

ESTIMATIVA DA EMISSÃO DE GASES TRAÇOS E AEROSSÓIS PARA ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS A QUEIMA E SEUS IMPACTOS NO ALBEDO

Elisabete Caria Moraes¹
Gabriel Pereira¹
Francielle da Silva Cardozo²
Gabriel Pereira Krieger²
Bruno Rodrigues do Prado¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
Email: {bete, gabriel, prado}@dsr.inpe.br

² Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Campus Universitário Trindade
Caixa Postal 476 – 88040-970 – Florianópolis – SC, Brasil
Email: franciellecadozo@yahoo.com.br; gabrielkrieger@gmail.com

RESUMO

A prática de queimadas na agricultura ocasiona diversos impactos ao meio-ambiente. Este método provoca a remoção da cobertura vegetal, aumentando significativamente as perdas de nutrientes necessárias as plantas. A cana-de-açúcar é uma das atividades mais importantes do Brasil, cultivada desde o século XVI, sendo o Estado de São Paulo o principal produtor nacional. Deste gênero agrícola originam-se produtos como o etanol, o açúcar, a eletricidade, a água ardente e a ração animal. Embora o cultivo da cana-de-açúcar apresente benefícios consideráveis para a economia brasileira, as mudanças no albedo, no balanço de radiação da superfície e da atmosfera, não apresentam-se totalmente compreendidos. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar as mudanças ocorridas nos valores de albedo, estimar o total de palhada queimada no processo de combustão da cana-de-açúcar, assim como, analisar a quantidade de gases traços e aerossóis carbonáceos emitidos para a atmosfera no município de Araraquara e municípios próximos entre anos de 2000 a 2008, pelo uso dos produtos de queimadas do MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) e GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*). Para estimar os valores de albedo, foram utilizadas as imagens de 1987 e 2008 do sensor TM (*Thematic Mapper*) do Landsat 5 nas faixas espectrais do visível, infravermelho próximo e médio. Percebe-se que as mudanças no albedo estão associadas com os episódios de queimadas, com as mudanças do uso e cobertura da terra e com as alterações dos diferentes estágios da cultura de cana-de-açúcar. Estimou-se que aproximadamente 200 mil toneladas (t) de palhada da cana-de-açúcar foram queimadas na área de estudo durante este período, estes valores foram calculados a partir da energia radiativa do fogo (ERF) estimada a partir dos produtos WFABBA (*Wildfire Automated Biomass Burning Algorithm*) e MODIS14 (*MODIS Thermal Anomalies / Fire 5-MIN L2 SWATH 1KM V005*). Desta forma, os valores de ERF indicaram que aproximadamente $1,31 \times 10^{-4}$ kg/m².s ou 12,000 t de material particulado (MP) foram emitidos para a atmosfera em nove anos (2000 a 2008).

ABSTRACT

The use of biomass burning in agriculture can cause diversified environmental impacts. This method leaves the ground without coverage, increasing the losses of substances by soil erosion necessary for plant nutrition. The sugar-cane crop is one of the most important agricultural activities in Brazil, cultivated since the sixteenth century. The most important sugar-cane products are the ethanol, sugar, electricity, cane aguardiente and animal feed, with Sao Paulo State the largest producer. Although the benefits of sugar-cane to the economy, the environmental impacts such as albedo changes, surface and atmospheric radiation budget, are not entirely understood. The present work aims to analyze the albedo changes, the amount of sugarcane burned straw and the aerosols and trace gases emitted to atmosphere in Araraquara city and surrounding regions, located in Sao Paulo State, during 2000 and 2008 period, by the use of MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) and GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) biomass burning fire product. To estimate the albedo values, the Landsat 5 Thematic Mapper sensor bands in the electromagnetic region of visible, near and mid infrared from 1987 to 2008 were used. Furthermore, the changes in albedo are related to biomass burning episodes and to changes in land use and land cover, as well the change in vegetation stages. It was found that 200,000 t of sugar-cane straw were burned in the study area in nine years, estimated by the use of fire radiative energy (FRE) acquired from Wildfire Automated Biomass Burning Algorithm (WFABBA/GOES) and MODIS14 (MODIS Thermal Anomalies / Fire 5-MIN L2 SWATH 1KM V005) fire data. Therefore, it was estimated that approximately 1.31×10^{-4} kg/m².s or 12,000 t of Particulate Matter (PM) were emitted into atmosphere in the last nine years (2000 to 2008).

Palavras-Chave: biomass burning, in-band reflectance, radiometric rectification, queima de biomassa, reflectância in-band, normalização radiométrica.

1. Introdução

O uso e cobertura da terra são condicionados pelas atividades econômicas vigentes na sociedade, constituindo-se no reflexo do modo de produção existente. A necessidade da expansão de fronteiras agrícolas para suprir as demandas nacionais e do mercado mundial ocasiona o avanço da agricultura sobre áreas de vegetação nativa, responsáveis por alterações na qualidade da água, do ar, do solo e de outros recursos naturais, fatores que interferem diretamente na qualidade de vida da população.

No cenário econômico-industrial atual, a crescente substituição dos combustíveis fósseis, extremamente poluidores, pelos combustíveis de origem orgânica como o etanol, ocasiona a expansão desenfreada do cultivo de cana-de-açúcar por todo o Brasil. Ainda que a expansão da cana-de-açúcar

apresente benefícios consideráveis para a economia brasileira, as mudanças nas características físico-químicas e biológicas do solo, no balanço de radiação, na qualidade do ar, entre outras, necessitam de estudos mais aprofundados onde os resultados sirvam como subsídios para ações mitigadoras destes impactos ambientais.

A destruição da vegetação nativa no Brasil e, em especial, no Estado de São Paulo, ocorre nos diversos ciclos de implantação de culturas e pastagens. O último deles é o da monocultura canavieira, pois o plantio geralmente se estende até os limites de florestas, unidades de conservação, áreas de proteção ambiental, áreas de preservação permanente e áreas de plantio de outras culturas (RAMOS, 1999). Ainda, este plantio geralmente se expande por grandes áreas, o que culmina no isolamento ou até mesmo supressão das poucas reservas de matas que ainda restam, proporcionando o desmatamento de nascentes e áreas de mananciais. Cultivada desde meados do século XVI, a cana-de-açúcar é uma das atividades agrícolas mais importantes do Brasil. Deste produto agrícola, originam-se o álcool etílico (C_2H_6O), o açúcar, entre outros produtos (OMETTO et al., 2005).

No Brasil, o Estado de São Paulo destaca-se como o principal produtor de cana-de-açúcar, com 58% da produção de etanol e de açúcar (CONAB, 2008), ocupando uma área de aproximadamente 15% do uso do solo rural deste Estado e representando quase 70% das exportações nacionais (ARMAS et al., 2005). No processo de colheita deste gênero agrícola é comum utilizar a queima da palhada para facilitar a extração do produto. Esse método para a extração da cana-de-açúcar interfere significativamente na produtividade da terra e pode causar, em certas circunstâncias, a desertificação do solo, liberação de grandes concentrações de ozônio (O_3), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) e material particulado para a atmosfera, doenças cardiorrespiratórias, entre outros (PEREIRA et al., 2009; FRANÇA et al., 2009; NASCIMENTO; ZULLO JUNIOR, 2009).

A prática de queimadas no meio agrícola origina diversos impactos ambientais, pois além de eliminar a cobertura do solo e aumentar as perdas por erosão, estas reduzem as substâncias necessárias à nutrição das plantas e exterminam os microorganismos úteis do solo, diminuindo desta forma a fertilidade das lavouras (SANTOS et al., 1992). Além disso, a queima da palhada da cana-de-açúcar acarreta na degradação do meio-ambiente, eliminando um número incalculável de espécies da fauna nativa, desde insetos até mamíferos. Outro aspecto importante é a alteração no albedo e no balanço de radiação, que pode provocar temperaturas superiores a $50^\circ C$ e a fuligem na qual os trabalhadores são expostos após a queima (MIRRA; WÜNSCH, 1998; ZAMPERLINI, 1997).

O albedo da superfície está diretamente relacionado com o balanço radiativo, ocasionando variações na temperatura da superfície, e com a alteração dos fluxos de calor latente e sensível. Ambas as variações alteram significativamente o balanço de energia na superfície e na atmosfera, acarretando modificações no clima local e regional (PEREIRA et al., 2007; MORAES et al., 2004; ICHOKU; KAUFMAN, 2005).

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo principal comparar a variação do albedo para a mesorregião de Araraquara – SP (Figura 1) nos anos de 1987 e 2008, em função das alterações do uso e ocupação da terra, e estimar a energia radiativa do fogo liberada no processo de combustão, assim como a quantificar a biomassa consumida e os gases do efeito estufa liberados para a atmosfera.

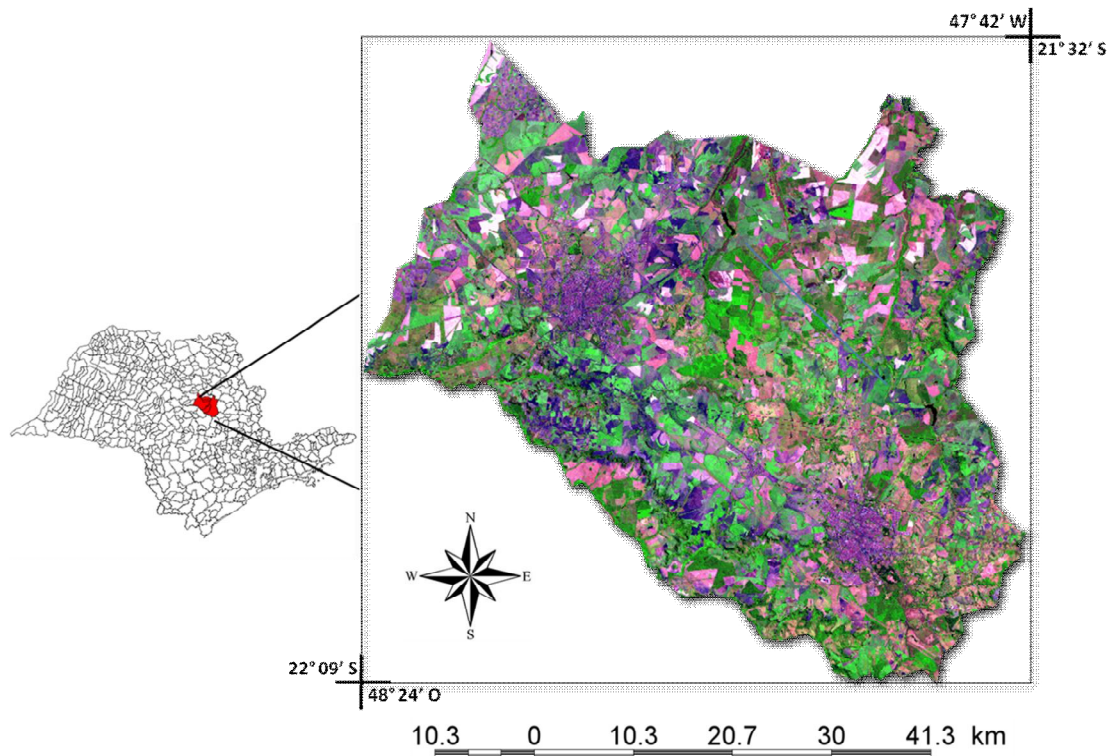


Figura 1. Área de estudo localizada na mesorregião de Araraquara. Imagem Landsat 5 obtida em 10/set/2008, órbita/ponto 220/75, composição 3B4G5R.

2. Materiais e Métodos

2.1 Imagens e georreferenciamento

Utilizou-se o Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para o processamento das imagens do TM/Landsat 5, nas datas 17/07/1987 e 10/09/2008. O registro foi realizado tomando-se como base uma imagem do sensor *Enhanced Thematic Mapper plus* (ETM+) do Landsat 7 ortorretificada, na projeção UTM, *datum* WGS 84, com acurácia média de 75 m (GLCF, 2008).

2.2 Normalização Radiométrica e albedo

Para conversão dos níveis de cinza das imagens do TM/Landsat 5 em valores de reflectância da superfície, aplicou-se o modelo de transferência radiativa *Second Simulation of the Satellite Signal in*

the Solar Spectrum - 6S (VERMOTE, 1997). Foram adotados como condições iniciais o modelo de aerossóis continental e a atmosfera tropical com 70km de visibilidade. Entretanto, a comparação temporal de dados de séries radiométricas, quando do interesse da caracterização espectral de diferentes alvos, fundamenta-se na compatibilidade radiométrica dos dados coletados ao longo do tempo. Essa compatibilidade pode ser promovida por procedimentos que envolvem a chamada normalização radiométrica, assim como idealizado por Hall et al. (1991) ou por Canty et al. (2004). Nesses procedimentos, recomenda-se que a imagem eleita como referência seja submetida à correção atmosférica e as demais imagens defasadas temporalmente desta referência sejam então normalizadas em relação à data de referência.

A normalização radiométrica dos dados orbitais fundamentou-se nos procedimentos descritos por Hall et al. (1991), tendo sido definida como referência a imagem do dia 10/set/2008 que, portanto, foi corrigida atmosféricamente, gerando a imagem de referência. Desta forma, as imagens de 15/jul/1987 foram normalizadas radiometricamente, sendo inicialmente convertidas para valores de reflectância aparente, mediante aplicação da fórmula preconizada por Chander e Markham (2003).

De posse das imagens normalizadas para as duas datas, o próximo passo consistiu no cálculo dos valores de albedo de superfície para as imagens de 1987 e 2008. Para tanto, utilizaram-se as fórmulas deduzidas por Liang (2000) para o sensor Landsat 5/TM. Os coeficientes existentes nessas fórmulas foram ajustados e validados por Pereira et al. (2007), a partir de dados de verdade terrestre. As fórmulas ajustadas (Equação 1) são descritas a seguir:

$$Albedo = 0,42\alpha_1 + 0,153\alpha_3 + 0,44\alpha_4 + 0,1\alpha_5 + 0,084\alpha_7 - 0,0018 \quad (1)$$

onde “ α_n ” representa o valor de refletância obtido para a banda “n” do sensor TM.

2.3 Produtos de detecção de queimadas e a energia radiativa do fogo

Os produtos MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) para a detecção de queimadas MOD14 e MYD14 (*MODIS Thermal Anomalies / Fire 5-MIN L2 SWATH 1KM V005*) são disponibilizados pelo *EOS Data Gateway* numa frequência de aproximadamente 4 passagens diárias. Estes incluem informações de fogos ativos e outras anomalias termais e cobrem uma área de aproximadamente 2330 por 2030 km no sentido *across* e *along-track*, respectivamente, com resolução espacial nominal de 1 km (GIGLIO, 2005).

O WFABBA (*Wildfire Automated Biomass Burning Algorithm*) é um produto para detecção de anomalias termais/fogo baseado no satélite GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*), 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 μm e outra localizada no canal em 10,7 μm (PRINS et al., 1998).

Os primeiros estudos sobre a energia radiativa do fogo (ERF) foram realizados utilizando o MAS (*MODIS Airborne Simulator*) nos experimentos SCAR-C e SCAR-B (*Smoke, Cloud and Radiation, Califórnia/Brazil*) (KAUFMAN et al. 1996, 1998a, 1998b). Os resultados já demonstravam que as estimativas das emissões através da ERF eram mais confiáveis que as estimativas por focos de queimada (pixels caracterizados como fogo – *hot spots*). Wooster (2002) testou as relações entre a ERF e o total de biomassa consumida em combustões experimentais de pequeno porte, demonstrando a existência de uma relação linear que permite o uso desta metodologia na estimativa do total de gases liberados para a atmosfera no processo de combustão. O mesmo experimento foi recriado por Pereira (2008) encontrando uma relação de aproximadamente 1 kg de biomassa queimada para cada megawatt (MW) liberado no processo de combustão.

A ERF pode ser obtida de várias maneiras: Kaufman et al. (1996) usaram uma relação semi-empírica entre a ERF e a radiância espectral do infravermelho, referente à banda 21 do MODIS centrada em 4 μm , associando, desta forma, a ERF com a temperatura de brilho do *pixel* com anomalia térmica ($T_{f4\mu\text{m}}$) e com a temperatura dos *pixels* em torno (*background*, $T_{b4\mu\text{m}}$) da respectiva banda. A equação (2) representa a ERF obtida através do sensor MODIS.

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

onde A_{sampl} representa o tamanho da área do pixel (km^2).

Os produtos de queimada WFABBA ainda não possuem um algoritmo para se estimar a ERF, desta forma, pode-se estimar esta grandeza física a partir da equação 3.

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

onde A representa a fração de área de fogo no *pixel*, σ é a constante de Stefan-Boltzmann e T_f é a temperatura da fração do sub-pixel com fogo. Em ambos os casos, a área e a temperatura do fogo são derivadas pelo método de Dozier (1981).

2.4 Coeficiente de emissão baseado na ERF e o cálculo da biomassa queimada

Wooster et al. (2005), Freeborn et al. (2008) e Pereira (2008) realizaram experimentos que estimaram a ERF a partir de medidas da radiância emitida pela queima controlada de quantidades conhecidas de biomassa. Nestes experimentos a temperatura da região em processo de combustão era obtida através da inversão da lei de Planck. A análise da relação entre o consumo de biomassa e a

energia radiativa liberada pela mesma permitem o cálculo da taxa de consumo de biomassa, representada pela equação 4.

$$BC = 0,950 \cdot ERF \quad (4)$$

onde BC representa a quantidade de biomassa consumida em $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ e ERF a energia radiativa do fogo integrada no tempo.

Com base na energia liberada pelo fogo Ichoku e Kaufman (2005) propuseram uma metodologia para estimar a taxa de emissão de fumaça através da ERF. A relação linear entre a taxa de liberação de ERF, integrada no tempo, e o consumo de biomassa, permitiram a determinação de um coeficiente de emissão de fumaça (C_e) baseado na energia radiativa do fogo, dado em kg/MJ . O produto deste coeficiente com a ERF, em MJ, resulta no total de material particulado liberado para a atmosfera, como mostra a equação (5):

$$M_p = C_e \cdot ERF \quad (5)$$

onde M_p representa a taxa de emissão de material particulado total calculado pelo satélite, que envolve todos os tamanhos de carbonaceous. Esta taxa de emissão quando multiplicada pelos fatores de emissão descritos por Andreae e Merlet (2001) permite a obtenção da estimativa de emissão de diversos gases para a atmosfera. Para a área de estudo os coeficiente de emissão adotados foram 0,063 e 0,03 para a ERF provenientes do MODIS e do GOES, respectivamente.

3. Resultados e Discussões

A Figura 2 ilustra as mudanças no albedo de ondas curtas ocorridas entre 1987 e 2008 para os municípios de Araraquara, Santa Lúcia, Américo Brasiliense, Ibaté e São Carlos. Percebe-se uma variação significativa nos valores de albedo em função das mudanças no uso e cobertura do solo, valores muito baixos de albedo estão associados, geralmente, com áreas de baixa reflectância, como, por exemplo, áreas alagadas, rios ou áreas de cana-de-açúcar submetidas ao processo de queima da palhada. Áreas com valores de albedo mais elevados representam, neste caso, áreas de cultivo agrícola ou áreas de solo exposto.

Segundo Rudorff et al. (2004), desde que o projeto CANASAT iniciou o mapeamento de cana nos Estados brasileiros, os municípios citados apresentavam uma área cultivada de cana-de-açúcar com aproximadamente 92.000 hectares (ha), com destaque para Araraquara com aproximadamente 39.000ha. Todavia, em 2008 com o aumento na produção de etanol e a exportação de produtos derivados desta cultura, estes municípios expandiram a área cultivada em aproximadamente 25%,

passando para uma área de aproximadamente 115.000ha, com destaque para Araraquara e São Carlos com, respectivamente, 47.000 e 35.300ha, representando, respectivamente, 6,3% e 8,5% da área total cultivada em cada município (<http://www.dsr.inpe.br/mapdsr/frame.jsp>).

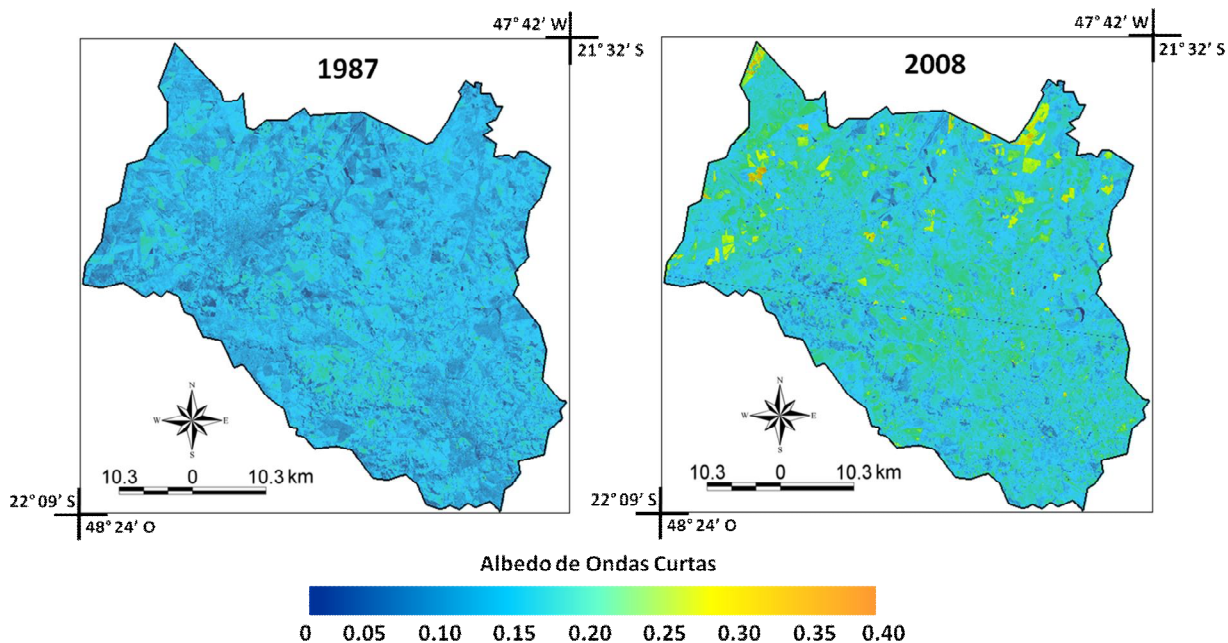


Figura 2. Estimativa de albedo de ondas curtas para a área de estudo (1987 e 2008).

A Figura 3 mostra a diferença entre as estimativas do albedo de ondas curtas obtida através das imagens do sensor TM/Landsat 5 para os anos 1987 e 2008. Percebe-se que a variação do albedo nestes últimos 22 anos em algumas regiões, manteve-se praticamente constante, ou seja, sem alterações significativas (representada pela cor azul claro). Nestas áreas predominam a cobertura urbana e áreas de floresta nativa. As regiões em tons azuis escuros e tons laranja-avermelhados apresentaram variações significativas no albedo, alcançando valores de -0,09 e 0,16, respectivamente. As maiores diferenças nos valores de albedo são encontradas em áreas onde a cobertura vegetal original foi transformada em área antropizada, destinadas principalmente a atividades agrícolas ou pastos. A alteração do albedo ocasiona uma mudança na absorção de radiação eletromagnética e altera o balanço de energia, os fluxos de calor latente e sensível, o regime de ventos e de chuvas, alterando significativamente as condições do micro-clima da região.

A queima da cana-de-açúcar ocasiona uma mudança expressiva nas características físico-químicas e biológicas dos elementos da superfície, alterando, desta forma, a reflectância espectral e, conseqüentemente, o albedo. Pelas variações no albedo é possível detectar o método empregado na colheita da cana-de-açúcar, pois áreas de cana-de-açúcar submetidas ao processo de queima antes da colheita apresentam variações negativas no albedo, caracterizado pela maior absorção da energia eletromagnética pelas cinzas e fuligem. Inversamente, áreas de cana-de-açúcar que não sofreram o

processo de queima antes da colheita apresentam uma alta reflectância, em função da resposta espectral do solo e da palhada (albedos muito altos), apresentando, conseqüentemente, variações positivas de albedo.

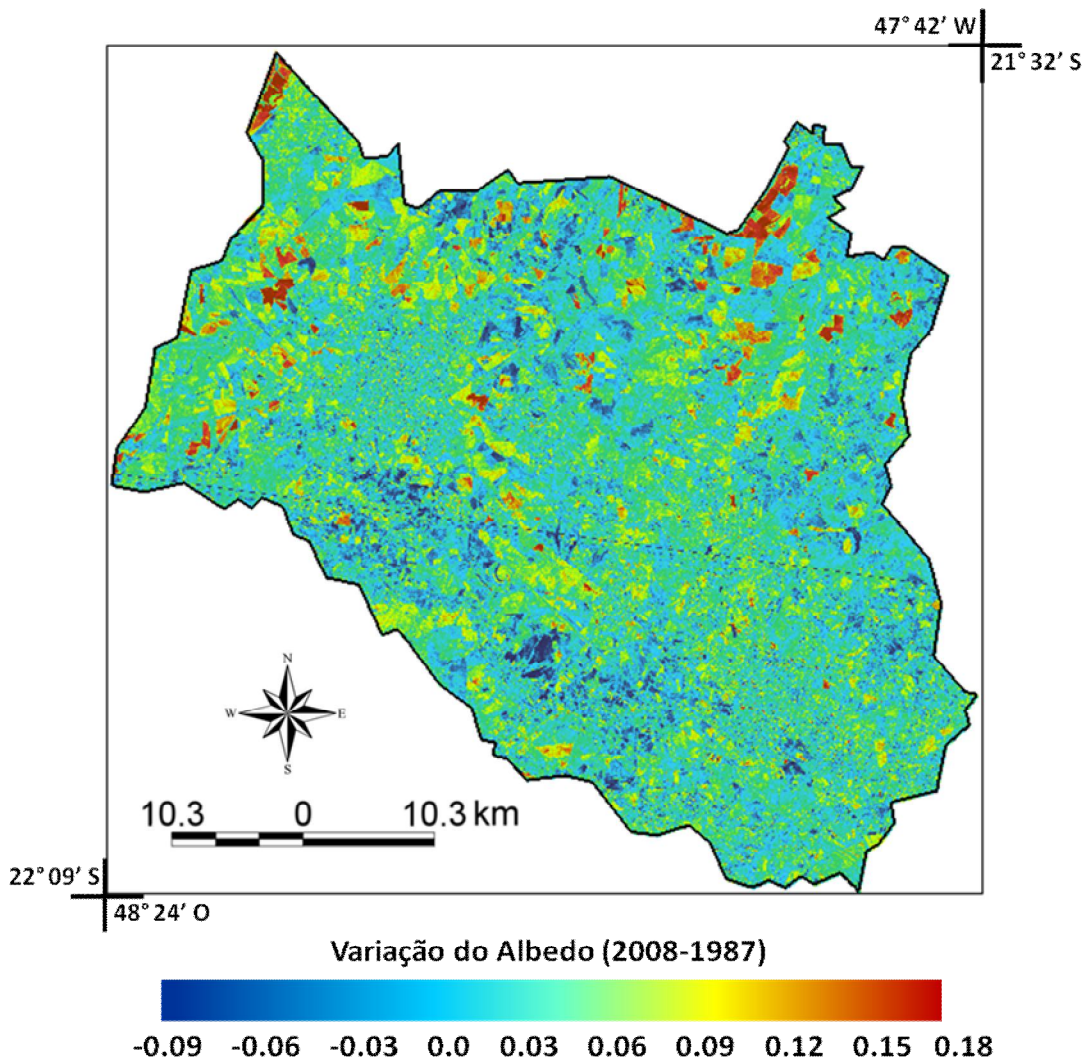


Figura 3. Diferença entre os valores de albedo obtidos em duas datas distintas: 15/Jul/1987 e 10/Set/2008, para a região de Araraquara e municípios vizinhos (SP).

A Figura 4 mostra a distribuição espacial da Energia Radiativa do Fogo (ERF) estimada através dos dados de queimada provenientes dos sensores MODIS/EOS e WFABBA/GOES para o período de 9 anos (2000 a 2008), observados a cada 30 minutos pelo GOES e a cada passagem dos sensores MODIS (4 passagens diárias – 01:30; 10:30; 13:30 e 22:30, hora local). Os dados de ERF representam a soma de todos os focos diários detectados na área de estudo, agrupados em amostras regulares a cada 10 km de resolução espacial idênticas para ambos os satélites. Para melhor visualização, esta grade foi inserida no programa SPRING e interpolada para originar uma grade regular. Percebe-se que os maiores valores de ERF estão localizados em regiões que apresentaram uma diminuição nos valores de

albedo, localizadas na porção noroeste/sudoeste da área de estudo. Nestas regiões, a ERF liberada em nove anos de observações foi superior a 22.500 MW, liberando uma média de aproximadamente 1100 a 1600 MW/Ano.

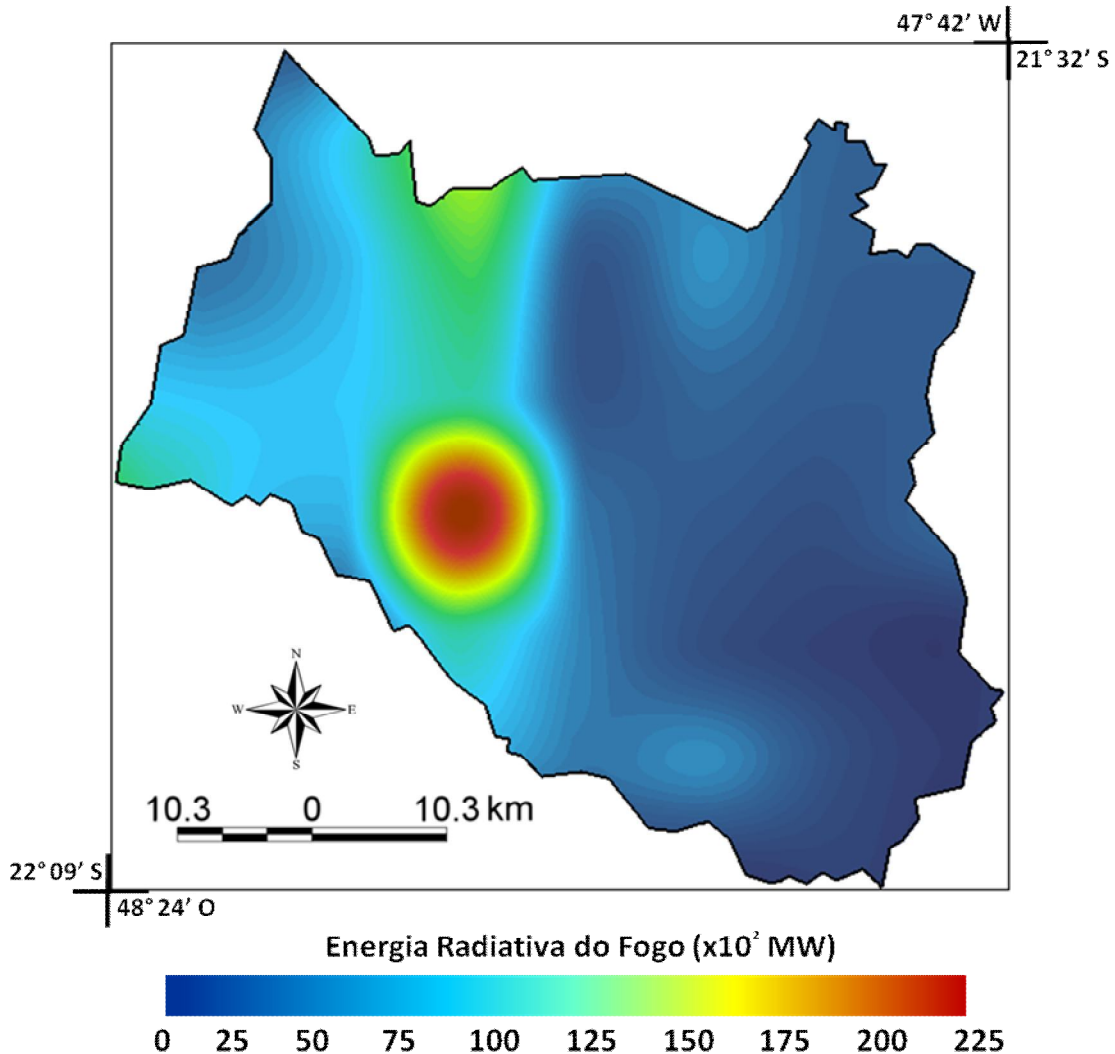


Figura 4. Total da Energia Radiativa do Fogo estimada a partir do satélite geoestacionário GOES e do satélite de órbita quase-polar EOS entre 2000 e 2008.

Para o cálculo da estimativa da quantidade de biomassa queimada aplicou-se a equação (4) proposta por Pereira (2008). A Figura 5 mostra a ERF acumulada (2000 a 2008) para cada ponto de grade da imagem. Desta forma, ao se integrar os dados, transformando os valores em $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ para toneladas (t), pôde-se estimar que o total de biomassa queimada foi de aproximadamente 200.000 t em 9 anos, ou seja, quase 21.000 t de palhada da cana-de-açúcar consumida por ano nos municípios de Araraquara, Santa Lúcia, Américo Brasiliense, Ibaté e São Carlos.

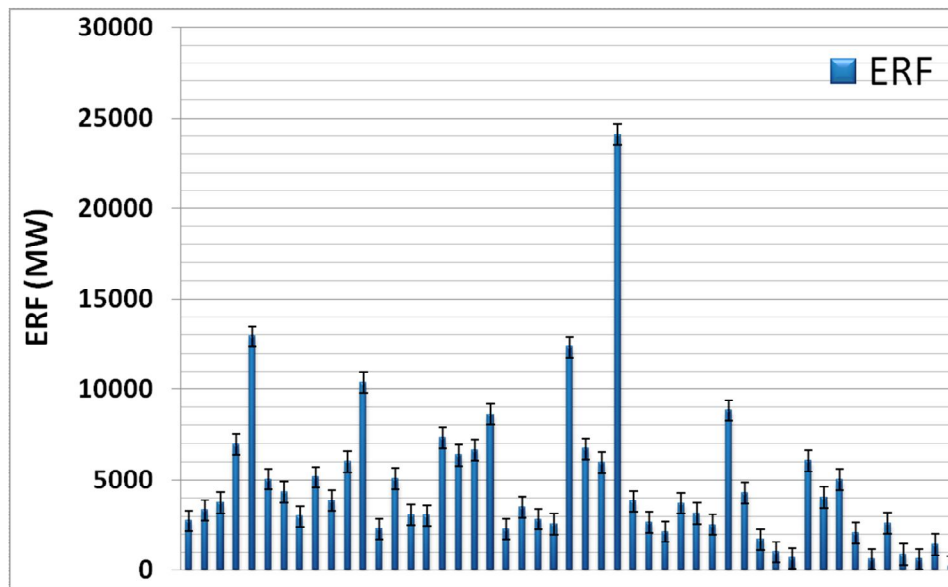


Figura 4. Estimativa da Energia Radiativa do Fogo para cada ponto de grade regular de 10 km e sua respectiva barra de erros.

A Tabela 1 mostra a emissão de material particulado total (M_p) para a área de estudo (2000 a 2008), estimada a partir da equação (5) propostas inicialmente por Ichoku e Kaufman (2005) para os dados provenientes do MODIS e adaptada para os dados do WFABBA/GOES por Pereira (2008). Em nove anos aproximadamente $1,31 \times 10^{-4}$ kg/m².s de M_p , o equivalente a 12.000 toneladas de material particulado emitidos para a atmosfera. A partir dos fatores de emissão propostos por Andreae e Merlet (2001) é possível estimar a quantidade de outras espécies de gases e aerossóis emitidos para a atmosfera, como, por exemplo, o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e material particulado com diâmetro menor que 2,5 µm (PM_{2,5µm}).

Tabela 1 – Quantidade de aerossóis e gases traço liberados para a atmosfera a partir da queima de palhada da cana-de-açúcar (2000 a 2008).

Taxa de emissão de Material Particulado total - M_p (kg/m ² .s)	Fator de Emissão (g[espécie]/kg[biomassa queimada])		Emissão (kg/m ² .s)
$1,31 \times 10^{-4}$	CO ₂	1664,0	$3,2 \times 10^{-2}$
	CO	84,0	$1,6 \times 10^{-3}$
	PM _{2,5µm}	5,6	$1,06 \times 10^{-4}$

Através deste cálculo é observado que grande parte (81%) da estimativa de material particulado emitido para a atmosfera através da queima da palhada apresenta diâmetro menor do que 2,5µm, isto significa que a taxa de emissão de material particulado total, que considera aerossóis carbonáceos com diâmetro menor do que 10 µm e, portanto, não englobam partículas consideradas fuligens.

4. Conclusões

Ao comparar os dados de alteração do albedo (período de 1987 a 2008) e os dados da Energia Radiativa do Fogo para a região de estudo, percebe-se que a maior incidência da queima de biomassa está relacionada com o surgimento de lavouras e áreas antropizadas, oriundas principalmente das modificações no uso e cobertura da terra. Ainda, a queima da palhada como um método para facilitar a colheita da cana-de-açúcar consome grandes quantidades de carbono, liberando para a atmosfera uma diversificada quantidade de gases traços e aerossóis.

Constatou-se que a alteração do albedo da superfície e a emissão de gases do efeito estufa modificaram significativamente o balanço de radiação e as trocas de energia, criando um forte desequilíbrio ambiental, modificando, desta forma, o clima local. Desta forma, tornam-se necessários estudos mais aprofundados para investigar os impactos ambientais ocasionados pela transformação de espécies nativas em culturas de cana-de-açúcar tanto no que diz respeito aos impactos causados na flora e fauna, como também nos fatores meteorológicos que os compõem.

Referências Bibliográficas

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.

ARMAS, E. D; MONTEIRO, R. T. R.; AMANCIO, A. V. **Uso de Agrotóxicos em Cana-de-açúcar na Bacia do Rio Corumbataí e o Risco de Poluição Hídrica**. *Quím. Nova*, Nov./Dec. 2005, vol.28, no. 6, p.975-982.

CANTY, M. J.; NIELSEN, A. A.; SCHMIDT, M. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, p. 441-451, 2004.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.

CONAB, 2008. Acompanhamento da safra brasileira: Cana de Açúcar, Safra 2008 – segundo levantamento Agosto de 2008. < <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/cana.pdf>>. Acesso em 10 de maio de 2009.

DOZIER, J. A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution. **Remote Sensing of Environment**, v. 11, p. 221-229, 1981.

FRANÇA, D. A.; AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T. Relação entre queima da cana-de-açúcar e saúde: estudo preliminar em municípios da Região Administrativa de Araçatuba - SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7537-7544. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.22.57>>. Acesso em: 08 maio 2009.

FREEBORN, P.H.; WOOSTER, M.J.; HAO, W.M.; RYAN, C.A.; NORDGREN, B.L.; BAKER, S.P.; ICHOKU, C. Relationships between energy release, fuel mass loss, and trace gas and aerosol emissions during laboratory biomass fires, **J. Geophys. Res.**, v. 113, n. D1, D01102, 10.1029/2007JD008489, 2008.

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.

GLOBAL LAND COVER FACILITY (GLCF). **Earth Science Data Interface**. University of Maryland. 2008. Disponível em: <<http://www.landcover.org/data/landsat>>. Acesso em: 22 Out. 2008.

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.

HALL, F; G.; STREBEL, D. E.; NICKESON, J. E.; GOETZ, S. J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, p. 11-27, 1991.

KAUFMAN, Y. J.; REMER, L.; OTTMAR, R.; WARD, D.; RONG-R, L.; KLEIDMAN, R.; FRASER, R.; FLYNN, L.; MCDUGAL, D.; SHELTON, 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.

KAUFMAN, Y. J.; JUSTICE, C. O.; FLYNN, L. P.; KENDALL, E. M. P.; GIGLIO, L.; WARD, D. E.; MENZEL, W. P.; SETZER, A. W. Potential global fire monitoring from EOS-MODIS, **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. 24, p. 32215-32238, 1998a.

KAUFMAN, Y. J.; KLEIDMAN, R. G.; KING, M. D. SCAR-B fires in the tropics: Properties and remote sensing from EOS-MODIS, **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. 24, p. 31955-31968, 1998b.

LIANG, S., Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, p. 213-238, 2000.

MIRRA, A. P.; WUNSCH, V. F. **Parecer Técnico sobre a Exposição aos Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos Presentes na Fuligem Proveniente da Queima da Cana-de-Açúcar e Ocorrência de Câncer no Município de Catanduva**. Departamento de Epidemiologia da Faculdade de Saúde Pública da USP. SP, 1998.

MORAES, E. C.; FRANCHITO, S.H.; BRAHMANANDA RAO, V. Effects of biomass burning in Amazonia on climate: A numerical experiment with a statistical-dynamical model, **Journal of Geophysical Research**, v. 109, n. D05109, p. 1-12, 2004.

NASCIMENTO, C. R.; ZULLO JUNIOR, J. Utilização de séries temporais de imagens do sensor AVHRR/NOAA-17 e modelo matemático na estimativa da produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1449-1456. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.16.42.52>>. Acesso em: 08 maio 2009.

OMETTO, A. R.; MANGABEIRA, J. A. C.; HOTT, M. C. Mapeamento de potenciais de impactos ambientais da queima de cana-de-açúcar no Brasil. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2297-2299.

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 (Dissertação de Mestrado). São José dos Campos: INPE, 2008. 105p.; (INPE-15390-TDI/1407)

PEREIRA, G.; MORAES, E. C.; ARAI, E.; OLIVEIRA, L. G. L. Estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. *Revista Brasileira de Cartografia*: RBC, v. 59, n. 1, p. 55-61, Abril 2007. Disponível em: <http://www.rbc.ufrj.br/_2007/59_1_07.htm>. Acesso em: 08 maio 2009.

PEREIRA, G. ; FREITAS, S. R. ; MORAES, E. C. ; FERREIRA, N. J. ; ALONSO, M.F. . Estimating Trace Gas and Aerosol Emissions over South America: Relationship between Fire Radiative Energy Released and Aerosol Optical Depth Observations. **Atmospheric Environment**, no prelo, 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.

RAMOS, P. **Agroindústria Canavieira e Propriedade Fundiária no Brasil**. São Paulo: Editora Hucitec. SP, 1999.

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; XAVIER, A. C.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; ROSA, V. G. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do estado de São Paulo por meio de imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2003/2004. São José dos Campos, 2004. 47 p. **INPE-10791-RPQ/759**.

SANTOS, D.; BAHIA, V. G.; TEIXEIRA, W. G. **Queimadas e Erosão do Solo**. Revista Informe Agropecuário. Volume 16. Número 176. Belo Horizonte. MG, 1992.

VERMOTE, E. F; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M.; MORCRETTE, J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.

WOOSTER, M. J. Small-scale experimental testing of fire radiative energy for quantifying mass combusted in natural vegetation fires. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 21 (doi: 10.1029/2002GL015487), 2002.

WOOSTER, M.J.; ROBERTS, G.; PERRY, G.; KAUFMAN, Y.J. Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release, **Journal of Geophysical Research**, v. 110, n. D21111: doi: 10.1029/2005JD006318, 2005.

ZAMPERLINI, G. C. M. **Investigação de Fuligem Proveniente da Queima de Cana-de-Açúcar com Ênfase nos Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs)**. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Estadual Paulista. SP, 1997.

