

## **ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE QUEIMADAS, AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS E PRECIPITAÇÃO**

Nathália Velloso Prado (FEG – UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: [nathalia.prado@cptec.inpe.br](mailto:nathalia.prado@cptec.inpe.br)

Dra. Simone Sievert da Costa (DSA/CPTEC/INPE, Orientadora)

E-mail: [simone.sievert@cptec.inpe.br](mailto:simone.sievert@cptec.inpe.br)

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Julho de 2014



Ministério da  
**Ciência e Tecnologia**



**RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO PROGRAMA:  
PIBIC/ INPE - CNPq**

**PROJETO**

**ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE QUEIMADAS, AEROSSÓIS  
ATMOSFÉRICOS E PRECIPITAÇÃO**

**PROCESSO: 155621/2010-6**

Relatório elaborado por NATHÁLIA VELLOSO PRADO relativo ao período de  
Agosto de 2013 a Julho de 2014

**Nathália Velloso Prado** – Bolsista PIBIC/CNPq

**E-mail:** [nathalia.prado@cptec.inpe.br](mailto:nathalia.prado@cptec.inpe.br)

**Dra. Simone Sievert da Costa Coelho** – Orientadora

**DSA/CPTEC/INPE**

**E-mail:** [simone.sievert@cptec.inpe.br](mailto:simone.sievert@cptec.inpe.br)

## **AGRADECIMENTOS**

Meus agradecimentos ao programa PIBIC/INPE - CNPq que está me permitindo, com a aprovação do meu projeto, ingressar na área científica, ao suporte de computação da DSA do CPTEC e aos funcionários e servidores da DSA/CPTEC/INPE.

Um muito obrigado especial a Deus e a Nossa Senhora que me guiam nessa caminhada e aos amigos que conquistei na DSA. Um muito obrigado muito especial ao meu avô José Velloso que até seus últimos momentos de vida me incentivou, ajudou e acompanhou meus passos nos estudos. Devo e muito também a ele parte do que sou.

Agradeço também à minha orientadora pela oportunidade da continuidade do trabalho, aos meus pais Paulo e Nívea pelo apoio que me vêm dando em minhas decisões, a minha irmã pela força e um muito obrigado à Diogo Moura Pedroso pela parceria. Enfim, muito obrigada a todos pelo companheirismo e amizade que me demonstram. A vocês dedico este trabalho de desenvolvimento profissional e pessoal, o qual tenho orgulho de que façam parte.

## LISTA DE FIGURAS

	<b><u>Pág.</u></b>
1. Região 1, ano 2002.....	4
2. Região 1, ano 2008.....	5
3. Região 2, ano 2000.....	7
4. Região 2, ano 2002.....	7
5. Região3, ano 2001.....	9
6. Região 3, ano 2009.....	10
7. Região 4, ano 2003.....	12
8. Região 4, ano 2005.....	12

## RESUMO

Este projeto visa estudar a relação entre queimadas, aerossóis atmosféricos e precipitação sobre algumas regiões do Brasil, principalmente na região centro-oeste e na região amazônica, explorando dados de satélite via sensoriamento remoto. O presente estudo é uma extensão da pesquisa realizada em 2013. Espera-se também compreender como os efeitos da emissão de queimadas na Amazônia podem afetar a composição da atmosfera e o processo de formação de nuvens. Utilizou-se do sensor MODIS/TERRA-AQUA para obtenção de dados da espessura óptica do aerossol (AOD), para a precipitação, dados do satélite TRMM, e, para as queimadas, dados produzidos pelo CPTEC/INPE, no período de 2000 a 2012.

No trabalho anterior, resultados mais relevantes indicaram os meses de Agosto, Setembro e Outubro como pico na intensificação de queimadas sendo que o AOD é mais intenso em Setembro. Observou-se uma correlação significativamente negativa na anomalia de precipitação na região estudada. Estes resultados indicam que parte da anomalia de precipitação pode ser explicada pelo efeito indireto do aerossol na formação de nuvens. Verificou-se que em anos de El Niño a profundidade óptica do aerossol é mais elevada se comparada a outros anos.

Baseando-se num mapa do Brasil a respeito da Climatologia de precipitação acumulada no ano (em mm) realizada durante o período de 1961 a 1990, segundo dados do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – foram estudadas mais detalhadamente para a região Norte, os três centros de precipitação abundante: o primeiro centro, localizado no noroeste da Amazônia, o segundo, na parte central da Amazônia e o terceiro, na parte leste da base da Amazônia, próximo a Belém. Também foi analisada a região Nordeste, devido a sua grande variabilidade climática, podendo-se conferir desde o clima semiárido até o clima chuvoso. Como resultados preliminares, podemos verificar uma possível influência da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e do fenômeno climático El Niño na região noroeste da Amazônia, devido a uma anomalia positiva considerável para o ano de 2006, alcançando maiores picos de AOD nos meses compreendidos de março a setembro. Para a parte central da Amazônia, no ano de 2007, verificou-se um pico extremamente baixo para a anomalia de AOD durante o mês de Setembro, com uma anomalia de precipitação não atingindo 0,1 na escala. Para a parte

leste da Amazônia, o ano de 2011, marcado pelo fenômeno climático La Niña, destaca-se pela baixa anomalia de precipitação (-0.1 na escala).

Ainda está sendo estudada a possível alteração química dos aerossóis, devido aos diferentes tipos de vegetação e o processo de desmatamento e queima que se, realizado de diferentes formas, pode alterar a composição química do aerossol emitido para a atmosfera, alterando consequentemente, a espessura óptica dos aerossóis.

# **STUDY OF THE RELATION OF FIRES, ATMOSPHERIC AEROSOLS AND PRECIPITATION**

## **ABSTRACT**

This project aims to study the relationship among fires, atmospheric aerosols and precipitation in some regions of Brazil, mainly in the Midwest and in the Amazon region, exploring data from satellite remote sensing. The present study is an extension of the research performed in 2013. It is also expected understanding how the effects of the fire emissions in the Amazon can affect the atmospheric composition and the cloud formation process. We used the MODIS / TERRA-AQUA sensor to obtain data for aerosol optical depth (AOD); for the precipitation we used data from TRMM satellite; and for burning, data produced by CPTEC / INPE. For all of them, we used the period from 2000 to 2012.

In previous work, the most relevant results indicated the months of August, September and October had the peak intensification of fires. The AOD was more significant in September. There was a significant negative correlation in rainfall anomaly for the studied region. These results indicate that part of the precipitation anomaly can be explained by the indirect effect of aerosols on cloud formation. It was found that during El Niño years the aerosol optical depth is larger compared to previous years.

We studied the four main centers of abundant precipitation: northwestern and center of Amazon, the region near from Belém-PA and Northeastern region of Brazil. In Northeastern region of Brazil we verify large climate variability from the semi-arid climate to the rainy weather. These centers were chosen based on a Brazilian map for climatology containing accumulated annual precipitation. These data were held from 1961 to 1990 by the INMET (National Institute of Meteorology).

In preliminary results we can observe a possible influence of ITCZ (Intertropical Convergence Zone) and El Niño phenomenon in northwestern Amazon. In 2006, they present large AOD peaks between March and September, due to a significant positive anomaly. In 2007, in the central part of Amazon there was an extremely low peak for anomaly AOD during September with a precipitation anomaly lower than 0.1 on the scale. In 2011, a year characterized by weather phenomenon La Niña, it is noticeable the low rainfall anomaly (-0.1 on the scale) in the East of Amazon.

The different vegetation types and process of deforestation and burning, performed in different ways, can modify the chemical composition of aerosol emitted to the atmosphere, following a change in the aerosols optical depth. This possible alteration of aerosols remains to be further studied.



## SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Métodos e dados.....	2
3. Resultados.....	3
3.1. Região 1: Noroeste da Amazônia.....	3
3.2. Região 2: Parte central da Amazônia.....	5
3.3. Região 3: Leste da base da Amazônia.....	8
3.4. Região 4:Região Nordeste.....	10
4. Conclusões.....	13
5. Bibliografia.....	13

## 1. INTRODUÇÃO

A principal fonte de aerossóis no Brasil é devido às queimadas. A emissão de queimadas na Amazônia desregula a composição da atmosfera e o processo de formação de nuvens (ARTAXO, 2006).

As partículas de aerossóis estão relacionadas ao ciclo hidrológico pelo fato de constituírem os chamados núcleos de condensação de nuvens (NCN), que é uma partícula especial atuando como base para a formação inicial da gotícula até que ela atinja um tamanho suficientemente grande para que seu crescimento seja espontâneo, o qual se somando ao vapor de água formam as gotículas de nuvens. Esses NCN são partículas de tamanho microscópico, capazes de condensar a água em sua superfície. Se houver uma diferença da concentração de NCN da estação chuvosa para a estação seca, as propriedades da microfísica de nuvens serão profundamente alteradas.

Desde o processo de crescimento de uma gota (cerca de  $20\mu\text{m}$  de diâmetro) até a gota já formada (de 1 a 2 mm de diâmetro), o volume desta gota - que aumenta proporcionalmente com o valor cúbico do raio da gota - várias etapas acontecem. As correntes de ar dentro da nuvem iniciam-se devido ao ar aquecido pelo contato com o chão quente durante o dia. Essas correntes sustentam as gotas de chuva dentro da nuvem enquanto elas crescem (podendo ser por condensação do vapor d'água e pelo choque com outras gotas menores). Estas adquirem um peso maior e isso desacelera o fluxo de ar ascendente, até que essas gotas sentem a ação da gravidade e são puxadas para baixo, porém a bolha de ar quente flutuando continua levando-as para cima e a nuvem segue crescendo.

A quantidade de aerossóis neste momento influencia bastante o processo de formação de nuvens. Uma vez num ambiente não poluído, mais limpo, há poucos NCN. Na disputa por vapor d'água, se houver NCN relativamente grandes, estes vão crescer rapidamente, colidirão com outros menores e precipitarão, chegando estas nuvens a uma altura não maior que 4 ou 5 km. Entretanto, se a atmosfera estiver poluída, com grande número de NCN (na época de queimadas, por exemplo), a disputa pelo vapor d'água aumenta e as gotas bem lentamente crescerão pouco, enquanto a nuvem vai crescendo, podendo estas nuvens nem chegar a precipitar. Assim, as gotas acabam evaporando e a água, juntamente dos aerossóis, não retornam ao chão e são levados pelos ventos à

outros lugares. Se essas gotas passarem dos 6 ou 7 km de altura, elas congelam, pois o ar atinge temperaturas mais baixas.

## **2. MÉTODOS E DADOS**

O método utilizado para este trabalho foi o mesmo da pesquisa anterior referente ao relatório final do ano de 2013. Inicialmente foi realizado um levantamento da disponibilidade de dados de sensoriamento remoto referente ao aerossol, focos de queimadas e precipitação. Com relação aos aerossóis foram utilizados dados de profundidade óptica de aerossol. Esta variável é uma medida adimensional de extinção da radiação devido à interação da radiação com partículas de aerossóis na atmosfera, principalmente devido aos processos de espalhamento e absorção. Estes dados de profundidade óptica inferidos a partir das informações observadas pelo sensor MODIS - MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer – estão a bordo dos satélites TERRA e AQUA operados pela NASA no projeto EOS (Earth Observing System) e foram adicionalmente, utilizados dados de precipitação do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Baseando-se num mapa do Brasil a respeito da Climatologia de precipitação acumulada no ano (em mm) realizada durante o período de 1961 a 1990, segundo dados do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – foram estudadas mais quatro regiões, entre elas, os três centros de precipitação abundante na região Norte: o primeiro centro, localizado no noroeste da Amazônia, o segundo, na parte central da Amazônia e o terceiro, na parte leste da base da Amazônia, próximo a Belém. E a região Nordeste como quarta região de estudo devido a sua grande variabilidade climática.

A relação entre queimadas e aerossóis foi analisada utilizando 14 anos (2000-2013) de dados de profundidade óptica do aerossol inferido pelo satélite TERRA/MODIS, e de número de focos de queimadas disponibilizados pelo INPE. O produto de queimadas do INPE utiliza diversos dados de satélites (AQUA, TERRA, NOAA e GOES). Posteriormente foi relacionada às anomalias entre a profundidade óptica do aerossol e precipitação no período de Janeiro de 2000 a Dezembro de 2013 para estas quatro novas regiões.

Os resultados encontrados deste estudo novamente foram comparados com resultados da literatura, o qual indica que o aumento da concentração de água líquida disponível à

formação de gotículas de chuva é distribuído para maior número de núcleos de condensação.

Além disso, um estudo sobre os fenômenos climáticos El Niño, La Niña e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) foi realizado. Para tanto, foi feita primeiramente uma pesquisa sobre o que se tratava esses fenômenos. Pesquisou-se sobre o IOS (Índice de Oscilação Sul) para se avaliar, dentro da série histórica dos anos estudados em questão (2000-2013), os quais tiveram uma maior intensidade e também as características gerais sobre o considerado um dos sistemas meteorológicos mais importantes que atua nos trópicos, a ZCIT, que poderia ser uma fonte externa intensificadora ou não dos valores de AOD e da taxa de precipitação.

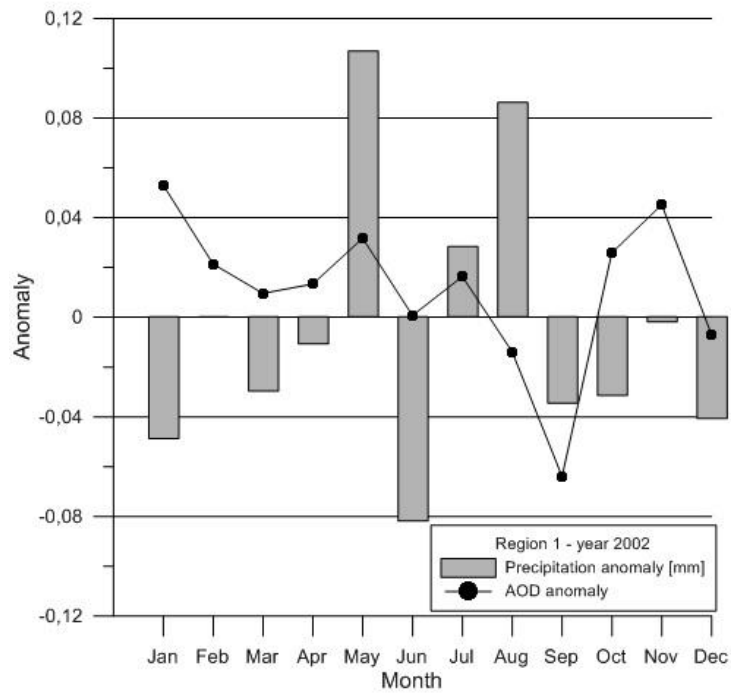
### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Região 1: Noroeste da Amazônia**

Devido a sua localidade, esta é uma possível região de ocorrência da Zona de Interferência Intertropical. De 2000 a 2003 é observada nos gráficos das anomalias de profundidade óptica do aerossol e precipitação uma alternância nos picos de um ano em relação ao outro. Em 2000, observamos uma anomalia negativa para o AOD e um pico positivo na anomalia de precipitação nos meses de março e novembro. Para 2001, analisamos um pico positivo de AOD e picos negativos de precipitação. Em 2002, observa-se um pico negativo na anomalia de AOD e uma anomalia positiva de precipitação nos meses de maio e junho. Podendo a ZCIT ter ocorrido neste ano, uma vez que o período chuvoso de atuação deste sistema meteorológico é entre os meses de abril, maio e junho. O mesmo ocorre para o ano seguinte de 2003, quando ocorre um pico positivo na anomalia de AOD e um pico negativo na anomalia de precipitação. Para todos esses anos, os resultados são consistentes com o que diz na literatura. Para outros anos, esta alternância não é observada, mostrando picos altos de AOD e picos na anomalia de precipitação negativa. O ano de 2008, entretanto, apresentou níveis de AOD e precipitação um pouco mais equilibrados, ocorrendo anomalia positiva de precipitação nos meses de julho, agosto, setembro e outubro, o que chama a atenção pelo fato de serem justamente no período de estação seca e uma anomalia de profundidade óptica negativa com pico em setembro. O ano de 2009 apresentou anomalia positiva num geral e uma diminuição nos níveis de AOD, novamente

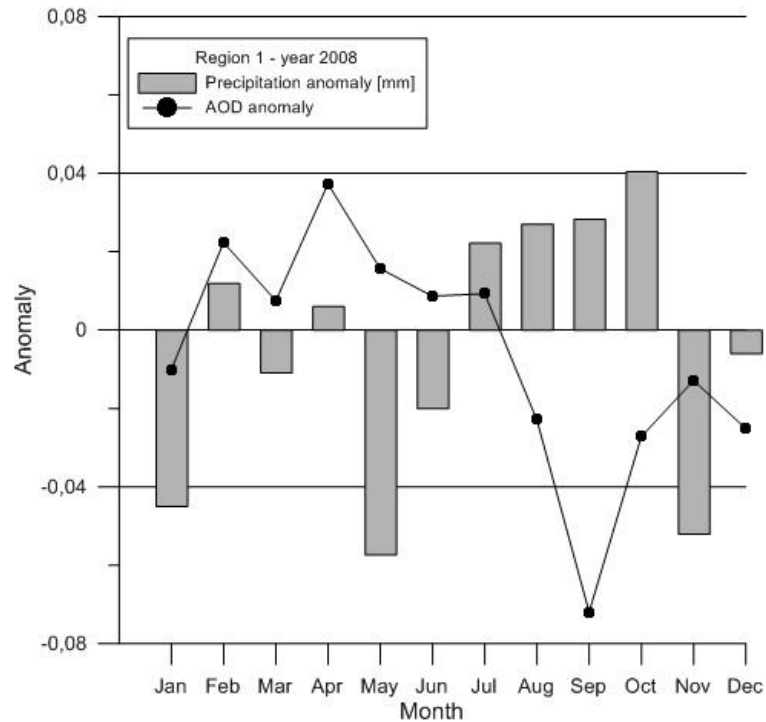
condizendo com a literatura. Para os anos seguintes é observada uma diminuição nos índices de AOD, acompanhados por um aumento da precipitação, exceto para o ano de 2010 que demonstrou um pico altíssimo da profundidade óptica no mês de agosto e uma anomalia de precipitação baixa.

Figura 1 – Região 1, ano 2002.



Fonte: Autor.

Figura 2 – Região 1, ano 2008.



Fonte: Autor.

### 3.2 Região 2: Parte central da Amazônia

Num geral, foi uma região que apresentou em sua maior parte da série histórica, níveis da anomalia de precipitação positiva considerável para os primeiros anos estudados de 2000 a 2002. Posteriormente, a anomalia da profundidade óptica começa a se elevar e a precipitação decai.

No ano de 2000, a anomalia de precipitação obteve um pico no mês de setembro e um pico para a anomalia de AOD negativa neste mesmo mês, concordando com o que diz na literatura. Para 2001, os resultados mantiveram-se consistentes, apresentando anomalia positiva de precipitação, com pico para o mês de estação chuvosa (dezembro) e obtendo um pico negativo de AOD para o mês de agosto.

O ano de 2002 tiveram três picos positivos para o AOD em meses de estações distintas (fevereiro, agosto e novembro) e apresentou anomalia de precipitação positiva, porém baixa, cerca de 0,05 na escala aproximadamente. Para 2003 houve predominância de uma baixa anomalia de precipitação e de uma anomalia de AOD positiva, também consistindo com a literatura. 2004 apresentou índices de precipitação quase insignificantes e um pico extremamente alto em setembro (0,3 na escala). Em 2005, os

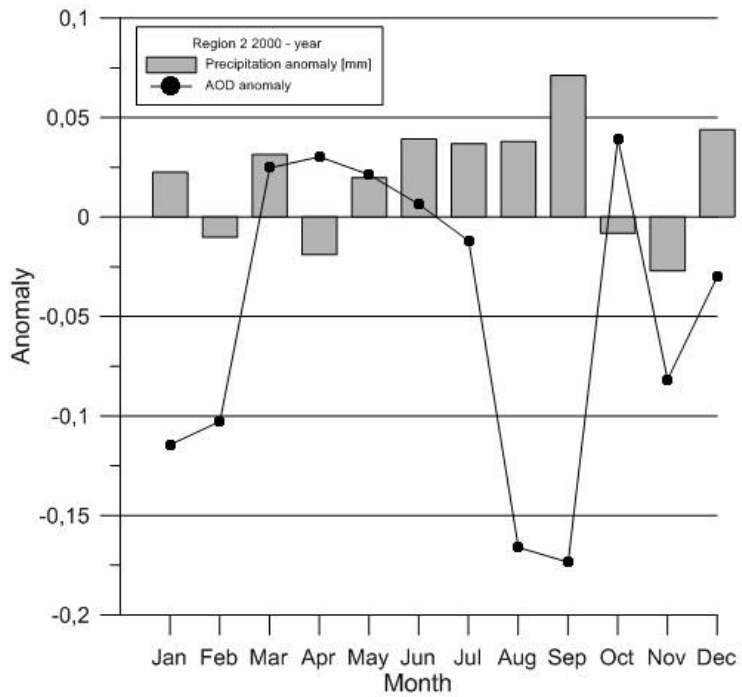
índices de AOD aumentam (aproximadamente 0,4 na escala) e os de precipitação são muito baixos, não alcançando 0,1 na escala. Para os meses de estação chuvosa do ano de 2006, são atingidos índices altos na anomalia de precipitação e para o decorrer do ano, uma baixa anomalia de AOD. Em 2007 temos o oposto do ocorrido em 2006: uma baixa anomalia de precipitação e um pico muito alto para a profundidade óptica, acima de 0,4 na escala. Os anos de 2008 e 2009 apresentaram baixos níveis de precipitação e AOD.

O ano de 2010 obteve um pico positivo de AOD alto, atingindo quase o valor de 0,4 na escala. Já a precipitação foi baixa (negativa durante quase todo o ano) e 2011, o nível de AOD foi negativo para o ano todo, com pico para o mês de agosto, e a anomalia de precipitação apresentou-se baixa também para o decorrer do ano, não atingindo 0,1 na escala.

Em 2012, nota-se uma decaída na anomalia de AOD entre os meses de abril até setembro. Em outubro, sofre um aumento, porém não atinge 0,02 na escala e volta a diminuir no mês seguinte, desta vez, alcançando o maior pico negativo de AOD para o mês de dezembro (aproximadamente -0,08 na escala). Quanto à anomalia de precipitação, verificam-se picos positivos, não ultrapassando, entretanto, o valor de 0,05 na escala.

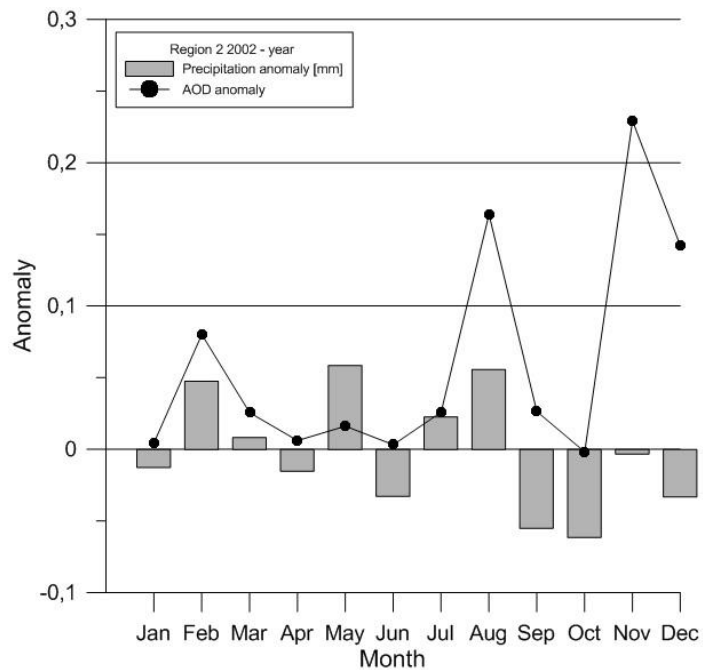
A profundidade óptica do aerossol para o ano de 2013 foi muito baixo, ocorrendo alguns picos referentes aos meses de estação seca. A anomalia de precipitação foi positiva, porém com níveis baixos, não atingindo 0,1 na escala.

Figura 3 – Região 2, ano 2000.



Fonte: Autor

Figura 4 – Região 2, ano 2002.



Fonte: Autor.

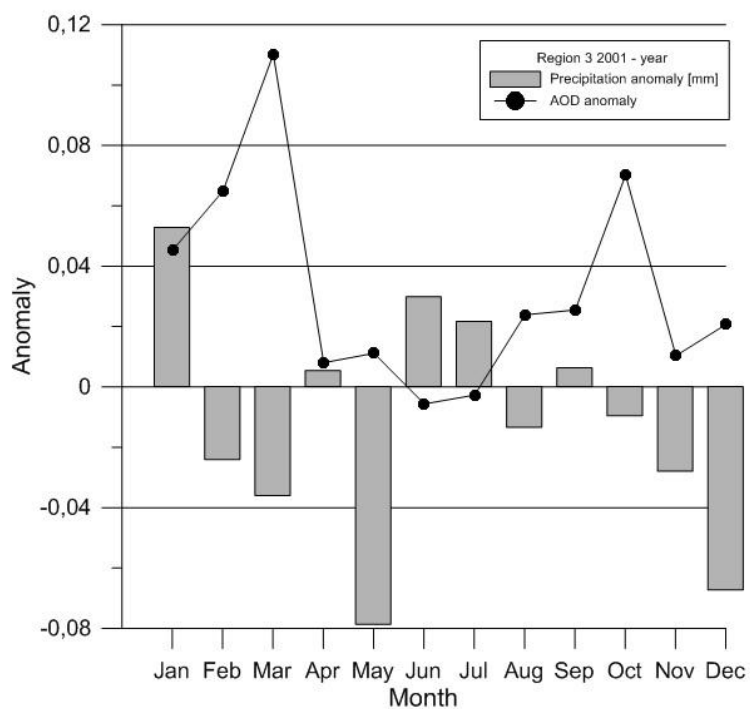


### 3.3 Região 3: Leste da base da Amazônia

Num geral, temos para esta região próxima a Belém no Pará, índices elevados na anomalia de aerossol, com picos positivos geralmente se opondo aos picos negativos na anomalia de precipitação. Para 2000, observa-se um pico positivo de AOD no mês de março ( $\approx 0,15$ ), acompanhada de uma anomalia de precipitação positiva que se estende de janeiro a maio e decai durante os meses de estação seca. Em 2001, novamente observamos uma anomalia de AOD bastante positiva, com picos em março ( $\approx 0,12$ ) e outubro ( $\approx 0,08$ ). Ainda é observado que, quando temos picos de AOD, temos um pico inverso de precipitação. 2002 apresenta dois picos positivos de AOD em fevereiro e maio e um leve pico positivo durante o mês de agosto. Novamente, picos positivos são observados para os picos negativos da anomalia de precipitação. Para 2003, observamos uma anomalia de precipitação negativa durante quase todo o ano, enquanto ocorre uma anomalia positiva de AOD. Verifica-se uma anomalia de precipitação positiva em 2004 entre os meses de janeiro a maio. Em seguida, esta decai para os meses de estação seca, obtendo ao mesmo tempo, uma elevação nos índices de AOD, atingindo um valor acima de 0,04 na escala. Para 2005, temos dois picos negativos destaque na anomalia de precipitação nos meses de janeiro ( $\approx -0,12$ ) e junho ( $\approx -0,08$ ) e três picos positivos, que são um pouco maiores em comparação aos outros picos para este mesmo ano. Em 2006 temos três picos de precipitação que ocorrem nos meses de abril, maio e junho, com um pico negativo para o AOD em setembro. Para o ano de 2007 é observado um pico positivo de AOD ( $\approx 0,08$ ) e um leve pico negativo para a precipitação. Ambos para o mês de setembro. 2008 apresenta um pico negativo de AOD ( $\approx -0,08$ ) e um pico positivo na anomalia de precipitação também de aproximadamente 0,08 mm na escala para o mês de março. 2009 apresentou um pico positivo de AOD durante o mês de maio, atingindo um valor aproximado de 0,08 na escala. No mês anterior ao aumento de aerossol, em abril, tivemos um pico negativo de precipitação que ultrapassou o valor de 0,12 negativo na escala. Para os meses no início do ano de 2010 (janeiro, fevereiro e março), observa-se uma anomalia de precipitação negativa ( $\approx 0,10$  mm na escala). Em seguida, temos um salto positivo na anomalia de AOD em abril ( $\approx 0,06$ ) e também na anomalia de precipitação ( $\approx 0,08$  mm) para o mês de estação seca de setembro, alcançando o valor aproximado de 0,06; enquanto temos uma anomalia de precipitação entre 0 – 0,1 mm. Durante a maior parte do ano de 2011, verifica-se uma anomalia de precipitação positiva com picos de AOD contrários ao aumento da precipitação. Para

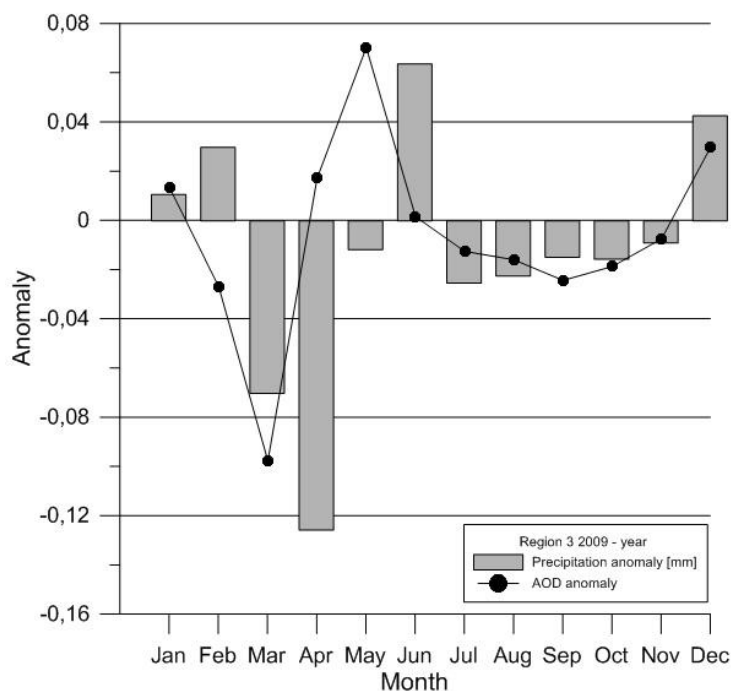
2012, encontramos uma forte anomalia de precipitação negativa nos meses compreendidos de março a junho, entretanto, o índice de AOD é quase nulo, podendo outros fatores explicar o ocorrido. 2013 inicia-se com uma anomalia de precipitação negativa entre os meses de janeiro a abril, seguido de uma anomalia de AOD também negativa.

Figura 5 – Região 3, ano 2001.



Fonte: Autor.

Figura 6 – Região 3, ano 2009



Fonte: Autor.

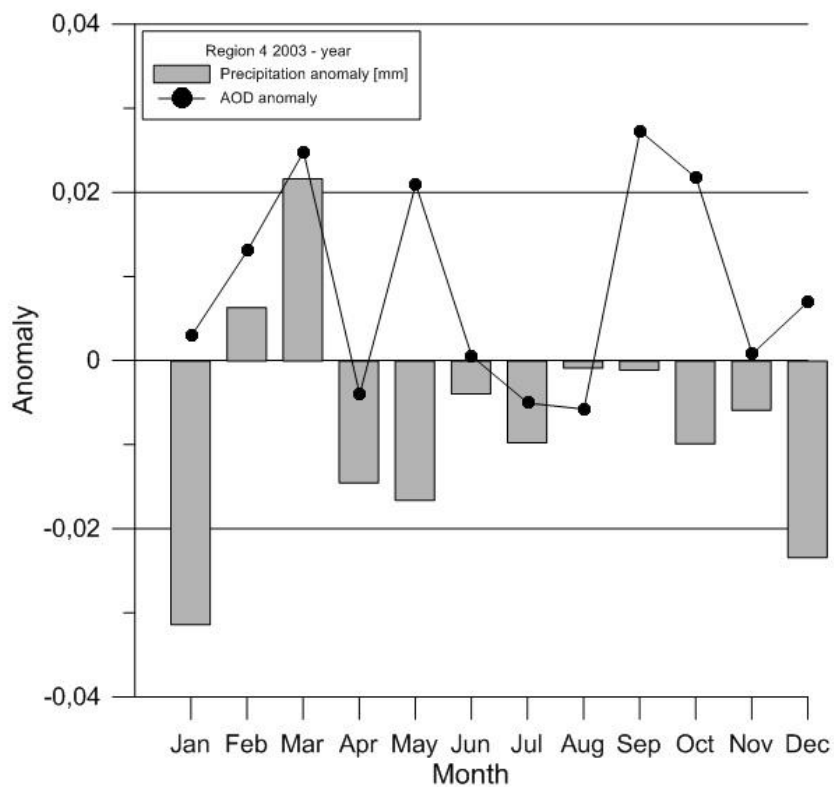
### 3.4 Região 4: Região Nordeste

Esta região demonstrou uma grande variabilidade para a anomalia de precipitação e também algumas oscilações de amplitude nos picos das anomalias da profundidade óptica do aerossol e da precipitação. Alguns anos seguidos apresentaram certa semelhança nas anomalias.

Para o ano de 2000, tivemos uma anomalia de AOD baixa, seguida por uma anomalia de precipitação positiva de aproximadamente 0,06 mm. Em 2001, a precipitação obteve uma anomalia negativa e o AOD teve um leve pico positivo em março, julho e dezembro. 2002 obteve um pico positivo um pouco elevada no mês estação chuvosa – janeiro (aproximadamente 0,08 mm na escala) - com um AOD baixo e um pico negativo em setembro (mês de estação seca). O ano de 2003 apresentou oscilações nas amplitudes dos picos positivos e negativos das anomalias de AOD e precipitação. Para o mês de maio, tivemos um pico positivo de AOD (0,02) e negativo de precipitação (aproximadamente -0,015 mm na escala). Com um maior pico positivo de AOD em setembro (aproximadamente 0,03) e um pico negativo na anomalia de precipitação em janeiro (aproximadamente -0,03 na escala), temos a predominância para este ano de uma anomalia positiva de AOD. 2004 apresentou índice de AOD muito baixo (quase nulo) e de precipitação também muito baixo, exceto para o mês de janeiro,

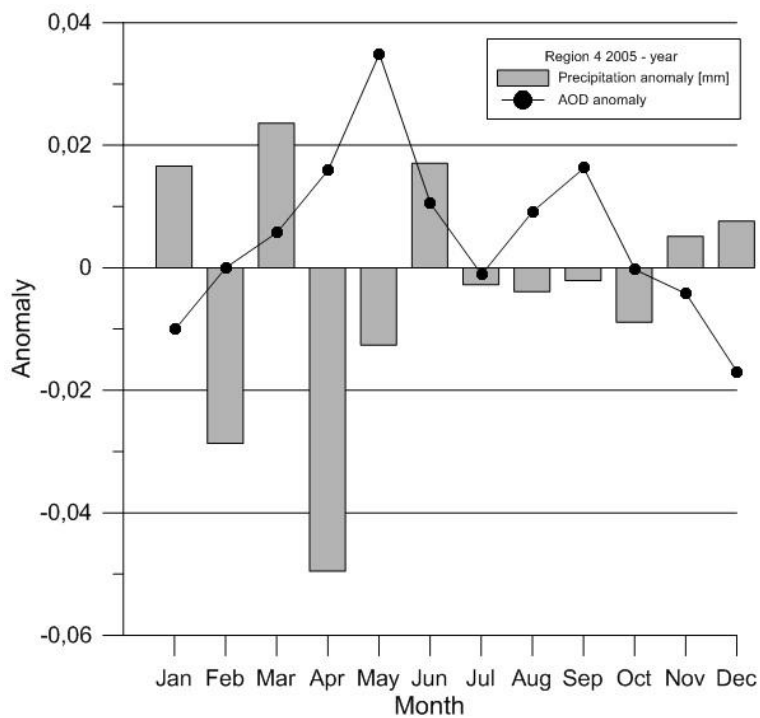
ultrapassando uma anomalia positiva de 0,2 mm na escala. Em 2005, observamos novamente as oscilações das amplitudes entre os picos de AOD e precipitação. Para o mês de maio, tivemos um pico positivo na anomalia do aerossol e ainda para este mesmo mês, um pico negativo para a anomalia de precipitação, condizendo com o que diz na literatura. Observa-se ainda um segundo maior pico positivo de AOD para o mês de setembro com uma precipitação baixa para os meses de estação seca. Em 2006, num geral, o AOD apresenta-se com baixos índices, não ultrapassando 0,02 na escala. 2007 apontou o maior índice de precipitação para o mês de fevereiro (aproximadamente 0,14 mm na escala), porém, para o resto do ano, esta anomalia é baixa, com um índice de AOD quase nulo, com apenas um leve pico positivo de 0,02 em setembro. Para 2008, temos um índice elevado de precipitação para o mês de março ( $\approx 0,14$  mm na escala) e um índice de AOD baixo. Para o ano de 2009 a anomalia de precipitação é um pouco maior em relação aos outros anos. Temos dois grandes picos positivos de precipitação nos meses de abril e maio, com um índice de AOD é baixo para o ano todo. Em 2010, ocorre uma oscilação de amplitude crescente na anomalia da profundidade óptica, com maior pico em outubro, ultrapassando o valor de 0,04 na escala. A precipitação apresenta dois picos negativos (fevereiro e março) com os valores aproximados de -0,05 e -0,03 mm na escala respectivamente e dois picos positivos em outubro e dezembro ambos com valor de 0,03 mm. 2011 apresentou quatro grandes picos de precipitação para os meses de janeiro, fevereiro, abril e outubro, porém com índices de AOD baixos, com um pico positivo atingindo apenas o valor de 0,02 na escala. O ano de 2012 pode ter sido talvez o ano mais seco para esta região, com índices da anomalia de precipitação muito negativos para praticamente todo o decorrer do ano e índices de AOD baixos, com apenas um pico positivo em setembro (0,02 na escala). Para 2013, semelhante ao ocorrido no ano anterior, a anomalia de precipitação é baixa para os meses de janeiro, fevereiro e março. A anomalia de AOD apresentou dois picos, também negativos, para os meses de abril e outubro.

Figura 7 – Região 4, ano 2003.



Fonte: Autor.

Figura 8 – Região 4, ano 2005.



Fonte: Autor.

#### 4 – CONCLUSÕES

Devido às diferentes localidades entre as regiões estudadas, foi analisada a possibilidade da influência ou não de alguns fenômenos climáticos como o El Niño, a La Niña ou a Zona de Convergência Intertropical na concentração de AOD e na taxa de precipitação. O ponto chave deste trabalho consiste em comparar os resultados obtidos a respeito da profundidade óptica do aerossol e da precipitação em regiões afetadas pela queima de biomassa com os da literatura, que diz que o aumento de aerossóis na atmosfera, aumenta a disputa por vapor de água e conseqüentemente, diminui a eficiência na formação de gotículas de chuva para precipitação. Num geral, para ambas as regiões, isto é observado, notando-se apenas algumas variações devido a fatores geográficos, que favorecem a possibilidade da ocorrência de fenômenos climáticos, como para a Região 1 e a Região 3, próxima a cidade de Belém, por exemplo. Para a parte central da Amazônia (Região 2), são observados níveis da anomalia de precipitação positiva consideráveis para os primeiros anos estudados de 2000 a 2002. Posteriormente, a anomalia da profundidade óptica começa a se elevar e a precipitação decai. E por fim, para a Região Nordeste, apesar de sua grande variabilidade climática, são observadas algumas oscilações de amplitude nos picos das anomalias da profundidade óptica do aerossol e da precipitação, também condizendo com a literatura. Em processo de estudo, estamos analisando a possível alteração química dos aerossóis, devido aos diferentes tipos de vegetação e o processo de desmatamento e queima que se, realizado de diferentes formas, pode alterar a composição química do aerossol emitido para a atmosfera, alterando conseqüentemente, a espessura óptica dos aerossóis.

#### 5 – BIBLIOGRAFIA

ARTAXO, P.; Efeitos Climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3a, p.1-5, 3 abr. 2006.

PAULIQUEVIS, T. et al. , O papel das partículas de aerossol no funcionamento do ecossistema amazônico. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.59, n.3, p.1-6, set. 2007.

TORRES, O. et al. OMI and MODIS observations of the anomalous 2008–2009 Southern Hemisphere biomass seasons. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 16 abr. 2010.

FREITAS, S. et al. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.19, n.53, p.1-7, jan./abr.2005.

SAMPAIO, G.; **O El Niño e Você: o Fenômeno Climático**, Editora Transtec, 1999.

BORMA, S. L. et al. **Secas na Amazônia: causas e consequências**, Editora Oficina de Textos, São Paulo-SP, p. 117-121, 2013.

ROSÁRIO, N. E. et al., Downwelling solar irradiance in the biomass burning region of the southern Amazon: Dependence on aerosol intensive optical properties and role of water vapor, **Journal of Geophysics.**, p.116, 2011.

FREITAS, SR, et al., Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. *Environ. Fluid. Mech.*, ,p.135-167, 2005.

VENDRASCO, E.P. et al., A case study of the direct radiative effect of biomass burning aerosols on precipitation in the Eastern Amazon. **Atmos. Research** 94, pp. 409-421, 2009.

YAMASOE, M. A. et al., Effect of smoke and clouds on the transmissivity of photosynthetically active radiation inside the canopy, **Atmospheric Chemistry and Physics**, vol.6, p.1645–1656, 2006.

ACKER, J. G., et al. **Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data.**

2008. Disponível em < <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni> >

SETZER, A. W. et al. Sources and Transport of Urban and Biomass Burning Aerosol Black Carbon at the South-West Atlantic Coast, **Journal of Atmospheric Chemistry**, v.10, p.225-238, 2007.

ROSENFELD, D. et al., Long-term impacts of aerosols on the vertical development of clouds and precipitation, **Nature Geosciences**, vol.4, p.888-894, 2011.

ROCHA, V. R. et al., Estudo da variabilidade temporal da profundidade óptica do aerossol obtida com o MODIS sobre a região amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol.28, p.307-314, 2013.

ROSENFELD, D., et al., Aerosol-cloud-precipitation interactions: Part 1. The nature and sources of cloud-active aerosols, **Earth-Science Reviews**, vol.89, p.13-41, 2008.