



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Estudo da dispersão de monóxido de carbono (CO) emitido através da queima de cana-de-açúcar, no estado de Alagoas

Ricardo Antonio Mollmann Junior¹, Rosiberto Salustiano da Silva Junior², Heliofábio Barros Gomes², Marcos Antônio Lima Moura².

¹Mestrando em Meteorologia no Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas – ICAT/UFAL, Maceió, Alagoas – Brasil. Email: mollmann_r@hotmail.com.br, ² Prof. Dr. Departamento de Meteorologia do Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas - ICAT/UFAL, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária - Maceió, Alagoas – Brasil. Email: rosibertojr@gmail.com, heliofab@gmail.com, malm@ccen.ufal.br.

Artigo recebido em 10/04/2013 e aceite em 10/09/2013

RESUMO

O estado de Alagoas é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar no Brasil e faz uso da prática das queimadas para auxiliar na colheita da cana-de-açúcar. O módulo químico do modelo atmosférico WRF (WRF/CHEM – Weather Research Forecasting/CHEMistry), possibilitou as análises de concentração e dispersão do gás traço Monóxido de Carbono (CO), oriundos de focos de queimadas detectados operacionalmente no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pelo sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) presente no satélite AQUA da National Aeronautics and Space Administration (NASA), entre os dias 1 a 6 de novembro de 2011. Para avaliar a dispersão foi utilizada a direção e a velocidade do vento a 10 metros de altura, no sentido de estimar o destino da pluma de gás emitida pela queimada. Verificou-se que o CO pode afetar a qualidade do ar local ao assumir altas concentrações a poucos quilômetros da fonte de emissão (cerca de 3000 ppbv). Porém, com a dispersão do gás promovida pelo vento, é possível ver concentrações próximas a 800 ppbv, pelo menos a 100 km da fonte de emissão.

Palavras-chave: queimadas, cana-de-açúcar, modelagem atmosférica, poluição atmosférica, sensoriamento remoto.

Study of the dispersion of carbon monoxide (CO) emitted through the burning of cane sugar, in the state of Alagoas

ABSTRACT

The state of Alagoas is one of the largest producers of sugar cane in Brazil and makes use of the practice of burning to help harvest sugar cane. The chemical module of the atmospheric model WRF (WRF/CHEM - Research Weather Forecasting/Chemistry), allowed the analysis of the concentration and dispersion of trace gas carbon monoxide (CO), arising from burning source detected operationally at the National Institute for Space Research (INPE), for the MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) sensor present in the National Aeronautics and Space Administration (NASA) AQUA satellite, between days 1 to November 6, 2011. For dispersion evaluation, it was used wind direction and speed at 10 meters high, in order to estimate the destination of the gas plume emitted by the sugar cane burn. It was seen that the CO can affect local air quality by taking high concentrations within a few miles of the emission source (about 3000 ppbv). However, with the gas dispersion promoted by the wind, it is possible to see concentrations about 800 ppbv at least 100 km from the emission source.

Keywords: fires, sugarcane, atmospheric model, pollution atmospheric, remote sensing.

Introdução

Estudos sobre os efeitos da poluição atmosférica oriundas da queima de biomassa durante o processos de colheita rudimentar são

muito menos frequentes em comparação aos conduzidos por fontes automotivas e industriais (Long et. al., 1998 apud Mazzoli-Rocha et. al., 2008; Phonboon et al., 1999; Arbex et al., 2000).

Porém em países como o Brasil, principalmente em regiões em que há a

* E-mail para correspondência:

mollmann_r@hotmail.com (Mollmann Junior, R. A.).

produção de culturas como a cana-de-açúcar, onde a queima antes da colheita é uma prática comum, é de extrema importância a elaboração de estudos que caracterizem a influência das emissões para a qualidade do ar, tendo em vista que a queima de biomassa é um dos principais contribuintes para a emissão de gases tóxicos e partículas na atmosfera.

O fogo é amplamente utilizado na plantação de cana-de-açúcar para a queima das palhas e promoção da limpeza do canavial, facilitando para o trabalhador rural o corte e manejo dessa vegetação. As regiões Sudeste e Nordeste do Brasil são ressaltadas em relação a esse problema, onde o uso de queimadas de cana-de-açúcar se faz de maneira programada, sendo utilizada para facilitar a colheita.

De acordo com o Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas (Sindaçúcar/AL), o estado é um dos principais produtores da cultura de cana-de-açúcar do país, sendo o maior da região Nordeste, atingindo no ano de 2011 uma produção de 27.601.442 mil toneladas de cana.

Atualmente, estudos referentes ao comportamento meteorológico e químico de fontes de poluição incluindo queima de biomassa, vêm sendo tratados por meio de modelos computacionais acoplados que simulam os impactos causados na atmosfera de determinadas emissões por diversos poluentes. Uma das grandes dificuldades dos modelos que estudam a dispersão dos poluentes seria a determinação dos focos de queimadas e a taxa de emissão do poluente para a atmosfera.

Grell et al. (2010), em um estudo para determinar os impactos da queima de biomassa no Alasca, fizeram a inclusão de um modelo de emissão por queima de biomassa, Brazilian Biomass Burning Emission (3BEM), que se baseia em produtos de sensoriamento remoto em tempo quase real para determinar as emissões de queimadas (Freitas et al., 2005; Longo et al., 2007). No 3BEM as emissões de fogo são atualizadas à medida que são disponíveis, e são distribuídas espacial e temporalmente de acordo com os locais de

queimadas obtido por sensoriamento remoto (oriundos dos sensores AVHRR, MODIS e GOES-12).

Setzer e Pereira (1991), implementaram de forma operacional no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a técnica de detecção de focos de queimadas na região de cerrado e floresta tropical no Brasil, usando o radiômetro AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), a bordo da série de satélites NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). São processadas operacionalmente, na Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) do INPE, as imagens AVHRR dos satélites polares NOAA-15, NOAA-16, NOAA-18 e NOAA-19, as imagens MODIS dos satélites polares NASA: TERRA e AQUA, as imagens dos satélites geostacionários GOES-12, GOES-13 e MSG-2. Atualmente, o satélite de referência utilizado para a obtenção dos focos de queimadas são produtos do sensor MODIS presente no satélites da NASA, AQUA.

Assim, este trabalho teve o objetivo de analisar a dispersão do poluente Monóxido de Carbono (CO), pela ação do vento, emitido por queimadas de cana-de-açúcar no estado de Alagoas, através de simulações feitas pelo modelo WRF/CHEM com os focos de queimadas extraídos por sensoriamento remoto.

Material e Métodos

Área de estudo - O estado de Alagoas se localiza na região Nordeste do Brasil entre as latitudes 08°48'47" S e 10°30'09" S e as longitudes 35°09'09" W e 38°14'27" W, contendo uma área de 27.778,506 km² e uma população de 3.120.494 habitantes (IBGE, 2010). Seu território apresenta três mesorregiões, correspondentes ao Agreste, Litoral e Sertão (Figura 1).

Considera-se que os regimes de vento resultam da sobreposição de mecanismos atmosféricos nas escalas global, sinótica e de mesoescala (Rohatgi et al., apud Atlas Eólico do Estado de Alagoas, 2008).

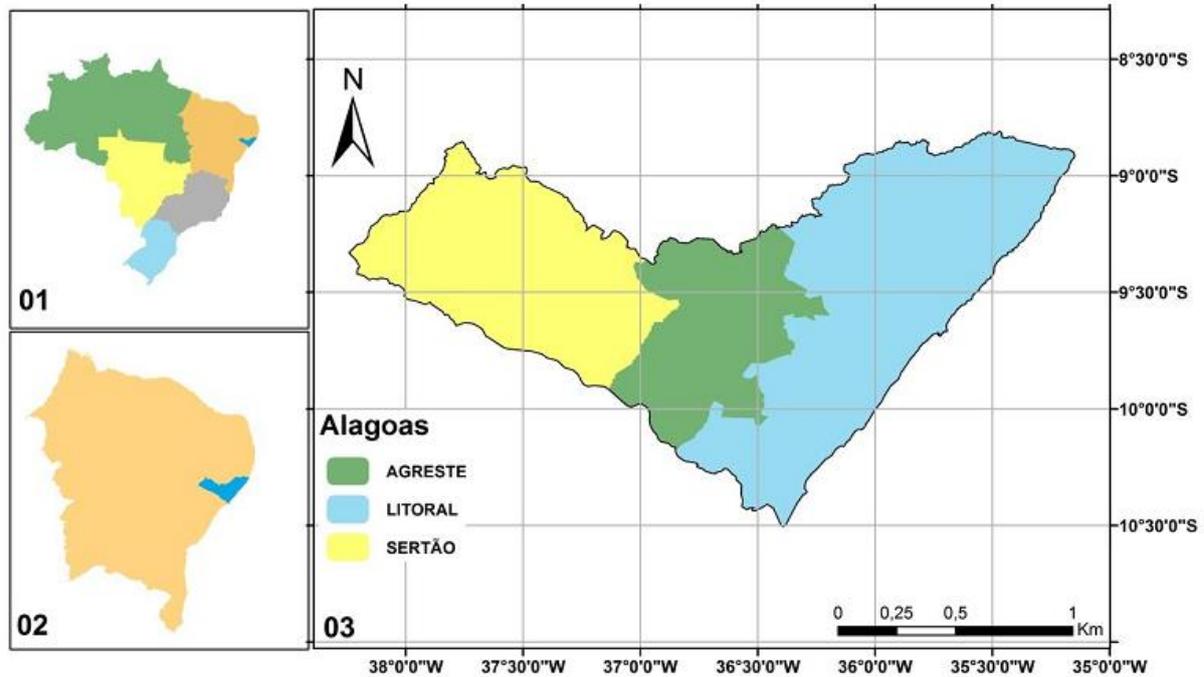


Figura 1. Localização do Estado de Alagoas na região Nordeste do Brasil, com suas mesorregiões Agreste, Litoral e Sertão. Fonte: Ramos, D. N. S. (2012).

Pode-se considerar que os regimes de vento resultam da sobreposição de mecanismos atmosféricos nas escalas global, sinótica e de mesoescala (Rohatgi et al., *apud* Atlas Eólico do Estado de Alagoas, 2008). Quanto aos mecanismos globais, o estado de Alagoas situa-se na área de influência dos ventos alísios, resultando em ventos de relativa constância, e com acentuada ocorrência das direções sudeste e leste. Aos ventos alísios, sobrepõe-se a influência sinótica do centro de alta pressão do Atlântico. Quanto aos mecanismos de mesoescala, o Estado é influenciado por diversos fenômenos, tais como brisas marinhas, terrestres e lacustres, brisa montanha-vale e jatos noturnos. Eles são responsáveis por variações locais significativas no regime de vento, devido à diversidade de características do terreno, tais como geometria, altitude, obstáculos, cobertura vegetal, albedo e existência de grandes extensões de massas d'água (Atlas Eólico do Estado de Alagoas, 2008, p. 30).

As mesorregiões do estado de Alagoas (Litoral, Agreste e Sertão) diferem tanto no clima quanto no relevo. Deste modo, cada um apresenta também particularidades no regime de vento. Para o Litoral, a velocidade do vento tende a aumentar à medida que se aproxima o verão, com pico máximo na primavera (setembro), e tende a diminuir à medida que se

aproxima o inverno, com pico mínimo no outono (abril). A direção média do vento é predominantemente entre Leste e Sudeste. Para o Agreste, nota-se que as médias de velocidade do vento foram superiores as observadas no Litoral, e a direção média do vento mostra predominâncias de Leste, com poucas ocorrências de vento Sul, sendo que a tendência de ventos da direção Leste foi maior em comparação com o Litoral. As maiores velocidades do vento observado ocorreram a partir de maio, quando a predominância de vento mudou de Leste para Sul, atingindo seu máximo quando a direção voltou à tendência de Leste (julho), enquanto as menores velocidades ocorreram no final do primeiro trimestre do ano (março e abril), com ventos também na direção Leste. Já o Sertão apresenta um padrão um pouco peculiar já que se mostra a direção do vento com predominâncias entre Sudeste e Sul ao longo do ano, o que se mostra bastante diferente dos padrões das outras duas regiões (Brito-Costa et al., 2012).

A mesorregião do Litoral (Figura 1) ocupa uma parte do pediplano alagoano, do litoral e da região do planalto, consistindo originalmente em florestas tropicais e mangues

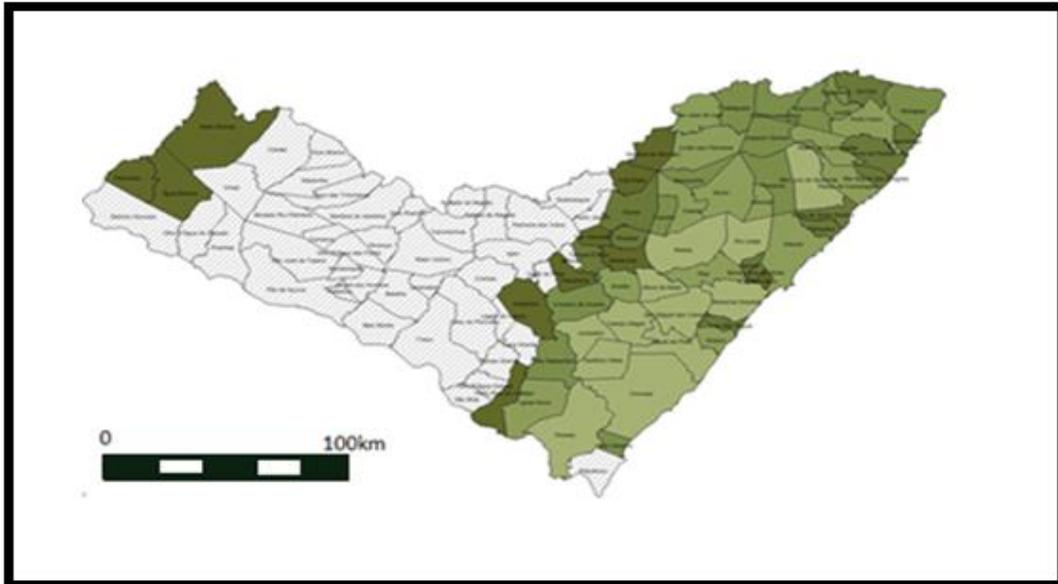


Figura 2. Mapa da área canvieira no Estado de Alagoas. Fonte: IBGE - Produção agrícola municipal – 2010.

(Figura 2). Nessa região se encontram grande quantidade de canaviais presentes no estado, devido à predominância de solos ricos em humos, além das temperaturas (média de 24°C) e do regime pluviométrico (1.400 mm/ano).

Configuração do modelo - Conforme descrito no Portal de Queimadas do INPE, para a detecção dos focos de queimadas é feita a análise em que um material em chamas, ou seja, em um processo de queima de biomassa é emitido energia principalmente na faixa termal-média de 3,7 μ m a 4,1 μ m do espectro óptico. Utilizam-se as imagens que tenham esta faixa característica e nelas selecionam-se os píxeis (elementos de resolução) com maior temperatura, em geral saturando o sensor. Para esse estudo foram usados dados de queimadas do satélite de referência AQUA (Figura 3).

O Portal de Monitoramento de Queimadas do INPE disponibiliza um banco de dados com informações de focos de calor processados dos satélites, com informações do momento exato em que foi identificada a queimada e a coordenada geográfica (latitude e longitude) do foco. As coordenadas dos focos de queimadas identificadas pelo satélite de referência (AQUA) em Alagoas no período entre os dias 1 e 6 de Novembro de 2011, foram transformadas em ponto de grade e assim georreferenciadas e inseridas no modelo WRF/CHEM.

O modelo WRF/Chem é um modelo meteorológico acoplado com um módulo

químico, que possibilita fazer testes de dispersão de poluentes utilizando um traçador atmosférico. O modelo foi configurado com um domínio de 81 x 81 pontos em x e y, 27 níveis verticais e uma resolução de 5 km², suficiente para cobrir todo o estado de Alagoas. As simulações foram feitas para um intervalo de 120 horas, entre os dias 01 e 06 de novembro de 2011.

O poluente químico usado como gás traçador foi o Monóxido de Carbono (CO). A escolha do CO para análise da simulação se deve ao fato do mesmo ser um poluente produzido pela combustão incompleta na queima de biomassa e de combustíveis fósseis, além de ser pouco reativo depois de emitido na atmosfera. O CO é um gás tóxico incolor e inodoro. Quando a fonte emissora é a queima de biomassa, o CO é produzido principalmente no início da combustão com ausência de chamas.

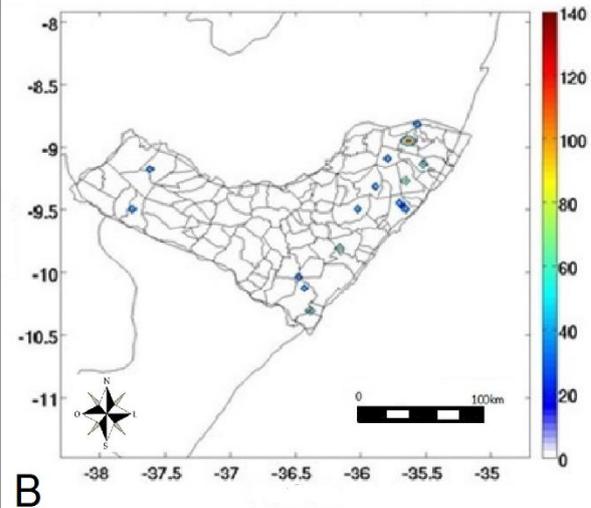
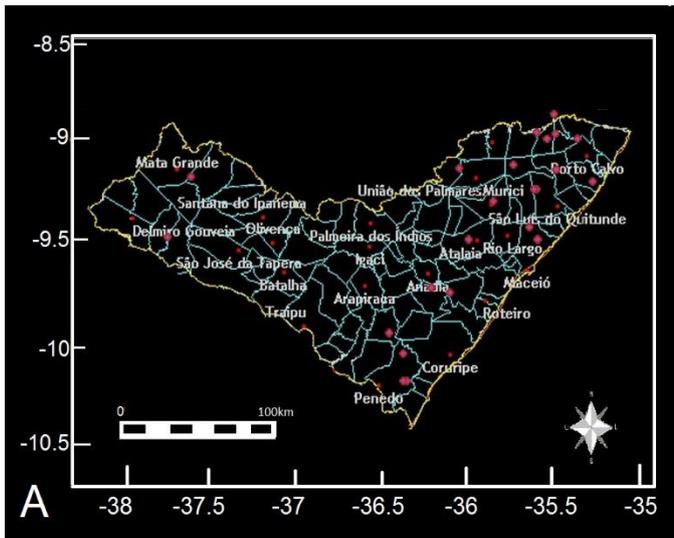
Além de definir o posicionamento dos focos de queimadas, também foi necessário calcular a quantidade emitida de CO. A quantidade emitida de Monóxido de Carbono em cada foco de queimada foi obtida através do método definido por Freitas et al. (2005) e Longo et al., (2007), este método determina que para cada foco a massa do traçador emitida é calculada pela equação (1), que leva em consideração os valores estimados para a quantidade de biomassa acima do solo disponível para a queima (α), o fator de

combustão (β) e o fator de emissão (E_f) para uma determinada espécie $[\eta]$, tendo em conta o tipo de vegetação, e a área de gravação (a) para cada evento de queima.

$$M_{[\eta]} = \alpha_{veg} \cdot \beta_{veg} \cdot E_f^{[\eta]} \cdot a_{fire} \quad (1)$$

Os parâmetros (α_{veg} , β_{veg} , $E_f^{[\eta]}$) adotado neste estudo são baseados em valores propostos em estudos referentes ao processo de queima de cana-de-açúcar, sendo: o fator de

emissão (E_f) para o CO igual a 28,3 g/kg, é estabelecido de acordo com Yokelson et al. (2008); a quantidade de biomassa acima do solo disponível para a queima (α), é baseado no estudo de Lara et al. (2001), onde afirma que anualmente, aproximadamente 20 toneladas de palha de cana-de-açúcar é queimada por hectare; o Fator de Combustão (β) utilizado é igual 0,8, valor utilizado por Figueiredo et al. (2010) para estimar a emissão de gases do efeito estufa associados à produção de cana-de-açúcar, sendo a área de queimada (a_{fire}) a área da grade do modelo.



Resultados e Discussão

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos das simulações com o modelo WRF/CHEM, com os ajustes em termos de posicionamento dos focos de queimadas e estimativas feitas quanto a emissão de CO por queima de biomassa, para os 5 dias de análise do mês de novembro de 2011.

Caracterização da Dispersão do Poluente – Observar-se no princípio das emissões de CO dos focos de queimadas no estado de Alagoas para todos os dias de análise, que a grande maioria estão próximas a mesorregião do litoral alagoano. Esse fato é comum no estado devido às variações das condições climáticas, principalmente de temperatura do ar e umidade relativa do litoral em comparação ao interior do Estado. É visto ainda a existência de focos mais intensos, como o encontrado no litoral norte do **Figura 5**. Concentração de Monóxido de Carbono (CO) às (A) 01h00min, (B) 13h00min e (C) estado 19h00min do dia 01 de Novembro de 2011 e para o dia 02 de Novembro de 2011 (D) 01h00min, (E) (8.97° S; - 13h00min e (F) 19h00min.

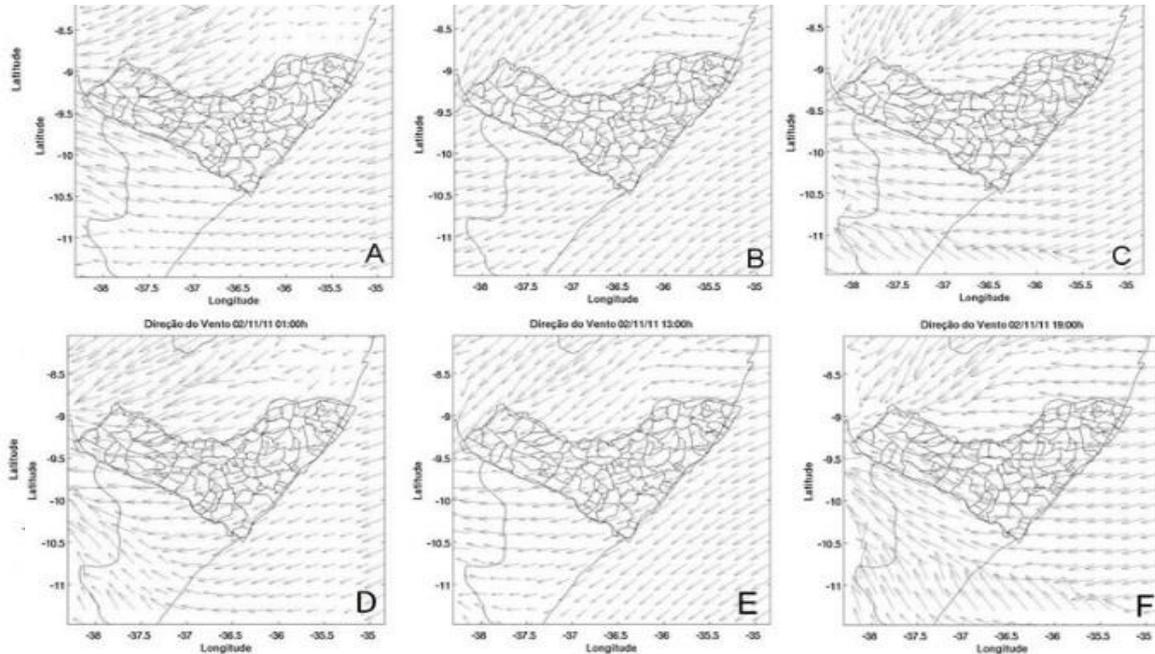
35.59°W), o que sugere a maior quantidade de queimadas no litoral norte em comparação a outras localidades da área de estudo.

Para os dias 01 e 02 de novembro de 2011 é observado o mesmo padrão para às 13 horas (Figura 5B e 5E) dos dias mencionados. Onde se observou a dispersão da concentração de CO na faixa litorânea do estado (sentido Nordeste-Sudoeste), em resposta ao padrão do vento da região para hora em questão (Figura 6B e 6E), levando assim o gás traço consigo através do litoral de Alagoas até o estado de Sergipe, a cerca de 110 km da fonte de emissão em altas concentrações, próximas a 1500 ppbv no estado vizinho. Porém às 19 horas (Figura 6C e 6F) nos dois dias, o vento se altera para um padrão zonal, sentido Leste-Oeste, observando assim a concentração de CO também no interior de Alagoas, próxima a 500 ppbv,

ultrapassando 200 km de distância da fonte (Figura 5C e 5F). Na primeira hora do dia 02/11/11(Figura 6D), percebe-se este padrão zonal do vento atuando sobre Alagoas, e com

isso a concentração de CO que é emitida no litoral norte do estado se desloca em direção ao interior (Figura 5).

Figura 6. Direção do Vento a 10 metros de altura às (A) 01h00min, (B) 13h00min e (C) 19h00min do dia 01 de Novembro de 2011, e para o dia 02 de Novembro de 2011 às (D) 01h00min, (E) 13h00min e (F) 19h00min.



No dia 03 de novembro de 2011 (Figura 8), o padrão zonal do vento se soma aos ventos alísios, com as direções dos ventos soprando de sudeste para o noroeste, no sul do estado, principalmente às 19 horas. As concentrações de CO são bem correlacionadas ao padrão do vento nesse dia, onde é possível notar altas concentrações de CO (próximas a 3000 ppbv) no litoral norte do estado tanto a 01 e 13 horas (Figura 7A e 7B), associado à diminuição dos ventos naquela região (Figura 8A e 8B), o que acarretou em pouca dispersão

do poluente, e conseqüentemente alta concentração por muito mais tempo. É possível analisar uma região de confluência de ventos até o Sertão de Alagoas, que faz com que o poluente emitido naquela região seja rapidamente disperso para fora do estado (Figura 7B e 8B). Ao final do dia, é possível ver o aumento no padrão dos alísios. Isso faz com que a dispersão agora se dê em direção ao estado de Pernambuco, fazendo as maiores concentrações do gás se deslocar para fora do estado (Figura 7C e 8C).

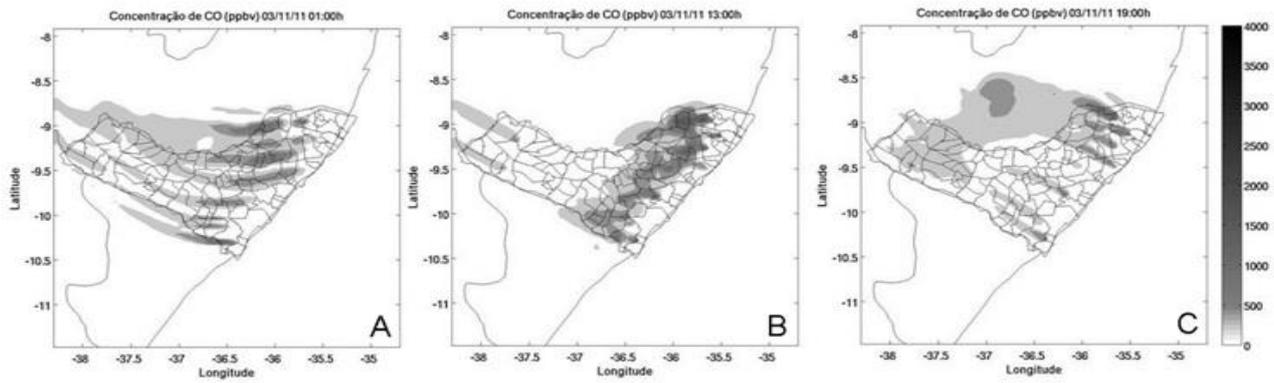


Figura 7. Concentração de Monóxido de Carbono (CO) para o dia 03 de Novembro de 2011 as (A) 01h00min, (B) 13h00min e (C) 19h00min.

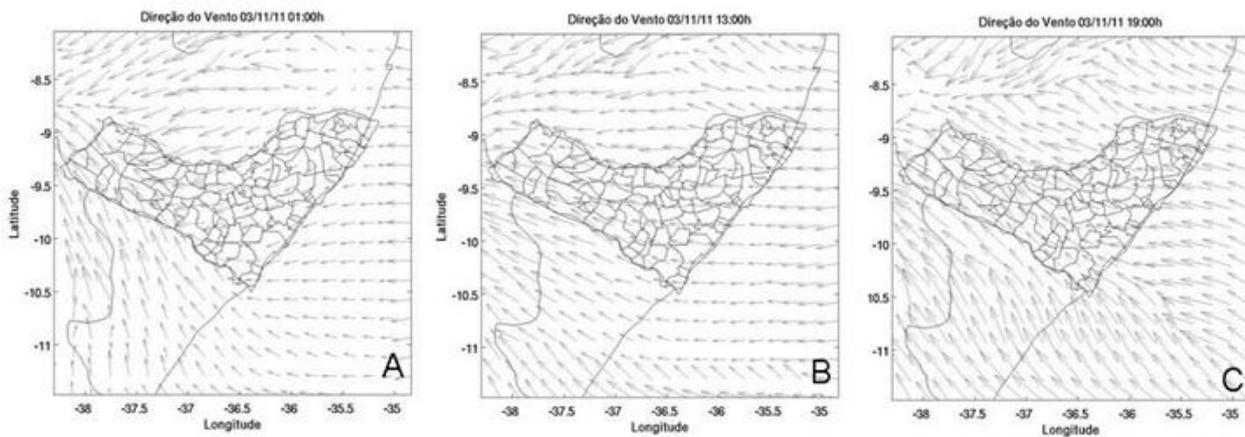


Figura 8. Direção do Vento a 10 metros de altura, para o dia 03 de Novembro de 2011 as (A) 01h00min, (B) 13h00min e (C) 19h00min.

No dia 04 de novembro de 2011, pode-se ver focos menos intensos de queimadas há 01 hora (Figura 9A), onde as regiões com maiores concentrações de CO (litoral norte) possuem valores máximos de concentração, porém no campo de direção dos ventos para o mesmo horário, pode-se comprovar que é a mesma região onde os vetores dos ventos estão menos intensos, justificando assim a pouca dispersão da concentração de CO (Figura 9A). Para as 13 horas do dia 04 e às 01 e 13 horas do dia 5 (Figura 10B, 10D e 10E) o vento assume o padrão de alísios, de Sudeste para Noroeste, porém sem intensidade suficiente para uma

dispersão significativa do poluente, e assim assumindo altos valores de concentração próximos as fontes das queimadas (Figura 9B, 9D e 9E). Às 19 horas do dia 04/11/11 (Figura 10C), os ventos alísios se tornam intensos sobre o território de Alagoas, fazendo com que o material poluente que anteriormente estava em altas concentrações, se disperse em direções aos estados mais ao norte, podendo analisar a chegada do mesmo ao estado de Pernambuco e Paraíba, em concentrações de 200 a 800 ppbv (Figura 9C).

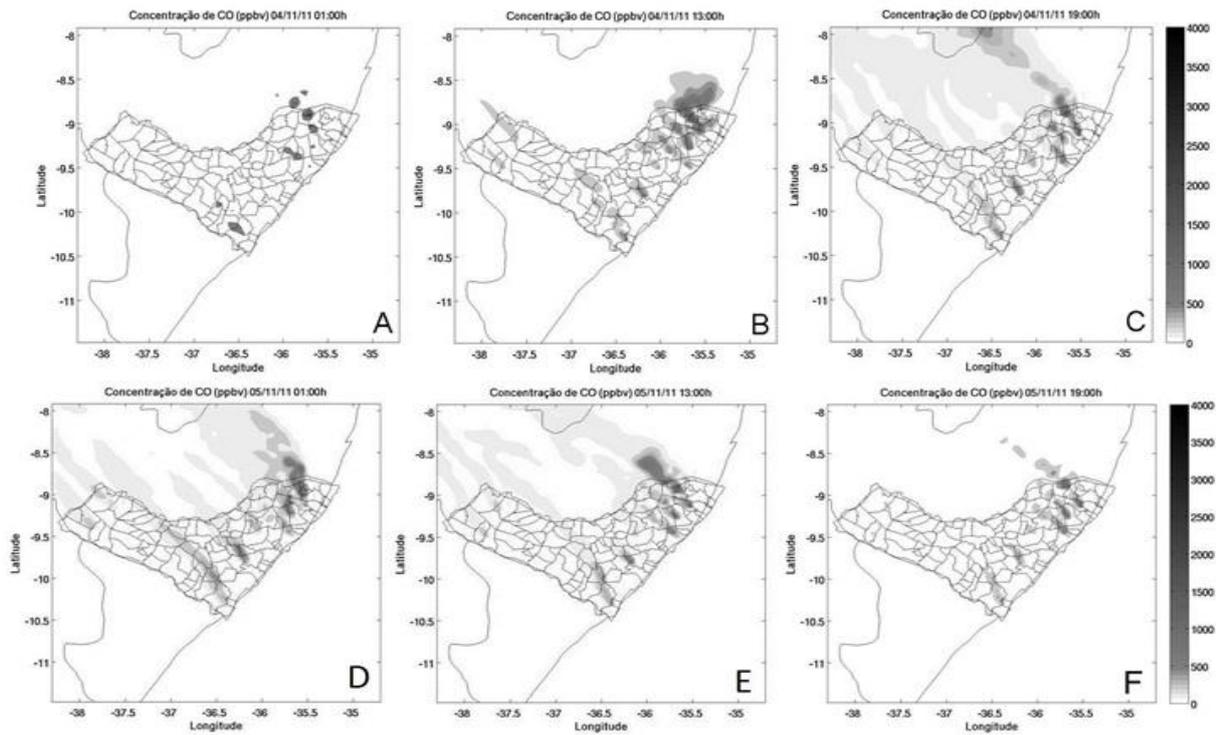


Figura 9. Concentração de Monóxido de Carbono (CO) às (A) 01h00min, (B) 13h00min e (C) 19h00min do dia 04 de Novembro de 2011 e para o dia 05 de Novembro de 2011 (D) 01h00min, (E) 13h00min e (F) 19h00min.

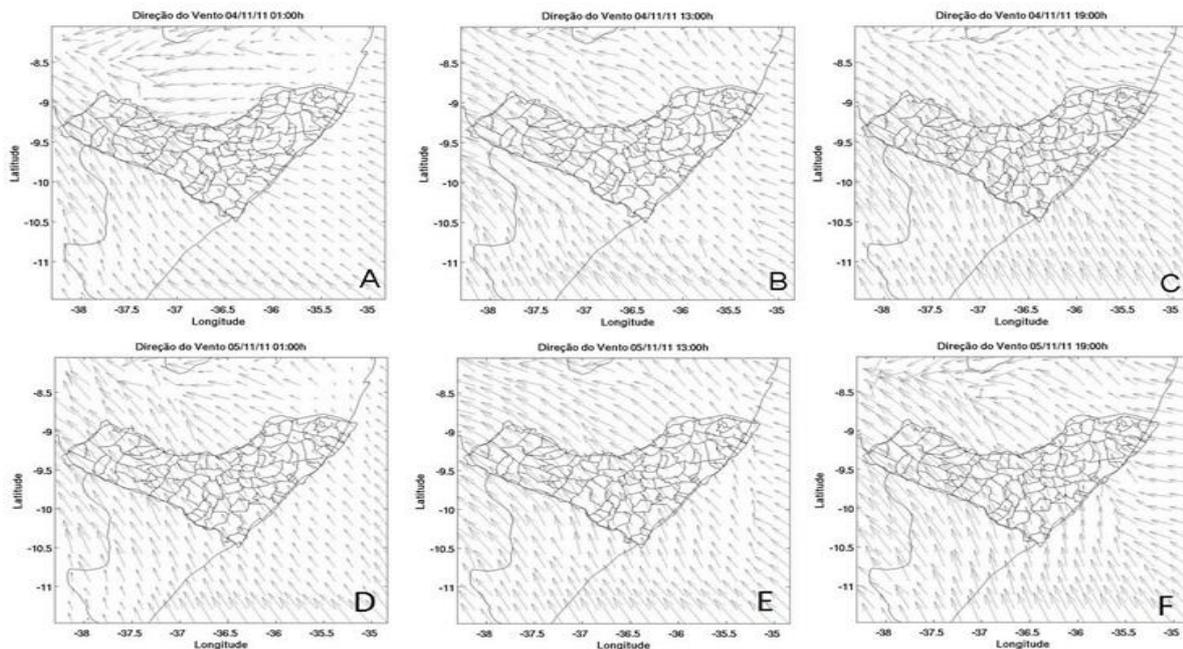


Figura 10. Direção do Vento a 10 metros de altura às (A) 01h00min, (B) 13h00min e (C) 19h00min do dia 01 de Novembro de 2011, e para o dia 02 de Novembro de 2011 às (D) 01h00min, (E) 13h00min e (F) 19h00min.

Análise das concentrações Máximas de Monóxido de Carbono - Uma análise sobre concentrações de CO emitido em uma queimada de cana-de-açúcar se faz necessária

para a validação do trabalho, isto é, sabendo os fatores que influem na dispersão da concentração que o poluente é emitido, é preciso avaliar a precisão que está sendo

emitida pela queimada, condiz com a realidade. Para isso foi avaliado algumas bibliografias com experimentos que fizeram a coleta de CO, emitidos por uma queima de cana-de-açúcar. Neste estudo foi encontrado valores de concentração máxima de CO próximos à fonte de emissão na ordem de 3000 ppbv e em pontos mais distantes na ordem de 800 ppbv.

Mariano (2010), reportou uma média na concentração máxima de Monóxido de Carbono (CO) de 3528,54 ppbv. Para realizar as medições foi utilizado o sistema LIDAR (Light Detection and Ranging) móvel, na cidade de Rio Claro – SP, e as medições do gás foram realizadas em regiões de queimadas de cana-de-açúcar.

Tang et al. (2003), em seu estudo baseado em um modelo regional de transporte químico (STEM 2K1), junto ao inventário de emissões, transporte e evolução química sobre o Oceano Pacífico elaborado através de medições de aviões (TRACE-P). De acordo com os autores, as simulações foram realizadas com sucesso para dispersão de CO oriundas de queima de biomassa. Os resultados simulados concordam bem com as medições feitas com os aviões TRACE-P e observações em superfície na Tailândia. Obtendo um valor médio de concentração máxima de CO próximo a 3600 ppbv.

Em outro estudo de Marinho e Kichhoff (1991), realizaram um Experimento para avaliar os efeitos das queimadas de cana-de-açúcar na baixa atmosfera. Foram realizadas medições com auxílio de aviões sobrevoando localidades onde haviam queimadas de cana-de-açúcar na região sudeste do Brasil. Obteve-se concentrações de até 600 ppbv, ressaltando que as medições foram feitas a 2 km de altitude e quase 300 km horizontal de distância da fonte poluidora, para caracterizar um estado médio da baixa atmosfera.

Variação horária da concentração em um determinado ponto - Para uma análise mais minuciosa sobre a dispersão da concentração de CO, foi selecionado dentro da área de estudo um ponto para representar os efeitos dessa dispersão. O local escolhido foi o ponto ao litoral norte do estado (-8,97°S; -35,59°W), ponto este onde se obteve as maiores emissões e conseqüentemente as maiores concentrações próximo à fonte. Para essa análise gerou-se

gráficos lineares representando a variação horária (hora de simulação) da Concentração de CO, Variação horária da Velocidade do Vento e a Variação da Direção do Vento.

Com esses gráficos foi possível observar que as maiores concentrações de CO estão associadas às menores velocidades do vento no ponto de análise (Litoral norte de Alagoas), além de também ser possível observar a variação temporal da velocidade do vento com o passar do dia.

Na Figura 11A, é observado os maiores valores de concentração no início do 1º e 2º dia, tendo nos dois picos principais, valores próximo a 3000 ppbv com velocidades do vento para o mesmo horário na ordem de 1 e 1,5 m/s, respectivamente (Figura 11B). Esse padrão se repete por toda análise.

Porém, ao aprofundar a análise para a direção do vento obtemos a possível razão para os picos das horas finais de simulação serem diferentes dos picos iniciais. Com o gráfico linear da direção do vento, foi observado que no início dos dias de análise, o vento assume um sentido variando entre os quadrantes Norte e Leste (0° a 90°), chegando rapidamente a Noroeste (330°). Porém, a partir do dia 03 de Novembro (próximo a 60 horas de simulação), o vento passa a ser de Sul, variando na parte zonal (Sudoeste e Sudeste).

A Figura 11 mostra a variação temporal da concentração de CO para o ponto de maior emissão no litoral, junto com a velocidade e direção do vento. Pode-se constatar uma relação inversamente proporcional entre a concentração de CO e velocidade do vento, onde as máximas concentrações diárias estão associadas a ventos fracos. Porém, observou-se uma mudança no padrão de ventos de Norte (dias 1, 2 e 3) para Sul (dias 4 e 5) em termos de direção do vento, sendo esta variação responsável pela diminuição da concentração de CO, onde pode-se atribuir essa redução provavelmente a posição do ponto de estimativa da concentração.

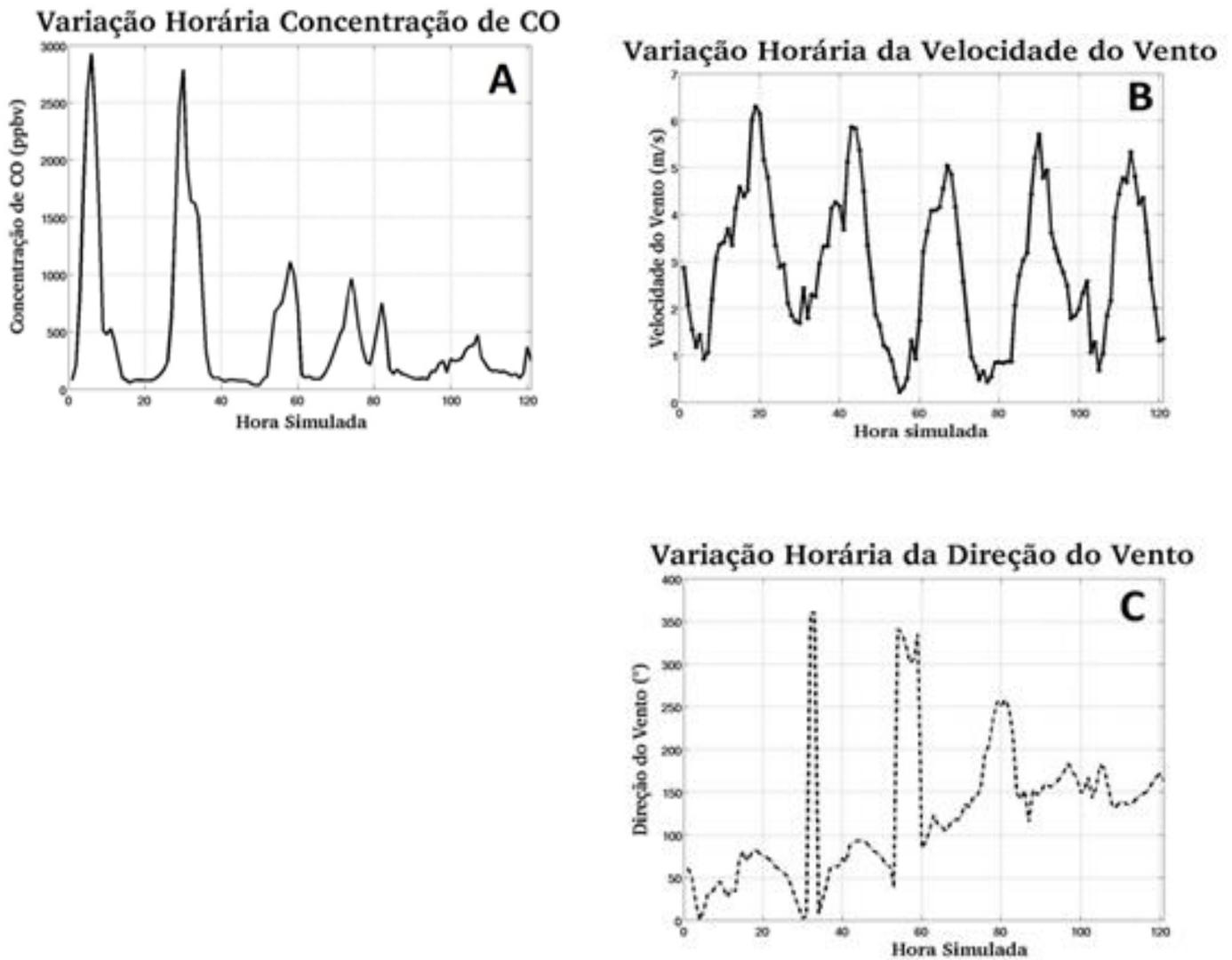


Figura 11. Variação horária (A) da concentração de CO [ppbv], (B) da velocidade do vento [m/s] e (C) da direção do vento [°].

Conclusões

Na análise da dispersão do poluente em comparação com a velocidade e direção do vento a 10 metros de altura, o acoplamento da química e meteorologia do modelo WRF/CHEM se mostrou eficiente em estimar as variações na concentração de CO.

Nos dias 01 e 02 de novembro, os ventos mostraram um padrão de sentido Nordeste-Sudoeste, alternando para um padrão zonal (Leste-Oeste) às 19 horas. Para o dia 03 de novembro, tem o início de um padrão de ventos alísios sobre o território de Alagoas, ficando mais evidente no horário das 19 horas. Para os dias 04 e 05 de novembro, o padrão de alísios ficam mais evidente sobre o estado. Com isso foi possível observar que um poluente emitido por queima de biomassa segue a direção do

vento predominante deslocando-se horizontalmente por grandes áreas, e assim afetando não só a qualidade do ar em Alagoas, mas também poluindo a atmosfera de outros estados, como Sergipe, Pernambuco e Paraíba. Esses padrões foram comprovados a partir de uma análise entre a direção e a velocidade do vento com a concentração de CO em um único ponto, nessa análise permitiu observar que a variação na concentração do poluente em um determinado ponto dependerá principalmente da origem do vento e da sua intensidade para a dispersão ou não do poluente.

A preparação dos dados de emissão de CO por queima de biomassa serviu de dados de entrada da simulação com o modelo WRF/CHEM, onde os resultados das concentrações estiveram de acordo com outros trabalhos realizados para queima de cana-de-

açúcar. No qual para o presente estudo obteve-se concentrações máximas na ordem de 3000 ppbv, e em estudos com medições do poluente emitido foram registrados concentrações próximas a 3600 ppbv, sendo esses valores obtidos próximos aos focos de emissões. Para locais distantes em até 300 km dos focos de queimadas, foram obtidos valores na ordem de 800 ppbv, valor aproximado ao encontrado no estudo de referência, em torno de 600 ppbv.

Referências

- Arbex, M.A.; Böhm, G.M.; Saldiva, P.H.N.; Conceição, G.M.S. (2000). Assessment of the effects of sugar cane plantation burning on daily counts of inhalation therapy. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 50, p. 1745–1749.
- Brito-Costa, G.; Lyra, R. F. F. (2012). Análise dos padrões de vento no estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, V.27, n.1, p. 31 - 38, 2012.
- Eletrobrás. Atlas Eólico do Estado de Alagoas. (2008) Centrais Elétricas Brasileiras S. A. Rio de Janeiro, p. 67. 2008.
- Figueiredo, E. B.; Panosso, A. R.; Romão, R.; La Scala Junior, N. (2010). Greenhouse gas emission associated with sugar production in southern Brazil. *Carbon Balance and Management*, V. 05, n. 03.
- Freitas, S. R. Modelagem numérica do transporte e das emissões de gases traços e aerossóis de queimadas no cerrado e floresta tropical da América do Sul (agosto de 1999). Tese de Doutorado em Física Aplicada - Instituto de Física, Universidade de São Paulo. 204 p.
- Freitas, S. R.; Longo, K. M.; Silva Dias, M.; Silva Dias, P.; Chatfield, R.; Prins, E.; Artaxo, P.; Grell, G.; Recuero, F. (2005). Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America, *Environ. Fluid Mech.*, 5(1–2), p. 135–167.
- Freitas, S. R.; Longo, K. M.; Andreae, M. O. (2006). Impact of including the plume rise of vegetation fires in numerical simulations of associated atmospheric pollutants, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L17808.
- Freitas, S. R.; Longo, K. M.; Chatfield, R.; Latham, D.; Silva Dias, M. A. F.; Andreae, M. O.; Prins, E.; Santos, J. C.; Gielow, R.; Carvalho Jr, J. A. (2007). Including the sub-grid scale plume rise of vegetation fires in low-resolution atmospheric transport models, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, p. 3385–3398.
- Grell, G.; Freitas, S. R.; Stuefer, M.; Fast J. (2010). Inclusion of biomass burning in WRF-Chem: impact of wildfires on weather forecasts, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 10, p. 30613–30650.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?s_igla=al> Acesso em: 14 Jun. 2012.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). Produção Agrícola Municipal 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=44> Acesso em: Janeiro de 2013.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2011). Portal do monitoramento de queimadas e incêndios. Disponível em <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em: dezembro de 2012.
- Lara, L.B.L.S.; Artaxo, P.; Martinelli, L.A.; Victoria, R.L.; Camargo, P.B.; Krusche, A.; Ayers, G.P.; Ferraz, E.S.B.; Ballester M.V. (2001). Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba River Basin, Southeast Brazil. *Atmospheric Environment* 35, p. 4937–4945.
- Long, W.; Tate, R.B.; Neuman, M.; Manfreda, J.; Becker, A.B.; Anthonisen, N.R.; (1998). Respiratory symptoms in a susceptible population due to burning of Agricultural residue. *Chest* 113, p. 351–357.
- Longo, K.; Freitas, S. R.; Setzer, A.; Prins, E.; Artaxo, P.; Andreae, M. (2007). The Coupled

Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, p. 8571-8595.

Mariano, G. L. (2010). Efeitos das queimadas na Atmosfera do estado de São Paulo - Análise de fontes próximas e distantes de LIDAR. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2010.

Marinho, E.V.A.; Kirchhoff, V. W. J.H. (1991). Projeto Fogo: Um experimento para avaliar os efeitos das queimadas de cana-de-açúcar na baixa atmosfera. *Revista Brasileira de Geofísica*; Vol. 9 (2), p. 107-119.

Mazzoli-Rocha, F.; Magalhães, C. B.; Malm, O.; Saldiva, P. H. N.; Zin, W. A. Faffe, D. S. Comparative respiratory toxicity of particles produced by traffic and sugar cane burning; *Environmental Research*; 108 (2008) 35– 41.

Phonboon, K.; Paisarn-uchapong, O.; Kanatharana, P.; Agsorn, S. (1999). Smoke episodes emissions characterization and assessment of health risks related downwind air quality-case study, Thailand. In: WHO Health Guidelines for Vegetation Fire Events. Geneva: World Health Organization, p. 334–358.

Ramos, D. N. S. (2012). Mapeamento eólico do estado de Alagoas utilizando ferramentas computacionais e dados observados. Dissertação de Mestrado, Maceió - AL: ICAT/UFAL.

Rohatgi, J. S.; Nelson, V. (1994). Wind Characteristics - An analysis for the generation of wind power. Alternative Energy Institute, West Texas A&M University.

Setzer, A. W.; Pereira, M. C.; (1991). Amazonia biomass burnings in 1987 and an estimate of their tropospheric emissions. *Ambio*, v. 20, n. 1, 17 p.

Sindaçúcar-AL - Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas (2012). Produção sucroalcooleira nos Estados do Norte/Nordeste – Disponível em <http://www.sindacucar-al.com.br> Acesso em dezembro de 2012.

Tang, Y.; Carmichael, G. R.; Woo, J. H.; Thongboonchoo, N.; Kurata, G.; Uno, I.; Streets, D. G.; Blake, D. R.; Weber, R. J.; Talbot, R. W.; Kondo, Y. Singh, H. B.; Wang, T.; (2003). Influences of biomass burning during the transport and chemical evolution over the Pacific (TRACE-P) experiment identified by the regional chemical transport model. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, n°. D21, 8824.

Yokelson, R. J.; Christian, T. J.; Karl, T. G.; and Guenther, A. (2008). The tropical forest and fire emissions experiment: laboratory fire measurements and synthesis of campaign data, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 8, p. 4221-4266.