

Influência do ENOS na variabilidade da concentração de ozônio estimada por satélite sobre uma metrópole na Amazônia

Patrícia Costa Guimarães^{1,2}
Lenízia Souza²
Igor Oliveira Ribeiro^{1,2}
Adan Sady Medeiros^{1,2}
Mateus Rocha Magalhães^{1,2}
Rita Valéria Andreoli de Souza¹
Rodrigo Augusto Ferreira de Souza¹

¹ Universidade do Estado do Amazonas- UEA/EST
CEP – 69050-010- Manaus - AM, Brasil
patricia.guimaraes@inpa.gov.br

² Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Caixa Postal 2223 – 69080-971 - Manaus - AM, Brasil
{leniziasz, igorgeoinformacao, andreolirv, souzaraf} @gmail.com
{adan_medeiros, mateusmagalhaes02} @hotmail.com

Abstract. This work aims to characterize the climatology of the vertical profile tropospheric ozone (O_3), as well as assess the interannual and seasonal variation in surface ozone and altitude on the metropolitan region of Manaus, through the performance of inter-annual climatic phenomena. For this analysis, this research bases on historical series of thirteen years of estimating O_3 from the orbital platform AQUA, contemplating the years of 2003 to 2015. The methodology applied is based on the selection of two years uncharacteristically contrasting. The years of 2008, whose persistence of negative SST anomaly lasted for six months, and 2015, which presented positive temperature anomalies for twelve consecutive months. Later, vertical and averages were calculated standard deviations for the rainy and dry quarters about the study area. For an analysis of particularly rainy or dry days, two case studies were carried out. The observations carried out by the environmental satellite AQUA indicate that there is an important connection between weather conditions and air pollution levels in the region. For the negative phase ENOS the mean concentration of O_3 was below air quality thresholds established by CONAMA and WHO. On the other hand, when set the positive phase of ENSO, increased concentrations of tropospheric ozone, coinciding with the period of increased availability of solar radiation, low convective activity in the region and intense firing activity can become worrisome, because concentrations between 60-70 ppb are considered harmful to health of the population, according to the WHO guidelines.

Palavras-chave: Tropospheric ozone, El Niño, La Niña, remote sensing, Manaus Metropolitan region.

1. Introdução

O ozônio (O_3), encontrado na estratosfera e na baixa atmosfera, é um gás importante tanto para os processos fotoquímicos naturais quanto antropogênicos devido o mesmo ser. O mesmo atua naturalmente na estratosfera, sendo formado quando as moléculas de oxigênio se rompem ao interagirem com a radiação solar, na banda do ultravioleta, e os átomos separados passam a se combinar com outras moléculas de oxigênio, possuindo assim a finalidade de proteger a Terra da radiação ultravioleta prejudicial aos seres humanos, sendo chamada assim de "camada de ozônio". Por outro lado, o ozônio também pode ser encontrado na baixa atmosfera formado a partir de precursores antropogênicos, que incluem as emissões industriais e veiculares de compostos orgânicos voláteis (VOC), óxidos nitrogenados (NO_x), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos orgânicos não-metano (NMHC), na presença da radiação ultravioleta (Li *et al.* 2014). Neste último caso, o mesmo passa a desempenhar um papel importante de poluente fotoquímico secundário e volátil, podendo afetar a qualidade do ar e, portanto, sendo considerado tóxico para a saúde da população, fauna e flora.

Na última década, estudos vêm mostrando que uma das consequências das mudanças climáticas é relacionada à alteração na cobertura da terra, principalmente em regiões florestadas, como a Amazônia, devido a intensificação de queimadas antropogênicas. Tal atividade é considerada uma fonte importante de gases do efeito estufa, aerossóis e poluentes para a atmosfera, pois produzem plumas extensas de fumaça, principalmente na estação seca da região (Andreae *et al.* 2004, Artaxo *et al.* 2002, Freitas *et al.*, 2006). Esta consequência se torna alarmante no sentido de que poderão ocorrer mudanças significativas na composição atmosférica e qualidade do ar por meio do fornecimento de precursores do ozônio troposférico (Wu *et al.*, 2012). Complementarmente, Monks *et al.* (2015) mostram que variabilidades climáticas de curto prazo podem modificar o longo alcance de transporte das plumas de ozônio nas escalas regionais, e também impactos à escala regional fotoquímica do ozônio, modificando cobertura de nuvens. Os autores ressaltam que o impacto da variabilidade climática sobre transporte de ozônio e da química é um campo relativamente novo de estudo que precisa ser explorado mediante os efeitos de fenômenos climáticos como o El Niño Oscilação Sul (ENOS). Ziemke *et al.* (2015) mostram que o fenômeno de variabilidade interanual, ENOS, pode ser responsável por modular as concentrações de ozônio troposférico em todo o oceano Pacífico tropical, já que este poluente secundário é especialmente sensível às mudanças na convecção profunda associado a fase negativa do ENOS. Desta forma, um aumento (redução) de convecção dinâmica de eventos ENOS induz uma diminuição (aumento) de ozônio troposférico na coluna atmosférica sobre os trópicos.

Do ponto de vista remoto, uma alternativa que pode ser utilizada para complementar a carência de registros das concentrações de ozônio, em superfície e até mesmo em altitude, é fazendo o uso de informações remotas globais obtidas através dos sondadores a bordo de satélites ambientais. Estudos como os de Susskind *et al.* (2003) e Xiong *et al.* (2008) mostram a possibilidade e a vantagem de se utilizar informações do satélite ambiental AQUA para inferir e monitorar a concentração de gases na coluna atmosférica. O sensor AIRS (Atmospheric Infrared Sounder) a bordo da plataforma AQUA da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), lançada em maio de 2002, representou um grande avanço na tecnologia de sensoriamento remoto por satélites, possuindo 2378 canais de informações, dentre estes 26 canais dedicados as estimativas de O₃, desta forma sendo considerado o marco inicial das gerações de sensores hiperespectrais (Aumann *et al.* 2003). De acordo com Bian *et al.* (2007), os produtos gerados a partir das estimativas AIRS têm sido validados continuamente, pois diversos trabalhos publicados relatam a qualidade de tais inferências. No caso do gás em estudo, numa pesquisa recente de avaliação da qualidade das estimativas do perfil de ozônio, verificou-se que o viés não ultrapassou 20%, numa comparação entre dados de radiossonda e estimativas de ozônio pelo AIRS (Divakarla *et al.* 2008). Adicionalmente, outros estudos como de Costa *et al.* (2011) e Herron-Thorpe *et al.* (2014), mostram a possibilidade e vantagem do uso de sensores orbitais, como o AIRS, em monitorar a concentração de gases em regiões de difícil acesso e carente de dados observacionais como no caso da Amazônia.

Dentro deste contexto, este trabalho visa caracterizar a climatologia do perfil vertical bem como avaliar a variação interanual e sazonal do ozônio em superfície e altitude sobre a Região Metropolitana de Manaus (RMM), uma região metropolitana no meio da floresta Amazônica, mediante a atuação de fenômenos climáticos interanuais. Para estas análises, embasa-se esta pesquisa na série histórica de 13 (treze) anos de estimativas de O₃ a partir da plataforma orbital AQUA, contemplando os anos de 2003 à 2015.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de estudo

Este estudo foi realizado para a Região Metropolitana de Manaus (RMM), localizada no Estado do Amazonas, com 2.106.866 habitantes, possui o total de oito municípios, estes são: Manaus, Manacapuru, Careiro da Várzea, Iranduba, Itacoatiara, Manacapuru, Novo Airão, Presidente Figueiredo e Rio Preto da Eva e possui uma área de 101.475 km² (IBGE, 2010). É caracterizado por planícies, baixos planaltos e terras firmes, com uma altitude média inferior a 100 metros, e sua extensão territorial é de aproximadamente 101.474 km². O clima nessa região é tropical úmido com elevadas temperaturas, altas taxas de umidade e pouca amplitude térmica. A precipitação média anual é de 2300 mm. Essa região apresenta estações chuvosa e seca bem definidas, sendo caracterizada a estação chuvosa entre os meses de novembro a março e estação menos chuvosa de julho a setembro (Fish *et al.* 1998).

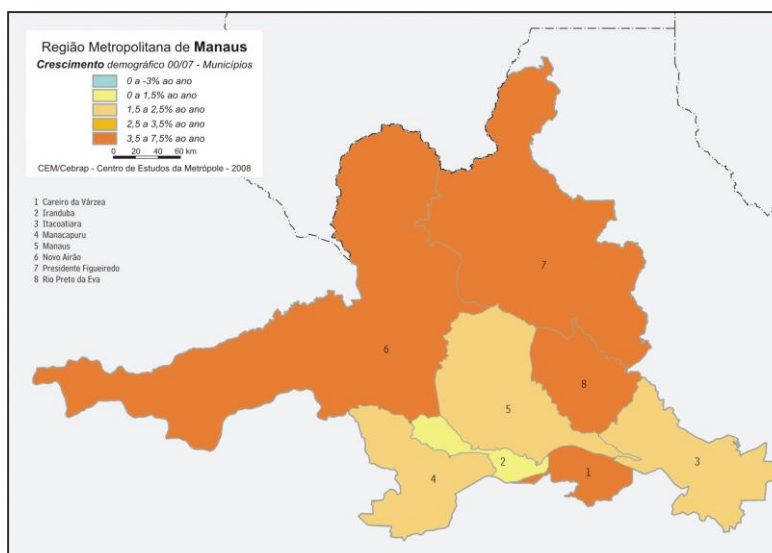


Figura 1 – Área de Estudo: RMM. Fonte: Centro de Estudos da Metrópole.

2.2. Dados e Metodologia

Os dados utilizados no presente trabalho foram obtidos através das inferências do sensor AIRS/AQUA, referente primeiramente ao produto AIRX2SUP (versão 6), da qual foram extraídos os dados de O₃VMRLevSup. Trata-se de uma base de dados histórica que contempla o período de 2003 até 2015. Este inclui perfis verticais estratificados em 100 níveis de pressão atmosférica entre 1100 e 0,016 hPa, com resolução horizontal de 50 km e resolução temporal de duas vezes por dia (dia e noite), e está disposto em grânulos ascendentes e descendentes enumerados de 1-240 para todo o globo (AIRS, 2013). Tais dados foram extraídos no formato *Hierarchical Data Format* (HDF) do portal da NASA, disponível em: <<http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/homepageAlt.pl?keyword=AIRX2SUP>>. Adicionalmente, foram utilizadas estimativas de focos de queima para o mesmo período. Estes dados são disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e correspondem ao número de focos de queima integrados para vários satélites utilizados operacionalmente pelo INPE.

Para o desenvolvimento da metodologia deste trabalho, inicialmente, foi realizada uma seleção de dois anos atípicos, ou seja, um ano chuvoso e um ano seco, com base no Índice do Niño Oceânico que poderá ser positivo ou negativo mediante a atuação do fenômeno

climático interanual ENOS, onde em seu cálculo considera-se a média de 3 meses das anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região de Niño 3.4 (5° N - 5° S, 120° W - 170° W), considerando um limiar de variação +/- 0.5°C, com base na plataforma de monitoramento do *Center for Weather and Climate Prediction* (NOAA). Conforme apresentado na Tabela 1, mediante o período de 2003 a 2015, destacam-se os anos de 2008, cuja persistência de anomalia negativa sobre a TSM perdurou por seis meses, e 2015, que apresentou anomalias de TSM positivas durante doze meses consecutivos.

Tabela 1 – Índice do Niño Oceânico (ONI). Períodos de aquecimento da temperatura da superfície do mar em vermelho e resfriamento em azul. Fonte: Adaptado de NOAA (2016).

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2003	0.9	0.7	0.4	0	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
2004	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7
2005	0.7	0.6	0.5	0.5	0.3	0.2	0	-0.1	0	-0.2	-0.5	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.1	-1.3	-1.3
2008	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.7	-0.6	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.5	0.6	0.9	1.1	1.3
2010	1.3	1.2	0.9	0.5	0.0	-0.4	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-1.4	-1.4
2011	-1.3	-1.0	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.6	-0.8	-0.9	-1.0	-0.9
2012	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2014	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.4	0.5	0.6
2015	0.6	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3

Posteriormente, foram executadas as leituras dos dados remotos diários (O₃VMRLevSup), extraído-se grânulos entre 160-185 para as passagens ascendentes do satélite e excluindo-se dados inválidos. Ainda no nível de processamento, os dados foram convertidos para unidades científicas de referência do Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA, (Brasil, 1990) e Organização Mundial da Saúde, OMS (WHO, 1987) em partículas por bilhão de volume (ppb), para depois serem calculadas médias verticais e desvios-padrão para o trimestre chuvoso (janeiro, fevereiro e março) e trimestre seco (agosto setembro e outubro) sobre a área de estudo. Os focos de queima, foram representados de forma cumulativa para o período em estudo, representados na forma de histograma. Com base nos dados de perfil da concentração de O₃ e com o intuito de se fazer uma análise de dias particularmente chuvosos ou secos, foram realizados dois estudos de caso: (i) 02/02/2008, 01/02/2015, 11/09/2008, 20/09/2015; (ii) 21/03/2008, 05/03/2015, 11/10/2008, 05/10/2015.

3. Resultados e Discussão

A série temporal dos perfis de ozônio mensal para o período de 2013 a 2015 são apresentadas na Figura 2. Naturalmente, observa-se que a concentração média de ozônio aumenta a medida que a pressão atmosférica diminui, sendo evidente maiores concentrações na altitude de 500 hPa e menores concentrações próximas a superfície (1000 hPa). Identifica-se também, nesta amostragem de dados históricos, que existe um ciclo médio sazonal bem definido nas concentrações de O₃, com máximos valores ocorrendo no segundo semestre de cada ano, coincidente com a estação seca da região em estudo. Além disso, observa-se uma segunda variação, esta na escala interanual, cujas maiores concentrações de O₃ apresentam valores de até 60 ppb para os anos de 2015, em níveis próximos da superfície (aproximadamente 900 hPa). Isto se deve, para este mesmo ano, provavelmente, ao recorde de número de focos registrado quando comparado aos outros anos, sendo 2008 o ano que apresentou menor número de focos para RMM (conforme apresentado na Figura 3).

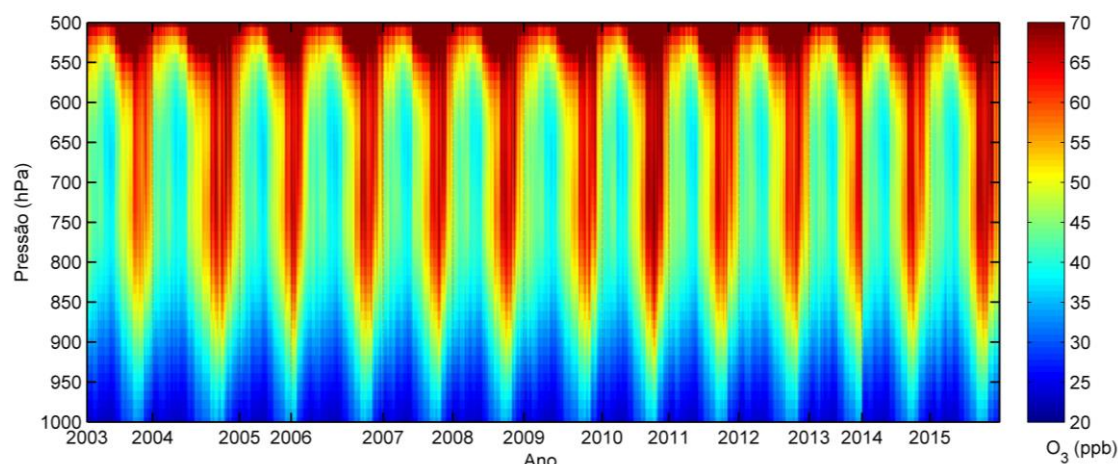


Figura 2 - Concentração média do perfil de O₃ entre 500 e 1000 hpa, para o período de 2003 a 2015, sobre a RMM.

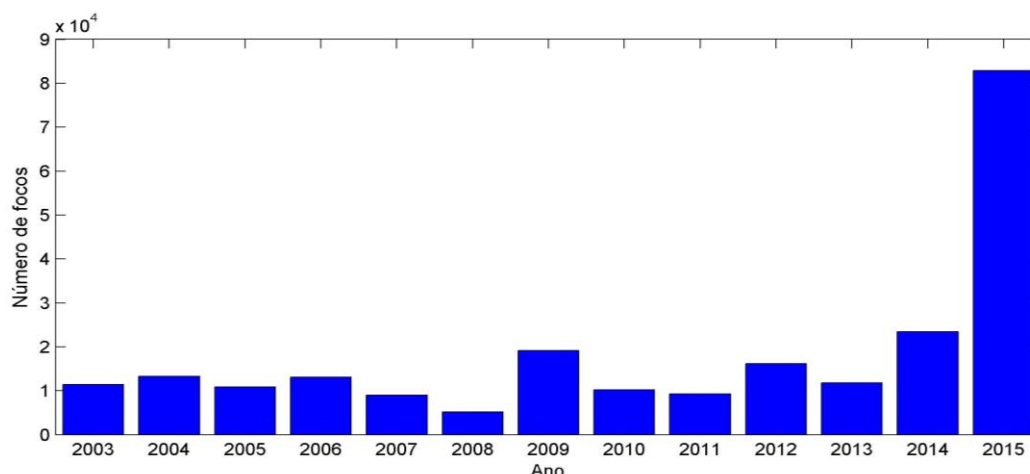


Figura 3 – Número de focos de queimada, para o período de 2003 a 2015, sobre a RMM.

Na Figura 4 observou-se que durante o período chuvoso, para os anos de 2008 e 2015, as concentrações médias de O₃ estiveram em torno de 20 ppb, próximo a superfície, sendo apresentados desvios suscintos nos meses de janeiro e março. A medida que a pressão atmosférica diminui a concentração média de ozônio aumenta, de forma que em torno de 300-400 hPa são encontrados os maiores valores do perfil vertical de ozônio, em torno de 45 ppb. Por outro lado, no período seco as concentrações médias na baixa atmosfera estiveram em torno de 28 ppb. De maneira geral, os desvios associados ao comportamento médio do perfil da concentração de ozônio mostraram que existe uma diferença considerável nos meses de setembro e outubro sobre a RMM, sendo encontrados valores superiores a 60 ppb na alta troposfera, com maior amplitude dos desvios padrões nestas séries. Tais resultados mostram que as inferências da concentração de O₃, com base na climatologia por satélite (2003-2015), conseguem exprimir a variabilidade mensal do comportamento do perfil de ozônio, mesmo em baixos níveis.

Para os estudos de caso, retratados na Figura 5, observou-se que independente do período seco ou chuvoso da região, os valores representados no perfil médio das concentrações de O₃, para o ano de 2015, foram superiores as concentrações de 2008. Em superfície os valores foram similares as concentrações médias mensais da série histórica de dados. No entanto, na alta troposfera, próximo a camada de 400 hPa, pode-se observar que, principalmente nos dias secos, a concentração média de O₃ ultrapassa o valor de 65 ppb, sendo desta forma,

aproximadamente o dobro dos valores encontrados para os dias chuvosos. Este comportamento é esperado no regime seco, dado que para haver significativa formação de O_3 troposférico são necessários requisitos essenciais, como uma atmosfera com baixa atividade convectiva e grande disponibilidade de radiação solar incidente, acarretando no aumento da atividade fotoquímica. Desse modo, o aumento considerável da concentração de ozônio troposférico tomando em consideração um ano atipicamente seco, como no caso de 2015, sugere que um evento de escala interanual, como o El Niño possa ser um dos principais eventos moduladores da qualidade do ar sobre a RMM, já que o mesmo contribui com a supressão de chuvas, principal agente de “limpeza” da atmosfera. Tais resultados corroboram com o estudo realizado por Ziemke *et al.* (2015).

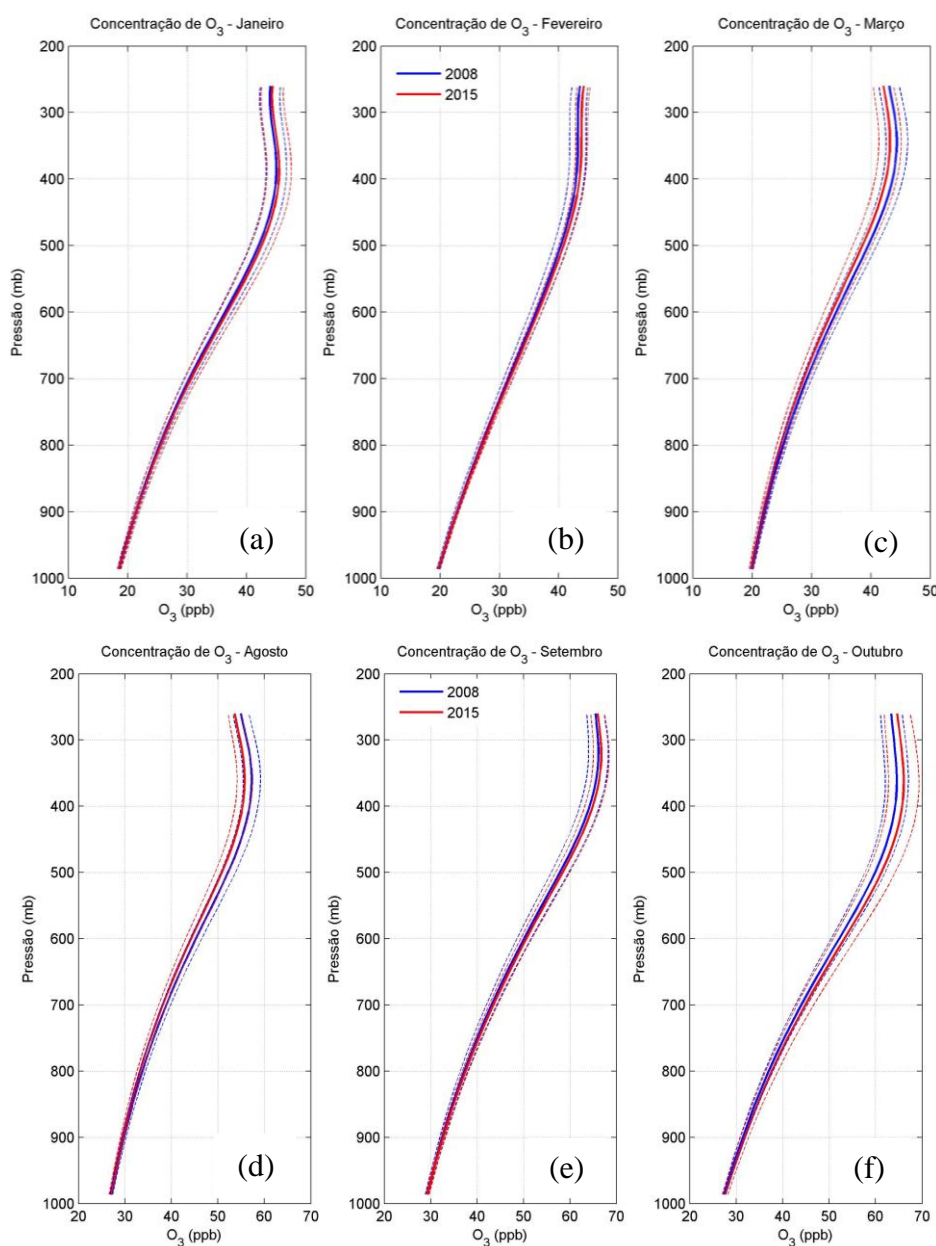


Figura 4 - Perfil vertical médio de O_3 para RMM, para os meses de janeiro (a), fevereiro (b), março (c) e agosto (d), setembro (e) e outubro (f), estimados pelo satélite AQUA para anos de 2008 e 2015.

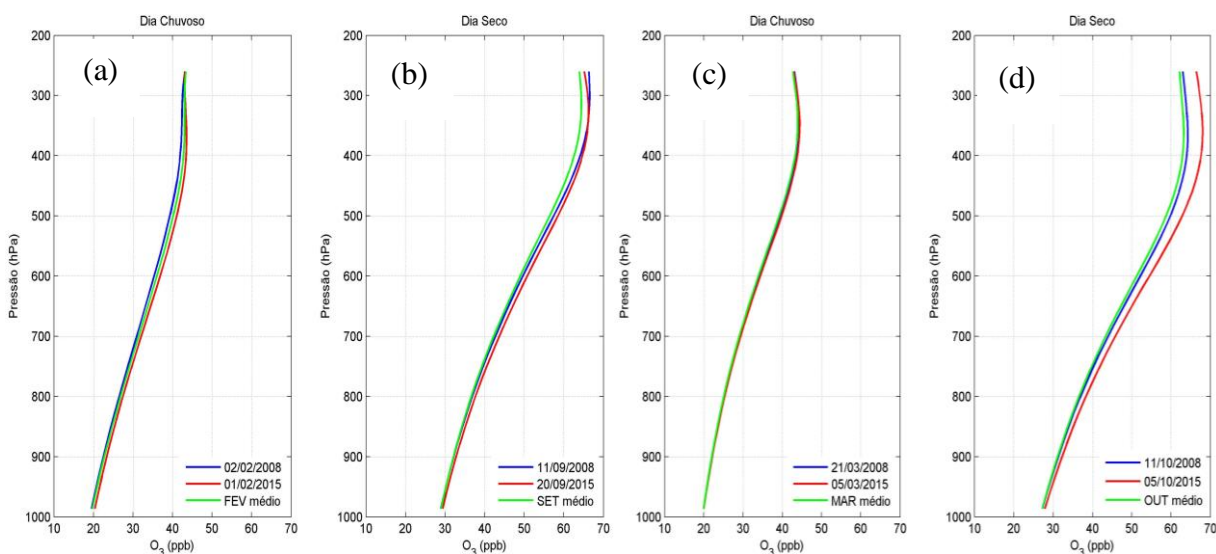


Figura 5 - Perfil vertical médio de O_3 para RMM, para os dias chuvosos dos meses de fevereiro e março (a) e (c); e secos dos meses de setembro e outubro (b) e (d), considerando a série histórica de dados de (2003-2015) para os meses apresentados.

5. Conclusões

As observações realizadas pelo satélite ambiental AQUA indicam que existe uma importante conexão entre as condições climáticas e os níveis de poluição atmosférica na região. Para a fase negativa do ENOS (La Niña) a concentração média de O_3 esteve abaixo dos limiares de qualidade do ar estabelecidos pela CONAMA (cerca de 81 ppb) e OMS (cerca de 51 ppb). Por outro lado, quando configurada a fase positiva do ENOS (El Niño), o aumento da concentração de ozônio troposférico, coincidente com o período de grande disponibilidade de radiação solar, baixa atividade convectiva na região e intensa atividade de queima de biomassa, pode se tornar alarmante, em virtude de concentrações entre 60-70 ppb serem consideradas prejudiciais a saúde da população, conforme diretrizes da OMS.

Ressalta-se ainda a importância de se estender esta análise para outros anos, de modo que a frequência e intensidade deste fenômeno sejam consideradas em futuras investigações.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo a Pesquisa do Amazonas (FAPEAM) e as demais instituições de ensino e pesquisa envolvidos no desenvolvimento deste trabalho.

Referências Bibliográficas

AIRS. Science Team/Joao Teixeira. **AQUA AIRS Level 2 Support Retrieval, Handbook Version 006**. Greenbelt, USA: NASA Goddard Earth Science Data and Information Services Center, 2013. Disponível em: <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/uui/datasets/AIRS2SUP_V006/summary?AIRS2SUP#documentation>. Acesso em: 30 out. 2016.

Andreae, M. O.; Rosenfeld, D.; Artaxo, P.; Costa, A.A; Frank, G.P.; Longo, K.M.; Silva-Dias, M. A. F. Smoking rain clouds over the Amazon, **Science**, v. 303, n. 5662, p. 1337-1342, 2004.

Artaxo, P.; Martins, J. V.; Yamasoe, M. A.; Procópio, A. S.; Pauliquevis, T. M.; Andreae, M. O.; Guyon, P.; Gatti, L. V.; Cordova Leal, A.M. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry season in Rondônia, **Amazonia. J. Geophys. Res.** V. 107, n. D20, p. 49.1 - 49.14, 2002.

Bian, J.; Gettelman, A.; Chen, H.; Pan, L.L. Validation of satellite ozone profile using Beijing ozone sonde data. **Journal Geophysical Research**, v. 112: n. D06305, p. 1-11, 2007.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente (1990). Resolução n. 003/1990 de 28 jun. 1990 do CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Estabelece padrões de qualidade do ar e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 22 ago. 1990.

Centro de Estudos da Metrópole. **Mapa da Região Metropolitana de Manaus**. Disponível em: <<http://www.fflch.usp.br/centrodametropole/407>>. Acesso em: 30 out. 2016.

Costa, P.S.; Souza, R.A.F.; Andreoli, R.V.S.; Cartaxo, E. Variabilidade da concentração do metano troposférico sobre o reservatório da hidrelétrica Balbina a partir de informações do satélite ambiental AQUA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. **Artigos**, p. 2257. CD-ROM, On-line. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1056.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

Divakarla, M.; Barnet, C.; Goldberg, M.; Maddy, E.; Irion, F.; Newchurch, M.; Liu, X.; Wolf, W.; Flynn, L.; Labow, G.; Xiong, X.; Wei, J.; Zhou, L. Evaluation of Atmospheric Infrared Sounder ozone profiles and total ozone retrievals with matched ozonesonde measurements, ECMWF ozone data, and Ozone Monitoring Instrument retrievals. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, n. D15, 2008.

Fisch, G.; Marengo, J.A.; Nobre, C.A. Uma revisão geral do clima da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 28(2), p. 101-126, 1998.

Freitas, S. R.; Longo, K. M.; Andreae, M. Impact of including the plume rise of vegetation fires in numerical simulations of associated atmospheric pollutants. **Geophys. Res. Lett.**, v. 33, n. L17808, 2006.

Herron-Thorpe, F. L.; Mount, G. H.; Emmons, L. K.; Lamb, B. K.; Jaffe, D. A.; Wigder, N. L.; Chung, S. H.; Zhang, R.; Woelfle, M. D.; Vaughan, J. K. Air quality simulations of wildfires in the Pacific Northwest evaluated with surface and satellite observations during the summers of 2007 and 2008, **Atmos. Chem. Phys.**, v. 14, p. 12533-12551, 2014.

IBGE. IBGE Cidades. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em <<http://www.ibge.org.br>>. Acesso em: 30 out. 2016.

Li, X.; Liu, J.; Mauzerall, D.L.; Emmons, L.K.; Walters, S.; Horowitz, L. W.; Tao, S. Effects of trans-Eurasian transport of air pollutants on surface ozone concentrations over Western China, **J. Geophys. Res. Atmos.**, v.119, n.21, p. 12.338–12.354, 2014.

Monks, P. S.; Archibald, A. T.; Collete, A.; Cooper, O.; Coyle, M.; Derwent, R.; Fowler, D.; Granier, C.; Law, K.S.; Mills, G.E.; Steveson, D.S.; Tarasova, O.; Thouret, V.; Von Schneidmesser, E.; Sommariva, R.; Wild, O.; Williams, M.R. Tropospheric ozone and its precursors from the urban to the global scale from air quality to short-lived climate forcer. **Atmospheric Chemistry and Physics**, vol. 15, n. 15, p. 8889-8973, 2015.

Susskind, J.; Barnet, C. D.; Blaisdell, J. M. Retrieval of atmospheric and surface parameters from AIRS/AMSU/HSB data in the presence of clouds, **IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.**, v.41, p. 390 – 409, 2003.

Xiong, X.; Barnet, C.; Maddy, E.; Sweeney, C.; Liu, X.; Zhou, L.; Goldberg, M. Characterization and validation of methane products from the Atmospheric Infrared Sounder (AIRS), **Journal of Geophysical Research**, v. 113, n. G00A01, 2008.

Wu, S.; Mickley, L.; Kaplan, J. O.; Jacob, D. J. Impacts of changes in land use and land cover on atmospheric chemistry and air quality over the 21st century, **Atmos. Chem. Phys.**, v. 12, p. 1597– 1609, 2012.

WHO. World Health Organization. Monitoring ambient air quality for health impact assessment. **Air quality guidelines for Europe**. Copenhagen, WHO regional publications, n. 85, 1987.

Ziemke, J. R.; Douglass, A. R.; Oman, L. D.; Strahan, S. E.; Duncan, B. N. Tropospheric ozone variability in the tropics from ENSO to MJO and shorter timescales, **Atmos.Chem. Phys.**, v. 15, p. 8037-8049, 2015.