

ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA PARA O BIOMA PANTANAL

Gabriel PEREIRA¹

Francielle da Silva CARDOZO¹

Elisabete Caria MORAES¹

Yosio Edemir SHIMABUKURO¹

Saulo Ribeiro de FREITAS²

Resumo

Freqüentes em todas as regiões do mundo, as queimadas consomem grandes quantidades de biomassa e liberam enormes quantidades de gases traços e aerossóis para a atmosfera. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo realizar o inventário de emissões dos gases do efeito estufa e dos aerossóis liberados pelas queimadas no Bioma Pantanal. Utilizaram-se os dados multitemporais de energia radiativa do fogo (ERF) estimados a partir do produto Wildfire Automated Biomass Burning Algorithm (WFABBA) do satélite Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) e do Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) das plataformas Aqua e Terra. Além disso, os dados estimados de taxa de emissão para as principais espécies foram assimilados no modelo ambiental Coupled Chemistry-Aerosol-Tracer Transport model coupled to Brazilian Regional Atmospheric Modelling System (CCATT-BRAMS) e as estimativas de emissão calculadas. Estima-se que 0,83 Gt de Dióxido de Carbono (CO₂), 0,06 Gt de Monóxido de Carbono (CO), 0,004 Gt de Metano (CH₄) e 0,005 Gt de Material Particulado com diâmetro menor que 2,5µm (PM_{2,5µm}) foram emitidos para a atmosfera durante o período de análise. Analogamente, para o mesmo período, o Estado do Mato Grosso, que apresenta a maior incidência de focos de queimada e abrange diversos biomas emitiu aproximadamente 11,46 Gt de CO₂.

Palavras-chave: Energia radiativa do fogo. Queimadas. CCATT-BRAMS.

Abstract

Greenhouse gases emission estimation for brazilian Pantanal

World wildfires consume large quantities of vegetation biomass and release trace gases and aerosols to the atmosphere. In this context, this work has as main objective to derive through satellite data the greenhouse and aerosols emissions inventory for Pantanal biome. Fire radiative power (FRP) multitemporal data, estimated from Wildfire Automated Biomass Burning Algorithm / Geostationary Operational Environmental Satellite (WFABBA/GOES) and from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) from Terra and Aqua platforms were utilized in this work. Moreover, the emission rates were assimilated in Coupled Chemistry-Aerosol-Tracer Transport model coupled to Brazilian Regional Atmospheric Modeling System (CCATT-BRAMS) to obtain the spatial concentration. A release of 0.83 Gt of carbon dioxide (CO₂), 0.06 Gt of carbon monoxide (CO), 0.004 Gt of methane (CH₄) and 0.005 Gt of Particulate Matter with diameter less than 2.5µm (PM_{2,5µm}) to the atmosphere by Pantanal biome were estimated. Similarly, for the same period, the Mato Grosso State emitted to the atmosphere approximately 11.46 Gt of CO₂.

Key words: Fire radiative power. Biomass burning. CCATT-BRAMS.

¹ Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos -SP, Brasil. E-mail: {gabriel, cardozo, bete, yosio}@dsr.inpe.br.

² Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Rodovia Presidente Dutra, Km 40, SP-RJ 12630-000 - Cachoeira Paulista - SP - Brasil. E-mail: sfreitas@cpctec.inpe.br.

INTRODUÇÃO

Anualmente grandes extensões terrestres são submetidas a processos de degradação ambiental e de mudanças de usos da terra. No Brasil, os processos de conversão de áreas naturais em áreas antropizadas estão associados com a constante expansão agrícola, as quais, geralmente, utilizam as queimadas como prática para desflorestar e renovar pastos. Os impactos ambientais provocados por estas ações são muitos e variados, estimando-se que aproximadamente 90% das queimadas mundiais provenham de ações antropogênicas (ANDREAE, 1991).

As queimadas afetam significativamente os ciclos biogeoquímicos, o balanço de energia na superfície, o balanço radiativo da atmosfera, o ciclo hidrológico e liberam para a atmosfera grandes quantidades de gases do efeito estufa e aerossóis. Estes fatores afetam diretamente o clima e o meio ambiente (ANDREAE et al., 2004). No Pantanal, o ciclo hidrológico bem definido e as características físicas da região proporcionam a expansão de atividades agropecuárias, em que episódios pontuais de intensa queima de biomassa são práticas usuais. O início e a manutenção das queimadas dependem basicamente do regime hidrológico, do tipo de biomassa, dos componentes geográficos, da temperatura do ar, da umidade do ar e do solo, assim como do regime de ventos. Portanto, o bioma Pantanal, de grande importância sócio-econômica e ecológica, que se destaca pela sua grande biodiversidade e pelo regime hidrológico peculiar, necessita ser melhor investigado com vistas à sua preservação e proteção ambiental.

As queimadas são fontes de gases do efeito estufa (CO_2 , CH_4) que propiciam o aquecimento global, principal responsável pelas mudanças climáticas. Além disso, alguns gases emitidos nas queimadas (monóxido de carbono, hidrocarbonetos não-metanos, ácido nítrico, entre outros) são quimicamente ativos e interagem com as concentrações de hidroxilas (OH) presentes na atmosfera, alterando a eficiência de oxidação e modificando a quantidade de ozônio troposférico, que é um dos gases do efeito estufa (KAUFMAN et al., 1992; GALANTER et al., 2000).

No processo de combustão da vegetação é comum a emissão de dióxido de carbono (CO_2) e vapor de água (H_2O), como descrito na equação (1). Porém, o processo químico que define a produção de gases e aerossóis para a atmosfera é, na maioria das vezes, incompleto. Este evento induz a produção de outras espécies de gases, entre os quais podem-se citar o monóxido de carbono (CO), o metano (CH_4), o monóxido de nitrogênio (NO), o dióxido de nitrogênio (NO_2) e o cloreto de metil (CH_3Cl) (LEVINE, 1994; BADARINATH et al., 2004).



em que CH_2O representa a composição média da biomassa vegetal.

Com o avanço tecnológico, o sensoriamento remoto se firmou como uma ciência capaz de dar suporte ao estudo de diversas variáveis ambientais, face à sua natureza de aplicabilidade nas ciências físicas, biológicas e sociais. As informações obtidas por aeronaves, satélites e os dados terrestres foram, por muito tempo, utilizadas apenas para indicar focos de queimadas e não apresentavam estimativas eficazes sobre a quantidade de vegetação queimada e as emissões liberadas no processo de combustão (WOOSTER et al., 2003). Kaufman et al. (1996) introduziram o conceito de energia radiativa do fogo (ERF), que permite gerar dados capazes de serem relacionados diretamente com a intensidade do fogo e com o total de vegetação consumida por unidade de tempo. A ERF pode ser definida como a parte da energia química liberada na queima de biomassa emitida como radiação no processo de combustão (WOOSTER et al., 2003).

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo utilizar informações sobre a energia radiativa do fogo derivadas do sensor MODIS e do satélite GOES para estimar as emissões de CO , CO_2 , CH_4 e material particulado com diâmetro menor que $2,5 \mu\text{m}$ e igual a $10 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5\mu\text{m}}$ e $\text{PM}_{10\mu\text{m}}$, respectivamente) para o período entre 2000 e 2008 para o Pantanal brasileiro, e modelar estas emissões no modelo CCATT-BRAMS para a estação seca de 2002.

MATERIAL E MÉTODOS

A figura 1 mostra a área de estudo, que abrange o bioma Pantanal, o qual é uma das maiores planícies de sedimentação do globo e sujeita a inundações periódicas, as quais geralmente ocorrem nos meses do verão, sendo o período seco nos meses de inverno.

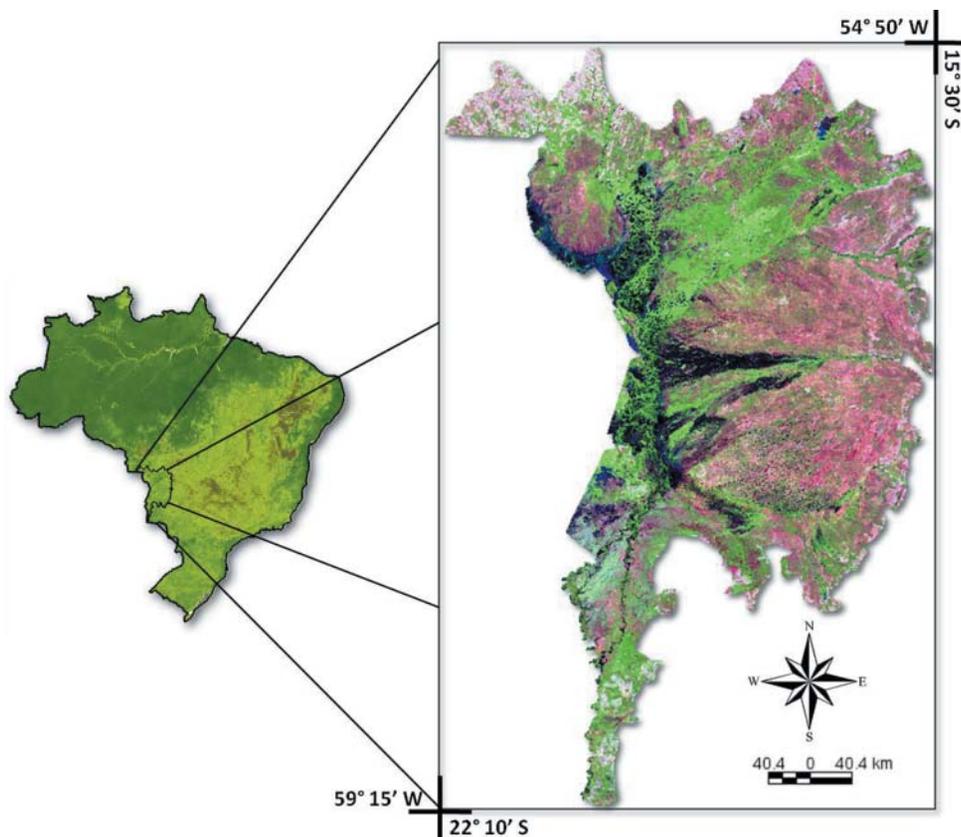


Figura 1 – Localização da área de estudo. Imagem do sensor MODIS de junho de 2009, composição 1B2G6R

O sensor MODIS das plataformas Terra/Aqua possui órbita polar, ângulo de imageamento de $\pm 55^\circ$, altitude de 700 km e faixa imageada de 2330 km. O horário de passagem varia sobre um dado ponto da superfície de acordo com a plataforma: enquanto a plataforma Terra, cujos produtos de fogo originados destas recebem a sigla MOD14, cruza o Equador em sua órbita descendente às 10h30min e 22h30min; a plataforma Aqua, em que os produtos são denominados de MYD14, em sua órbita ascendente, cruza o Equador às 13h30min e 01h30min (GIGLIO, 2005).

O WFABBA é um produto para detecção de anomalias termais/fogo baseado no satélite GOES, disponibilizado com uma alta frequência de observações, numa resolução espacial nominal de 4 x 4 km no NADIR. O algoritmo do WFABBA, assim como no MODIS, utiliza duas bandas para a detecção do pixel com anomalia térmica, uma banda localizada no canal em 3,9 μ m e outra localizada no canal em 10,7 μ m (PRINS et al., 1998).

Os produtos MODIS14 (referentes aos dados de queimadas de ambas as plataformas) disponibilizam as estimativas da ERF, obtidas a partir de uma relação semi-empírica entre a ERF e a radiância espectral do infravermelho, referente à banda 21 do MODIS centrada em 4 μ m, como expressa pela equação (2) proposta por Kaufman et al. (1996):

$$ERF = [4,3 \times 10^{-19} \cdot (T_{f4\mu m}^8 - T_{b4\mu m}^8)] * A_{\text{sampl}} \quad (2)$$

em que A_{sampl} representa o tamanho da área do pixel (km^2), $T_{f4\mu m}$ a temperatura do fogo no canal centrado próximo a 4 μ m (K) e $T_{b4\mu m}$ refere-se a temperatura de background (K) no mesmo canal.

Embora os produtos de queimadas WFABBA ainda não possuam um algoritmo para se estimar a ERF, adotou-se a equação (3) para o cálculo desta grandeza física:

$$ERF = A \cdot \sigma \cdot T_f^4 \quad (3)$$

sendo A a fração de área de fogo no pixel (km^2), σ a constante de Stefan-Boltzmann e T_f a temperatura da fração do sub-pixel com fogo (K). Em ambos os casos, a área e a temperatura do fogo são derivadas pelo método de Dozier (1981).

Com base nas informações acima descritas, Ichoku e Kaufman (2005) e Pereira (2008) propuseram uma metodologia para estimar a taxa de emissão de fumaça através da ERF para o sensor MODIS e o satélite GOES, respectivamente. A relação linear entre a taxa de liberação da ERF, integrada no tempo, e o consumo de biomassa, permitiram a determinação de um coeficiente de emissão de fumaça baseado na energia radiativa do fogo (C_e), dada em kg/MJ. O produto deste coeficiente com a ERF, em MJ, resulta no total de aerossóis de fumaça liberados para a atmosfera, como mostra a equação (4):

$$M_x = C_e \cdot ERF \quad (4)$$

em que M_x representa a taxa de emissão de fumaça calculada pelo satélite. Esta, quando multiplicada pelos fatores de emissão descritos por Andreae e Merlet (2001), permite a obtenção da taxa de emissão de diversos gases para a atmosfera.

Após as estimativas da taxa de emissão dos principais gases, realizou-se uma simulação para o período de queimadas de 2002 com o modelo ambiental CCATT-BRAMS. O CCATT, modelo de transporte Euleriano de aerossóis acoplado ao modelo atmosférico BRAMS, é um modelo numérico que simula e estuda os processos e transportes associados à emissão de queimadas. A equação de conservação de massa para o CO e para o $\text{PM}_{2,5\mu m}$ é calculada, sob a forma de equação de tendência, expressa pela equação (5) (FREITAS et al., 2007):

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{adv} + \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{PBL\ turb} + \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{Conv. Rasa} + \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{Conv. Prof.} + W_{PM2.5\mu m} + R + Q \quad (5)$$

em que $\frac{\partial s}{\partial t}$ representa a tendência local, $\left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{adv}$ a advecção na escala da grade, $\left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{PBL\ turb}$ o transporte turbulento na camada limite planetária na sub-grade, $\left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{Conv. Rasa}$ o transporte em sub-grade associado com a convecção rasa de umidade, $\left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{Conv. Prof.}$ o transporte em sub-grade associado com a convecção profunda de umidade, $W_{PM2.5\mu m}$ a remoção convectiva úmida para o material particulado, R o termo associado com a remoção seca genérica e/ou transformações químicas e Q a fonte de emissão associada com o processo de queimada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 mostra a energia radiativa do fogo (em gigawatts) extraída a partir dos dados coletados pelos sensores MODIS (Plataformas Aqua e Terra) e do produto WFABBA/GOES para o período de 2000 a 2008. As informações pontuais da energia liberada no processo de combustão foram integradas em grades regulares para ambos os sensores e, posteriormente, agregadas em uma única grade com 10 km de resolução espacial, correspondendo às informações de latitude, longitude e ERF. O somatório dos múltiplos focos de queimadas foi inserido no sistema de informações geográficas (SIG) denominado Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e interpolado para melhor visualização da distribuição espacial dos focos.

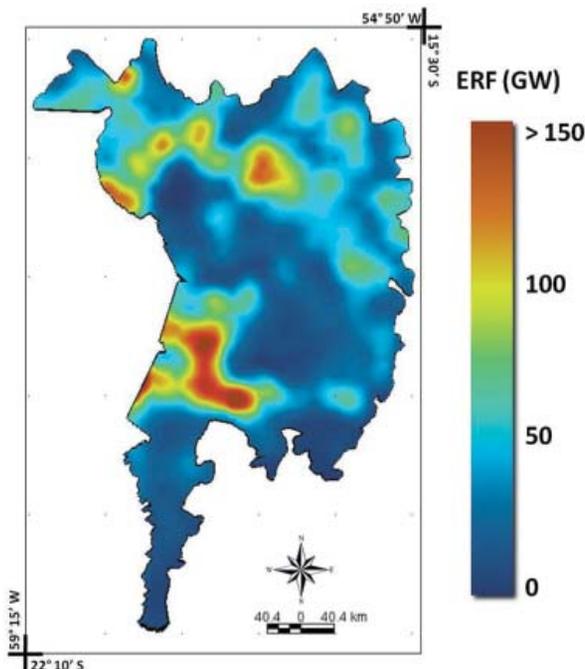


Figura 2 – Energia radiativa do fogo (em giga watts) liberada pelas queimadas entre 2000 e 2008 estimada a partir das plataformas EOS e GOES

Observa-se que a distribuição espacial das queimadas no bioma Pantanal concentra-se principalmente nos municípios de Corumbá (MS), Barão de Melgaço (MT) e Poconé (MT). Nestas regiões, os valores emitidos de ERF podem superar 150 GW ou 150.000 Megawatts. A energia liberada pelos focos de queimada na região do Pantanal está diretamente relacionada com a quantidade de biomassa consumida, podendo-se estimar que aproximadamente 1 kg de biomassa vegetal deva ser consumido pelo processo de combustão para liberar na forma de energia química 1 MW, que será captado pelos sensores orbitais na forma de temperatura (PEREIRA, 2008). Desta forma, o produto apresentado na figura 2 pode ser relacionado com a quantidade de biomassa consumida e, conseqüentemente, com a quantidade de gases traços e aerossóis emitidos para a atmosfera.

A figura 3 mostra a taxa de emissão de CO (kg/m^2) estimada a partir da ERF proveniente dos satélites EOS e GOES para as estações seca e de transição (15/07/2002 a 15/11/2002). Estes dados foram pré-processados e assimilados no modelo ambiental CCATT-BRAMS com resolução espacial horizontal de 50 km^2 . Diretamente relacionada com a quantidade de energia emitida, as maiores taxas de emissão encontram-se na região noroeste-nordeste e na área centro-sudoeste do bioma Pantanal, com valores que podem alcançar $0,04$ e $0,1 \text{ kg}/\text{m}^2$, respectivamente.

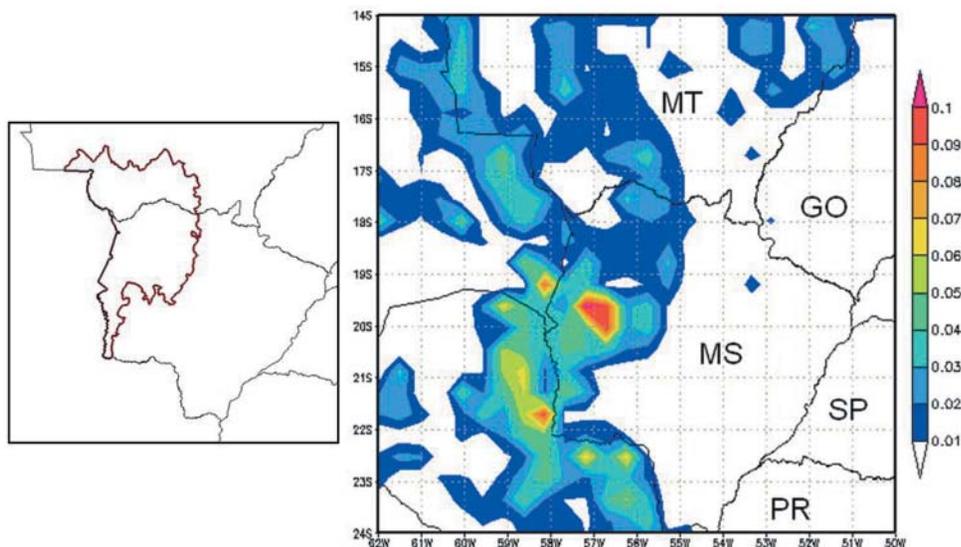


Figura 3 – Estimativa da taxa de emissão de CO (kg/m^2) para o período de 15 de julho a 15 de novembro de 2002, utilizada como entrada de dados no modelo ambiental CCATT-BRAMS

Com os dados da taxa de emissão para cada espécie, o resultado do pré-processamento foi inserido no modelo CCATT-BRAMS, e a concentração média dos gases espacializada foi calculada considerando fatores como os processos de transporte pelos fluxos atmosféricos, remoção convectiva úmida, remoção seca genérica e transformações químicas que ocorrem na atmosfera (Figura 4). Na região do Pantanal brasileiro, as concentrações médias de CO variam entre 200 e 350 ppb, porém, em eventos de intensas queimadas, essa concentração pode atingir níveis críticos e alcançar valores superiores a 3500 ppb, considerados prejudiciais à saúde humana.

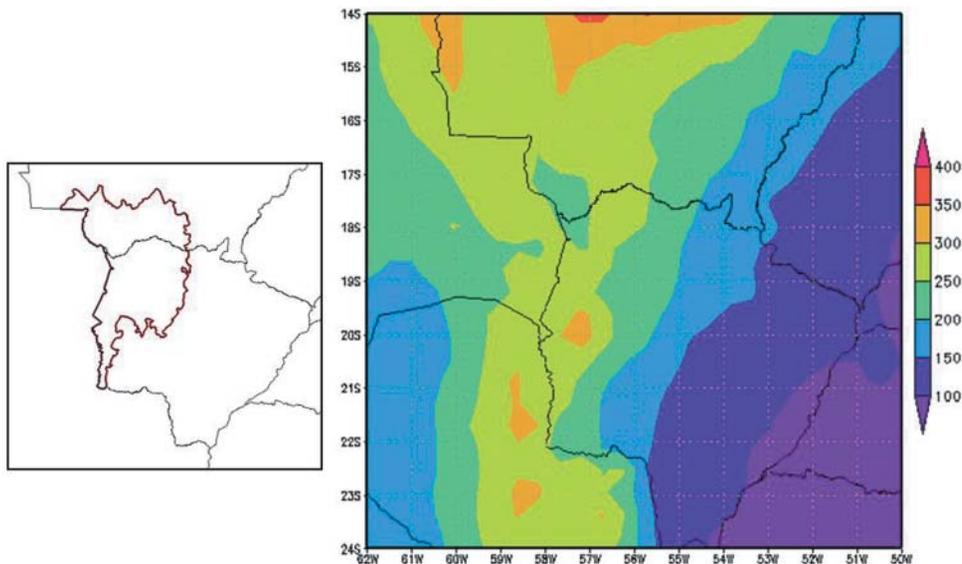


Figura 4 – Concentração média de CO (ppb) para o período de 15 de julho a 15 de novembro de 2002

A tabela 1 mostra as estimativas de emissão dos principais gases do efeito estufa e aerossóis para o Bioma Pantanal, utilizando as metodologias propostas por Ichoku e Kaufman (2005) para os dados do MODIS e por Pereira (2008) para os dados do WFABBA/GOES. Para a conversão dos valores de MP com diâmetro maior que $10\mu\text{m}$, utilizaram-se os valores propostos por Andreae e Merlet (2001). Desta forma, as taxas de emissão para cada espécie (em kg/s) foram integradas no tempo e permitiram o cálculo da emissão total de cada espécie, cujos valores foram transformados em Gt (gigatoneladas - 10^{15} gramas). Estima-se que aproximadamente 0,83 Gt de CO_2 , 0,06 Gt de CO, 0,004 Gt de CH_4 e 0,005 Gt de $\text{PM}_{2,5\mu\text{m}}$ foram emitidos para a atmosfera nestes últimos 9 anos. Para o mesmo período, o Estado do Mato Grosso, que apresenta a maior incidência de focos de queimadas e abrange diversos biomas, inclusive a Floresta Amazônica, emitiu aproximadamente 11,46 Gt de CO_2 , estimada a partir da mesma metodologia.

Tabela 1 – Total de CO₂, CO, CH₄ e PM_{2,5µm} emitido para a atmosfera entre 2000 e 2008

Taxa de emissão total de MP (kg/s)	Fator de Emissão (g[espécie]/kg[biomassa queimada])		Emissão (Gt)
1,3x10 ⁶	CO ₂	1580	0,83
	CO	117	0,06
	CH ₄	6,6	0,004
	PM _{2,5µm}	9,9	0,005

A figura 5 mostra o cruzamento entre os focos de queimadas estimados para a área de estudo e o mapa temático das principais tipologias vegetais do Pantanal proposto pela EMBRAPA (2004). Observa-se que no Pantanal os maiores focos de queimadas encontram-se localizados em áreas de Savana, cuja vegetação predominante é composta por gramíneas. Este tipo de fisionomia vegetal apresenta, no período seco, uma capacidade de combustão e uma eficiência de queima significativa, o que proporciona uma grande incidência de focos nestas áreas. Entre as classes que apresentam incidência significativa de focos, podem-se destacar os Ecótonos (áreas de transição entre espécies de fisionomia distintas), e áreas de Pecuária. Nestas áreas, a expansão agrícola e a renovação de pastos para o gado são as principais causas das queimadas. Ainda, é comum encontrar uma grande incidência de focos de queimadas em áreas de florestas estacionais e vegetação secundária, oriundas, principalmente, do desflorestamento e da expansão agropecuária.

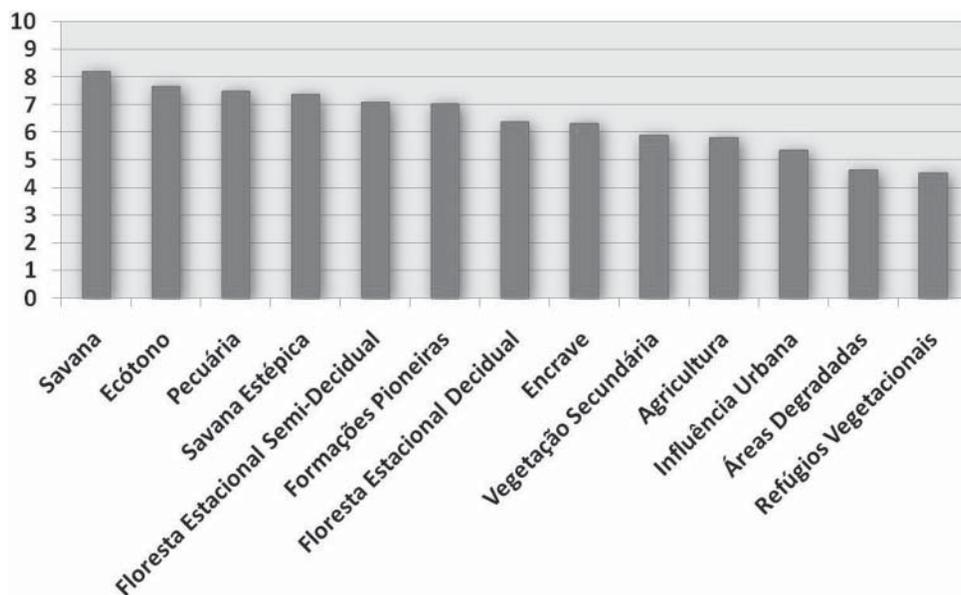


Figura 5 – Concentração de focos de queimadas presentes nas diferentes tipologias vegetacionais do Pantanal (valores do eixo y em logaritmo na base 10)

CONCLUSÕES

Estimativas de emissões dos gases do efeito estufa e de aerossóis provenientes da queimada são necessárias para inventários anuais. Embora as estimativas de emissão para diversas espécies apresentem, no presente estudo, variações de até 50% no valor real medido, as incertezas e superestimações obtidas são comparáveis às incertezas dos métodos tradicionais de cálculo de emissão dos gases. Entre as principais causas estão as incertezas inerentes ao sensoriamento remoto e aos parâmetros utilizados como, por exemplo, os coeficientes mássicos de absorção e de espalhamento. Portanto, a metodologia proposta, que necessita de melhorias nas parametrizações, demonstra grande aplicabilidade em modelagem de gases de efeito estufa e suas inserções em modelos climáticos.

REFERÊNCIAS

- ANDREAE, M. O. Biomass Burning: its history, use, and distribution and its impact on environmental quality and global climate. In: Levine, J. S. (Ed.). **Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications**, The MIT Press, Cambridge, MA, p. 2-21, 1991.
- ANDREAE, M. O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning, **Global Biogeochem. Cycles**, n. 15, v.4, p. 955-966, 10.1029/2000GB001382, 2001.
- ANDREAE, M.; ROSENFELD, D.; ARTAXO, P.; COSTA, A.; FRANK, G.; LONGO, K. M.; SILVA DIAS, M. A. F. Smoking rain clouds over the Amazon, **Science**, v. 303, p. 1342-1345, 2004.
- BADARINATH, K.V.S.; LATHA, K. M.; CHAND, T. R. K.; GUPTA, P. K.; GHOSK, A. B.; JAIN, S. L.; GERA, B. S.; SINGH, R.; SARKAR, A. K.; SINGH, N.; PARMAR, R. S.; KOUL, S.; KOHLI, R.; NATH, S.; OJHA, V. K.; SINGH, G. Characterization of aerosols from biomass burning – a case study from Mizoram (Northeast), India. **Chemosphere**, n. 54, p. 167-175, 2004.
- EMBRAPA. **Levantamento e mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Pantanal, período de 2002 na escala de 1:250.000**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP, agosto de 2004, 43p.
- FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; DIAS, M. A. F. S.; CHATFIELD, R.; DIAS, P. L. S.; ARTAXO, P.; ANDREAE, M.; GRELL, G. A.; RODRIGUES, L.; FAZENDA, A.; PANETTA, J. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation, **Atmos. Chem. Phys. Discuss.**, v.7, p. 8525-8569, 2007.
- GALANTER, M.; LEVY II, H.; CARMICHAEL, G. R. Impacts of biomass burning on tropospheric CO, NO_x and O₃. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, n. D5, p. 6633-6653, 2000.
- GIGLIO, L. **MODIS Collection 4 Active Fire Product User's Guide**. Version 2.2, 2005. Disponível em <maps.geog.umd.edu/products/MODIS_Fire_Users_Guide_2.2.pdf>. Acesso em 26/01/2007.
- ICHOKU, C.; KAUFMAN, Y. J. A method to derive smoke emission rates from MODIS fire radiative energy measurements. **IEEE Trans. on Geosc. & Rem. Sens.**, v. 43, n. 11, p. 2636-2649, 2005.
- KAUFMAN, Y. J.; SETZER, A. W.; WARD, D.; TANRÉ, D.; HOLBEN, B. N.; MENZEL, P.; PEREIRA, M. C.; RASMUSSEN, R. Biomass Burning and Spaceborne Experiment in the Amazonas (BASE-A). **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. D13, p. 14581-14599, 1992.

KAUFMAN, Y. J.; REMER, L.; OTTMAR, R.; WARD, D.; RONG-R, L.; KLEIDMAN, R.; FRASER, R.; FLYNN, L.; MCDUGAL, D.; SHALTON, G. Relationship between remotely sensed fire intensity and rate of emission of smoke: SCAR-C experiment. In: Levine, J. (Ed.), **Global biomass burning**, Maryland: MIT Press, p. 685-696, 1996.

LEVINE, J. S. Biomass burning and the production of greenhouse gases. In: Zepp, R. G. (Ed.) **Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change**, Isbn 0-471-58943-3, 1994. Disponível em: http://asd-www.larc.nasa.gov/biomass_burn/biomass.html. Acesso em 24/01/2007.

PEREIRA, G. **O uso de satélites ambientais para a estimativa dos fluxos de gases traços e de aerossóis liberados na queima de biomassa e sua assimilação em modelos numéricos de qualidade do ar**. 2008. 108 p. (INPE-15390-TDI/1407). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/02.13.16.15>>. Acesso em: 19 ago. 2009.

PRINS, E. M.; FELZ, J. M.; MENZEL, W. P.; WARD, D. E. An overview of GOES-8 diurnal fire and smoke results for SCAR-B and 1995 fire season in South America, **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D24. p. 31821-31825, 1998.

WOOSTER, M. J.; ZHUKOV, B.; OERTEL, D. Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, n. 86, p. 83-107, 2003.

