clima da Região Amazônica. In: CAVALCANTI, I. F. A.. **Tempo e Clima do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.198-212.

MARTINS, L. D.. **Sensibilidade da formação de ozônio troposférico às emissões veiculares na Região Metropolitana de São Paulo**. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MIRANDA, A. I.; FERREIRA, J.; SILVEIRA, C.; RELVAS, H.; DUQUE, L.; ROEBELING, P.; LOPES, M.; COSTA, S.; MONTEIRO, A.; GAMA, C.; SA, E.; BORREGO, C.; TEIXEIRA, J. P.. A cost-efficiency and health benefit approach to improve urban air quality. **Science Of The Total Environment**, v.569, p.342-351, 2016.

PARK, I-S.; LEE, S.; KIM, C.; YOO, C.; LEE, Y.. Simulating Urban-Scale Air Pollutants and Their Predicting Capabilities

over the Seoul Metropolitan Area. **Journal of the Air and Waste Management Association**, v.54, n.6, 2004.

POPE, C. A.; DOCKERY, D. W.. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v.56, p.709-742, 2006.

RAMOS, A. M.; FREITAS, S.; CONDE, F. C.; LONGO, K.; SILVA, A. M.; LUCAS, E. W. M.; LUCIO, P. S.. Desempenho do modelo CATT-BRAMS em simulações de transporte de poluentes emitidos por incêndios florestais. In: JORNADAS CIENTÍFICAS DE LA AME, 30; ENCUESTRO HISPANO-LUSO DE METEOROLOGÍA, 9. **Anais**. 2008.

RIBEIRO, I.; MONTEIRO, A.; FERNANDES, A. P.; MONTEIRO, A. C.; LOPES, M.; BORREGO, C.; MIRANDA, A. I.. Air quality modelling as a supplementary assessment method in the framework of the European Air Quality Directive. **International Journal Of Environment And Pollution**, v.54, n.2-4, p.262-270, 2014.

RIBEIRO, C. I. L.. **Aplicação de um Modelo Meteorológico e de Qualidade do Ar a Portugal**. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Ordenamento) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2005.

SANTOS, a. P. P.; ARAGÃO, M. R. S.; CORREIA, M. F.; SANTOS, S. R. Q.; SILVA, F. D. S.; ARAÚJO, H. A.. Precipitação na Cidade de Salvador: Variabilidade Temporal e Classificação em Quantis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.31, n.4, 2016.

SOUSA, P.. **Simulação da qualidade do ar para Portugal com o modelo TAPM**. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Ordenamento) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008.

SOUZA, L. P.; FARONI, L. R. A.; HELENO, F. F.; PINTO, F. G.; QUEIROZ, M. E. L. R.; PRATES, L. H. F.. Ozone treatment for pesticide removal from carrots: Optimization by response surface methodology. **Food Chemistry**, v.243, p.435-441, 2018.

TEIXEIRA, E. C.; FELTES, S.; SANTANA, E. R. R.. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana De Porto Alegre, Rio Grande Do Sul. **Química Nova**, v.31, p.244, 2008.

TREBS, I.; MAYOL-BRACERO, O. L.; PAULIQUEVIS, T.; KUHN, U.; SANDER, R.; GANZVELD, L.; MEIXNER, F. X.; KESSELMEIER, J.; ARTAXO, P.; MEINRAT, O. A.. Impact of the Manaus urban plume on trace gas mixing ratios near the surface in the Amazon Basin: Implications for the NO-NO<sub>2</sub>-O<sub>3</sub> photostationary state and peroxy radical levels. **Journal of Geophysycal Research**, v.117, n.D05307, 2012.

VALENTE, J.; MONTEIRO, A.; LOPES, M.; MARTINS, P.; MIRANDA, A.; NEUPARTH, N.; BORREGO, O C.. Asthmatic Children Exposure and Inhaled Dose of PM, O<sub>3</sub> and NO<sub>x</sub>. **Epidemiology**, v.19, n.6, p.S298-S298, 2008.