

Padrões de Refletância Espectral e de Temperatura das Áreas Queimadas para o bioma Cerrado

Fernando Moreira de Araújo¹
Janete Rêgo Silva¹
Laerte Guimarães Ferreira Junior¹

¹ Universidade Federal de Goiás - UFG/IESA-LAPIG
Caixa Postal 131 – 74001-970 – Campus Samambaia – Goiânia-GO, Brasil
fernandomsbl@gmail.com
janetegt25@gmail.com
laerte@iesa.ufg.br

Abstract. The Cerrado biome in relation to the others Brazilian biomes (Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica, Pampa and Pantanal) is the most affect by burns. The fires have several consequences for the biome, as the increasing of temperature, decreasing rainfall, genetic impoverishment of natural species, increases the risk of respiratory diseases and others. To comprehension of the burn behavior that occur at Cerrado in September of 2011, and the period pre (April) and pos-fire (October), we used the MOD09A1 products (spectral reflectance) and MOD11A2 (surface temperature). The results demonstrates that 62% of burnt areas recorded in September 2011 are located in the northern region of the Cerrado, while 38% in the southern region with the largest economic and industrial development. During the burn (September) were recorded the lowest values of spectral reflectance and higher surface temperature for the classes of agriculture, pasture and remnant. However, for the periods pre and pos-fire the remaining vegetation had the lowest values for both variables.

Key-words: Spectral Reflectance. Surface Temperature. Burn.

1. Introdução

O bioma Cerrado possui uma área de 2.039.387 km², localizando-se latitudinalmente e longitudinalmente entre as coordenadas 2°34' e 24°68'S e 41°52' e 60°10'W, respectivamente. O seu limite abrange 12 estados do território brasileiro e estabelece zona de transição com quatro importantes biomas (Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica e Pantanal). Esse importante bioma está entre os 34 *hotspots* de biodiversidade no mundo (MYERS et al., 2000), tanto por seus aspectos naturais, quanto pela intensa ocupação agropastoril que o transformou na principal fronteira de expansão agrícola brasileira (MIZIARA e FERREIRA, 2008).

Dentre as varias práticas de manejo e uso da terra no Cerrado está à queimada, a qual vem ocorrendo de forma mais intensificada desde o desenvolvimento da agropecuária, sendo principalmente atribuídas as práticas antrópicas, como o manejo do pasto para criação de bovinos, controle de pastagens e de pragas e expansão agrícola (RIVEIRA-LOMBARDI, 2003). No entanto, as queimadas nesse importante bioma ocorrem em maior proporção no período seco (elevada temperatura e baixa umidade relativa do ar), maio-setembro, principalmente na região norte, a qual apresenta maiores proporções de vegetação remanescente (ARAÚJO et al., 2012; FRANÇA, 2001a) e que estabelece zona de transição com a Amazônia (oeste) e Caatinga (leste).

Com a ocorrência das queimadas tem-se o aumento significativo da temperatura ambiente da superfície, uma vez que a sua intensidade está relacionada à quantidade da material combustível fino produzido durante a estação chuvosa (GUIMARÃES, 2000; MIRANDA et al., 2004). Para a análise da ocorrência e quantificação das áreas de queimadas, destaca-se o uso do sensoriamento remoto orbital, o qual permite realizar estudos com longa série temporal sobre a distribuição e o impacto do fogo sobre a superfície. Entre os vários sensores utilizados para a detecção das áreas queimadas ressalta-se o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*).

Especificamente, Este artigo objetiva analisar por meio de dados orbitais (imagens de satélite) o comportamento biofísico das áreas queimadas registradas pelo produto MODIS MCD45A1 (mapeamento de área queimada) no bioma Cerrado para o mês de setembro de 2011 em função da refletância de superfície (MOD09) e da temperatura de superfície (MOD11A2) para os períodos de pré-queimada (abril), queimada (setembro) e pós-queimada (outubro).

2. Materiais e Métodos

As áreas queimadas utilizadas para a análise foram obtidas do produto MODIS MCD45A1 (Resolução espacial de 500m e temporal de 30 dias) (ROY et al., 2008) para o mês de setembro de 2011, mês com os maiores registros de queimadas em relação aos demais, no bioma Cerrado. Entretanto, foram selecionadas somente áreas queimadas acima de 2 km², cujo o objetivo foi eliminar ruídos e obter variabilidade amostral para todas as regiões do Cerrado. A fim de geolocalizar as áreas queimadas no bioma, segundo a sua ocorrência em setembro, e de acordo com as classes de uso da terra e cobertura vegetal natural, utilizou-se o mapeamento elaborado pelo PROBIO Cerrado (MMA, 2007), o qual foi simplificado segundo três classes: agricultura, pastagem cultivada e vegetação remanescente (Figura 1).

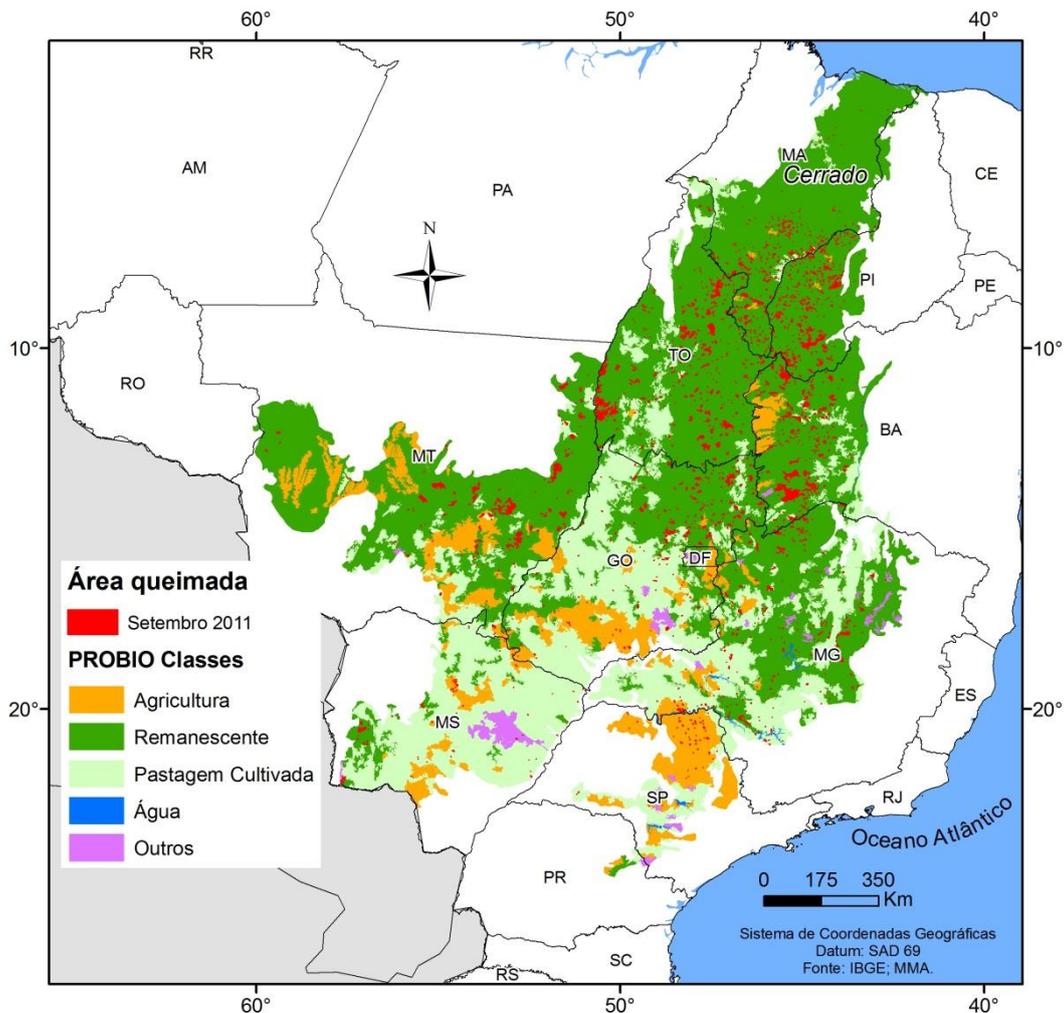


Figura 1. Localização das áreas queimadas em setembro de 2011 segundo as classes de uso da terra e vegetação remanescente para o bioma Cerrado.

Para obter a variabilidade média do comportamento das áreas queimadas em relação à refletância e a temperatura, foram selecionados três períodos, sendo estes, abril (mês final da

estação chuvosa), setembro (mês final da estação seca) e outubro (início da estação chuvosa), em que o mês de outubro nos mostra, teoricamente, a recuperação da cobertura vegetal, seja ela antrópica (agricultura, pastagem, etc.) ou remanescente (natural). Não foi selecionado nenhum mês entre novembro a março, estação chuvosa, devido a maior concentração de nuvens na região central do Brasil, as quais saturam/mascaram os valores obtidos para o objeto de estudo, ou seja, as queimadas.

Os dados orbitais utilizados para a compreensão do comportamento biofísico das queimadas, foram à refletância espectral e temperatura relativa média das áreas queimadas para o mês de setembro de 2011. Estes dados fazem parte da série dos produtos MODIS, sendo: MOD09A1 (refletância da superfície) (VERMOTE, 2011) e MOD11A2 (temperatura de superfície) (WANG e MYERS, 2008).

Ambos os produtos MODIS passaram por três níveis de processamento, para obtenção dos dados que compõem essa análise, no primeiro nível, foi realizado o mosaico e a reprojeção do dado original (sinusoidal) para sistema de coordenada cartográfica e datum WGS 84, por meio da ferramenta MRT (MODIS REPROJECTION TOOLS); o segundo nível está relacionado à aplicação de limiares (matemática de bandas) para obtenção dos valores válidos; e o terceiro passo é obter os valores médios da refletância espectral e de temperatura de superfície (°C) para cada área queimada.

O produto MODIS MOD09A1, refletância espectral dos alvos da superfície terrestre, satélite TERRA, possui resolução espacial de 500m, a qual adequa-se a resolução do MCD45A1, e temporal de 8 dias. Este produto disponibiliza 7 bandas espectrais situadas no comprimento de ondas do visível, infravermelho próximo e de ondas curtas, mais uma banda de qualidade. Contudo, nessa análise foram utilizadas as bandas 2 (841-876 nm) e 5 (1230-1250 nm) para obtenção dos valores médios de refletância em cada área queimada no período de abril (dias 89 a 121) ou pré-queimada, setembro (dias 241 a 273) ou queimada, e outubro (dias 281 a 305) ou pós-queimada. As duas bandas espectrais mencionadas anteriormente, e a banda 7 (2105-2155 nm) do MOD09A1 são utilizadas para a obtenção das áreas queimadas, pelo produto MCD45A1 por meio do algoritmo que utiliza o modelo Função de Distribuição da Refletância Bidirecional de superfície (BRDF), para modelar as diferenças das refletâncias de superfície à variação do ângulos de elevação solar e de visada do satélite (RIVEIRA-LOMBARDI, 2009).

Por sua vez, o produto MODIS MOD11A2 gerado pelo satélite TERRA e AQUA é disponibilizado a cada 8 dias, tendo uma resolução espacial de 1km, o mesmo tem como principal produto o algoritmo LST, que por sua vez para ser gerado constitui em uma somatória dos dados de temperatura de superfície, refletividade/emissividade da superfície, emissão atmosférica, espalhamento e absorção da radiação térmica sob a superfície e radiação solar diária. Neste artigo foi utilizada apenas a banda do MOD11A2 LST, a fim de identificar as variações de temperatura na superfície, durante e após a queimada.

Cada um dos 2.170 polígonos de queimadas (MCD45A1) foram classificados de acordo com a interseção realizada com as três classes de uso da terra supracitadas, no entanto, polígonos de queimadas que se localizaram em mais de uma classe foi categorizado como heterogêneo, para então obter padrões de refletância espectral e temperatura da superfície para os períodos analisados.

3. Resultados e Discussões

As áreas queimadas (> 2 km, total de 2.170 polígonos) localizadas no bioma Cerrado para setembro de 2011 atingiram 27.145 km², correspondendo a 62% do total registrado para 2011 (42.430 km²). Basicamente, as queimadas atingiram em maior extensão territorial a vegetação remanescente (23.387 km²), pastagem cultivada (1.907 km²), agricultura (948 km²) e

reflorestamento (115 km²), correspondendo a 89%, 7%, 4% e 0,4%, respectivamente. As queimadas registradas no perímetro urbano não se mostraram significativas.

As queimadas que ocorreram no mês de setembro de 2011 apresentam diferentes extensões, segundo o grau de fragmentação da paisagem em acordo com o grau de consolidação dos processos de uso, ocupação e produção da terra pelos meios econômicos hegemônicos na região do Cerrado (produção agrícola de *commodities* e pecuária extensiva de corte e leiteira) (MONDARDO, 2010). Dessa forma, apresentam-se dois padrões de espacialização das áreas queimadas no Cerrado, sendo, o primeiro padrão caracterizado pela ocorrência das queimadas em pequenas áreas ou de pequenas proporções devido ao alto grau de fragmentação da paisagem, em função da consolidação da produção de grãos (soja, milho, cana-de-açúcar, etc.) e da pecuária. O primeiro padrão está localizado nas regiões sul e oeste do Cerrado, nas porções dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, nesses estados localizam-se 38% das áreas queimadas em setembro de 2011.

O segundo padrão é marcado por registros de queimadas em maiores proporções ou em grandes áreas situadas em regiões que apresentam moderada fragmentação da paisagem devido à conservação de extensas áreas de vegetação remanescente, predominantemente localizadas nas regiões norte e leste do Cerrado, as quais se encontram no processo de expansão e consolidação da fronteira agrícola nos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia. Nesses quatro estados supracitados anteriormente, concentra-se 62% (16379 km²) das áreas queimadas em set/2011, destacando-se Tocantins e Bahia, com 35% e 31% das áreas queimadas localizadas em seus limites, respectivamente.

3.1 Áreas queimadas: Comportamento da Refletância espectral e temperatura

A refletância espectral das áreas queimadas (> 2 km²) no Cerrado apresenta considerável diferença entre os valores médios totais, obtidos para abril (final da estação chuvosa), setembro (final da estação seca) e outubro (início da estação chuvosa), sendo de 0,28 (28%), 0,18 (18%) e 0,29 (29%) respectivamente. No entanto, estabelecendo a regressão linear simples entre os períodos da análise para os valores de refletância obtidos nas áreas queimadas, a correlação estabelecida é fraca, ou seja, há queda da refletância do período seco em função do início e final do período chuvoso (Figura 2a, b e c). Na figura 2d temos a distribuição das refletâncias médias segundo os dias do ano, em que se observa os menores registros de refletâncias no dia 265 (0,21) e o máxima no dia 305 (0,32), período de pós-queimada.

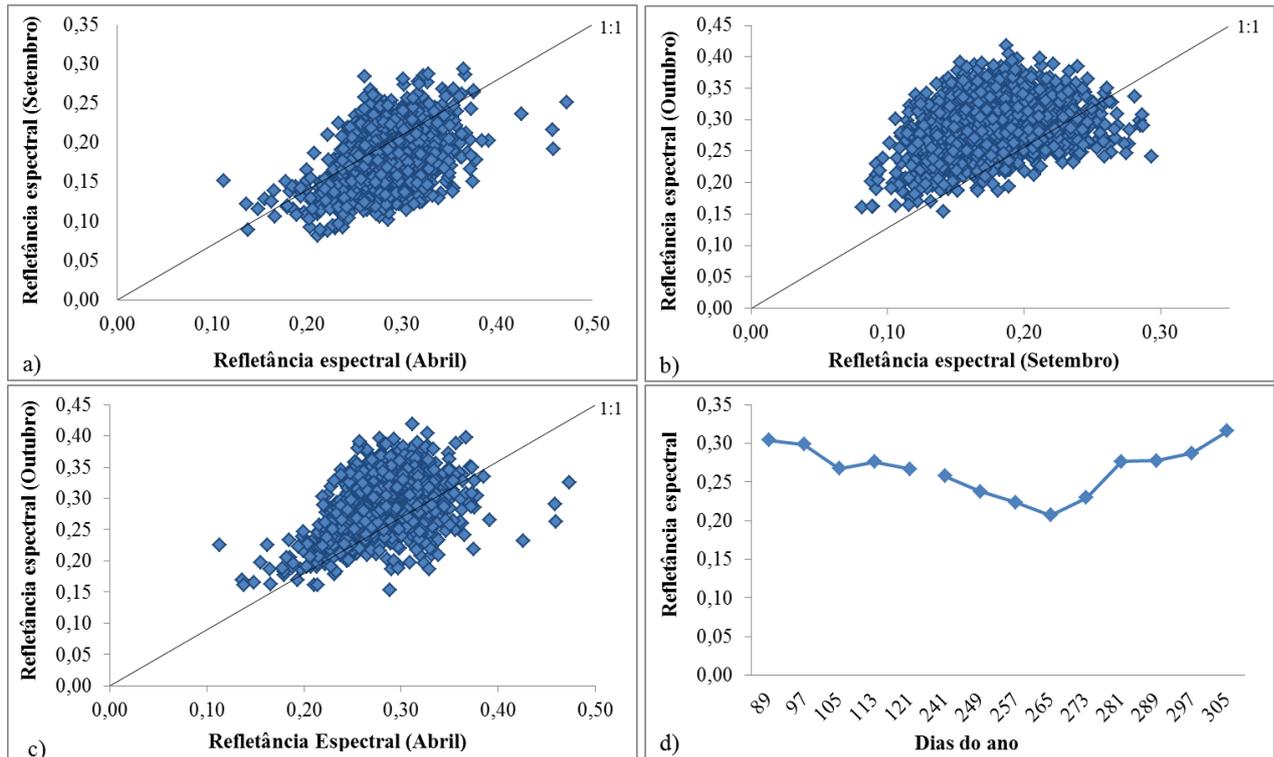


Figura 2. Gráficos de correlação da refletância espectral dos polígonos de áreas queimadas para os períodos de abril, setembro e outubro para o bioma Cerrado.

Realizando a distribuição da refletância espectral segundo os dias do ano, para as áreas queimadas, tem-se em abril (89 – 121), período pré-queimada, amplitude média dos valores de refletância de 0,03 (3%), enquanto para setembro (241 – 273) esta variação é de 0,05 (5%) (Figura 2d). Deve-se ressaltar que entre os dias 241 a 265 tem-se a redução dos valores da refletância, período o qual ocorre em maior intensidade às queimadas, uma vez que, entre os dias 265 e 305, há o aumento gradual da refletância, coincidindo com os primeiros registros de precipitações pluviométricas no final de setembro e em outubro no Cerrado, após longo período de seca (baixa umidade relativa do ar), os quais promovem rápida recuperação da vegetação rasteira, sobretudo as pastagens.

Em relação à temperatura média das áreas queimadas registradas em setembro, o pico máximo obtido foi de 45°C e mínima de 28°C, apresentando amplitude térmica de 17°C, enquanto para abril e outubro (pré e pós-queimada), a variação da diferença entre as temperaturas é ainda maior, 18°C e 29°C, com temperaturas máximas de 33°C - 46°C e mínimas de 15°C e 17°C, respectivamente. A correlação linear simples encontrada entre o período pré-queimada, queimada e pós-queimada é fraca, ou seja, encontra-se abaixo de $R^2=0,2$, no entanto, ao contrário dos valores obtidos para a refletância espectral, tem-se aumento significativo da temperatura no período final da estação seca em função do período inicial (outubro) e final (abril) da estação chuvosa (Figura 3). As maiores e menores médias de temperaturas em função da amostra foram encontradas para os dias 273 e 305, respectivamente.

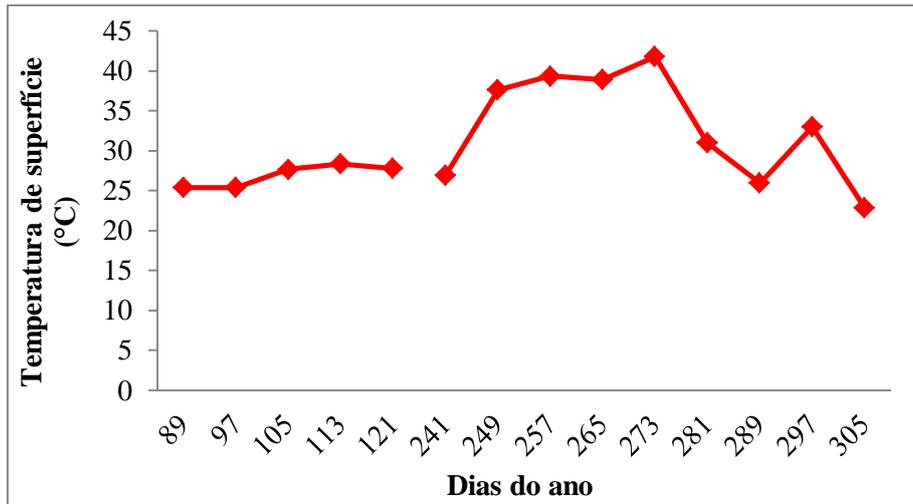


Figura 3. Temperatura de superfície das áreas queimadas para os períodos de abril, setembro e outubro de 2011 no bioma Cerrado.

Estabelecendo a distribuição da refletância espectral e a temperatura de superfície das áreas queimadas segundo as classes de uso da terra e cobertura vegetal remanescente, temos que as classes de agricultura e pastagem nos períodos de pré-queimada e queimada apresentaram valores de refletância maiores do que os obtidos para as áreas remanescentes. Entretanto, para o período de pós-queimada, os valores de refletância são próximos para a agricultura e a vegetação remanescente, 0,28 (28%), da mesma forma para a pastagem e a classe heterogênea, 0,30 (30%) (Figura 4).

Na figura 4 podemos notar dois padrões distintos para as queimadas em áreas remanescentes em relação às demais classes comparadas, sendo, o primeiro padrão está relacionado à maior eficiência ou severidade da queimada devido a maior disponibilidade de material combustível fino, e o segundo padrão é a rápida recuperação da vegetação no período pós-queimada, sobretudo pela ocorrência das primeiras chuvas após o período seco.

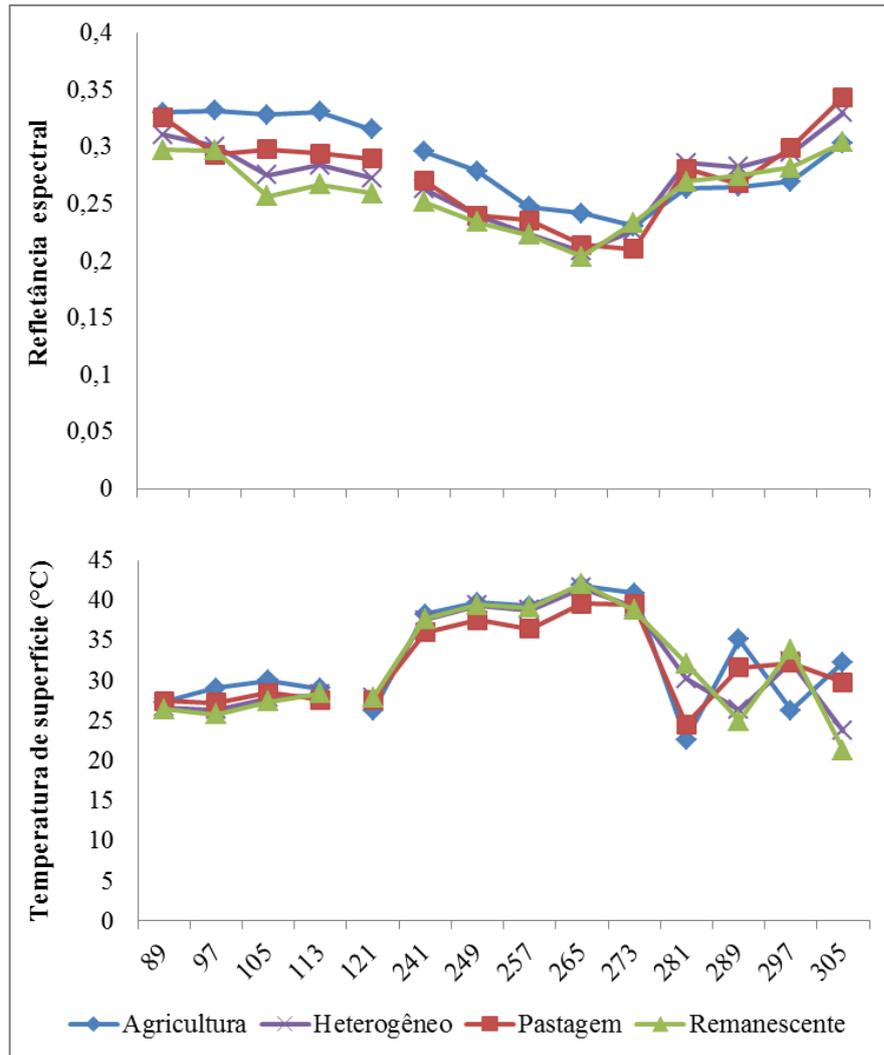


Figura 4. Refletância espectral e Temperatura da superfície dos polígonos de área queimada segundo as classes de uso da terra e vegetação remanescente no bioma Cerrado, 2011.

Em relação ao comportamento da temperatura de superfície para as regiões queimadas nos três períodos, o pré-queimada apresentou, em média, para as quatro classes de uso da terra analisadas, temperatura de 27,6°C, enquanto para os períodos queimadas e pós-queimada, 39,1°C e 28,7°C, respectivamente. As áreas queimadas localizadas sobre os remanescentes em abril apresentaram em média registros de temperatura menor do que em áreas de agricultura e pastagem, 1,1°C e 0,5°C, respectivamente. Contudo, no período da queimada, setembro, as queimadas sobre vegetação remanescente apresentaram maiores valores de temperatura em relação à classe pastagem (em torno de 1,5°C), mas com amplitude térmica próxima as queimadas localizadas sobre áreas de agricultura e heterogênea. Para o período pós-queimada, é apresentado as maiores variações térmicas entre as classes de uso da terra analisadas, sobretudo para as áreas remanescentes, com amplitude térmica aproximada de 12°C entre os dias 297 e 305.

4. Considerações Finais

As queimadas são utilizadas como forma de manejo em diversas áreas do bioma Cerrado, estas, por sua vez, vêm causando intensa modificação nas condições ambientais desse bioma. Observou-se mudanças nos parâmetros biofísicos de temperatura da superfície e

refletância para as áreas queimadas em setembro em função dos períodos de abril e outubro. Contudo, a classe de vegetação remanescente foi a que mais sofreu variação nos valores obtidos, que por consequência, é a mais afetada pelos efeitos deletérios das queimadas, principalmente na região norte do Cerrado.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior (CAPES), Fundação de Apoio à Pesquisa da UFG e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), cujas bolsas concedidas aos autores (doutorando, pesquisadora e produtividade em pesquisa, respectivamente) foram imprescindíveis à realização desta pesquisa.

Referências

FRANÇA, H. ; SETZER, A. . AVHRR analysis of a savanna site through a fire season in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 22, n. 13, p. 2449-2461, 2001^a.

GUIMARÃES, R. J. P. S. **Seleção das bandas do sensor Modis Airbone Simulator (MAS) na discriminação de queimadas**. São José dos Campos: INPE, 2000. 84p.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapeamento da cobertura vegetal do bioma cerrado, relatório final**. Edital Probio 02/2004. Projeto Executivo B.02.02.109. Brasília, junho 2007.

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; ANDRADE, S. M. A.; HARUDASAN, M.; MORAIS, H. C. Queimadas de Cerrado: caracterização e impactos. In: Aguiar, L. M. S.; Camargo, A. J. A (Org.). **Cerrado: ecologia e caracterização**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. Cap. 3, p. 69-123.

MIZIARA, F.; FERREIRA, N.C. Expansão da fronteira agrícola e evolução da ocupação e uso do espaço no Estado de Goiás: subsídios à política ambiental. In: Laerte Guimarães Ferreira Jr. (Org.). **A encruzilhada socioambiental** - biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado. 1 ed. Goiânia: Editora UFG, v. 1, 2008.

MONDARDO, M.L. Da migração sulista ao novo arranjo territorial no oeste baiano: “Territorialização” do capital no campo e paradoxos na configuração da cidade do agronegócio. *Campo-Território: revista de geografia agrária*, v.5, n.10, p. 259-287, ago. 2010.

ARAÚJO, F. M., FERREIRA L.G., ARANTES A.E. Distribution Patterns of Burned Areas in the Brazilian Biomes: An Analysis Based on Satellite Data for the 2002–2010 Period. **Remote Sensing**. 2012; 4(7): 1929-1946.

MYERS, N., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., DA FONSECA, G.A.B. & KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403: 853-858, 2000107-125, 2008.

RIVERA-LOMBARDI, R. J. **Estudo da recorrência de queimadas e permanência de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat**. São José dos Campos: INPE, 2003. 172p. – (INPE-12663-TDI/1006).

RIVERA-LOMBARDI, R. J. **Estimativa de áreas queimadas com produtos MODIS como subsídio à estimativa de emissões de gases de efeito estufa pela queima de biomassa na Amazônia e Cerrado brasileiros**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2009.

ROY, D.P.; BOSCHETTI, L.; JUSTICE, C. O.; JU, J. The Collection 5 MODIS Burned Area Product - Global Evaluation by Comparison with the MODIS Active Fire Product. **Remote Sensing of Environment**, 112, 3690-3707, 2008.

VERMOTE E.F., **Atmospheric correction algorithm: Spectral Reflectances (MOD09)**, Version 3.0, MODIS Algorithm Technical Background Document, EOS ID #2015, 2011.

WANG W, L. S, MEYERS T. 2008. Validating MODIS land surface temperature products using long-term nighttime ground measurements. **Remote Sensing of Environment** 112(3): 623-635.