

## **Distribuição espacial da temperatura de superfície no bioma cerrado: uma análise a partir de dados orbitais de resolução moderada, para o período de 2003 a 2008.**

Nicali Bleyer Ferreira dos Santos<sup>1</sup>

Laerte Guimarães Ferreira Júnior<sup>2</sup>

Nilson Clementino Ferreira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás – UFG /Instituto de Estudos Socioambientais.  
Caixa Postal: 131 CEP 74001-940 Campus Samambaia Goiânia – GO, Brasil  
nicalibleyer@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Goiás – UFG /Instituto de Estudos Socioambientais.  
Caixa Postal: 131 CEP 74001-940 Campus Samambaia Goiânia – GO, Brasil  
laerte@iesa.ufg.br

<sup>3</sup>Universidade Federal de Goiás – UFG / Escola de Engenharia Ambiental.  
Caixa Postal: 131 CEP 74001-940 Campus Samambaia Goiânia – GO, Brasil  
ncferreira@uol.com.br

**Abstract.** The Cerrado occupies approximately 23% of the Brazilian territory and the differentiation of its landscape is associated with different physical factors, with the climate and its strong seasonality playing a decisive role. In this context, an important variable to be examined is the land surface temperature (LST), which, in spite of its importance (for energy balance models and analysis of local climate - as it is sensitive to changes in land cover and influences the variability of precipitation) is still poorly considered. With this respect, this study, through the analysis of the MODIS LST product (MOD11A2), aimed at a better understanding of the spatial behavior of surface temperatures in the Cerrado biome, based on the analysis of using data from MODIS product MOD11 - Land surface temperature in a seasonal crop (129 and 257 days - early and late dry season) for a period of six years (2003-2008). Our results, depicting surface temperatures for the early and late dry seasons (DOY 129 and 257), for a period of six years (2003 – 2008), over the states of Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul and Bahia (areas known for intensive use for agriculture and livestock), confirmed the conspicuous seasonal behavior and strong land-cover land-use dependency of the space-based temperature estimates.

**Palavras-Chave:** remote sensing, MODIS – product MOD11, multitemporal analysis, seasonality, sensoriamento remoto, MODIS – produto MOD11, análise multitemporal, sazonalidade.

### **1.Introdução**

O Cerrado ocupa cerca de 23% do território nacional e faz parte do ecossistema das Savanas Tropicais - ambientes fitogeográficos que, em sua maioria, estão situados entre os Trópicos de Câncer e de Capricórnio e são caracterizados pela presença de uma camada contínua de vegetação herbácea e um dossel descontínuo de arbustos e árvores, cobrindo quase um quarto da superfície do globo terrestre (GOERT *et al*, 2008) (Figura 1).



Figura 1: Localização das savanas no mundo.

A formação das diversas paisagens no Cerrado está associada a diferentes formações geológicas, estruturas de relevo e classes de solo que, associadas com as diferentes condições climáticas, caracterizam o bioma como um mosaico de formações vegetais que variam desde campos abertos até formações densas de florestas (COSTA e OLSZEWSKI, 2008; RIBEIRO e WALTER, 1998). Entre as principais características do bioma destacam-se a baixa declividade de seu relevo, a aptidão agrícola de grande parte de seus solos (representada principalmente pela classe de latossolos) e a sazonalidade marcante. O clima é caracterizado por invernos secos e verões chuvosos (clima Aw – tropical chuvoso / classificação de Köppen), com elevada variabilidade relativa da precipitação, cuja distribuição crescente das chuvas ocorre no sentido leste para oeste. Possui moderada umidade relativa do ar (a maior parte do bioma apresenta umidade relativa média anual entre 60% e 80%) com os índices mais baixos encontrados no limite com o Nordeste brasileiro e em grande parte do estado de Goiás. As médias de temperatura do ar sofrem um aumento relativo no sentido sul-norte do bioma, onde os valores mais elevados são encontrados nas regiões sul dos estados do Maranhão e do Piauí e no sudoeste da Bahia (entre 23°C e 27°C). Os menores valores das médias de temperaturas do ar são observados na parte centro-sul do bioma, nos estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, com temperaturas oscilando entre 18°C e 22°C. Durante o verão, as médias mensais de temperaturas apresentam regularidade quanto ao seu comportamento espaço-temporal, ou seja, os valores estão sempre aumentando no sentido sul-norte. Já no inverno, as temperaturas, apesar de também aumentarem no sentido sul-norte, possuem valores significativamente mais baixos na porção sul do bioma (SILVA *et al*, 2008).

O clima desempenha um papel determinante no Cerrado, tanto nas características biofísicas, quanto na forte correlação temporal e espacial da vegetação (RATANA, 2005; FERREIRA e HUETE, 2004; FERREIA *et al*, 2003). Nesse contexto, uma variável importante de ser analisada é a temperatura de superfície, pois evidencia as representações dos processos de dependência da interface solo/atmosfera e atua sobre os climas locais, uma vez que as variações termiais na superfície podem favorecer o aceleração do processo de evaporação, transformando o estado físico da água e aumentando a quantidade de vapor enviado a atmosfera (RICKLEFS, 1996; CHEDE, 1974).

Esta variável, assim como a temperatura do ar, além de depender de uma série de fatores externos (incidência de radiação, ciclo diário e anual, latitude, tipos de cobertura, topografia, altitude) e internos (umidade, composição química dos elementos do solo, etc.), costuma responder rapidamente às mudanças na cobertura do solo, já que a presença de cobertura vegetal auxilia na regulação termal de superfície através do processo de evapotranspiração (RICKLEFS, 1993).

Apesar de sua importância e de existirem uma grande quantidade de sensores que atuam na esfera do infravermelho termal (Landsat, AVHRR, CBERS, MODIS), estudos sobre a

variável biofísica temperatura de superfície ainda são restritos, principalmente no Brasil. Em sua grande maioria as pesquisas estão relacionadas à variabilidade termal dos mares e oceanos, verificação do fenômeno de ilhas de calor urbano e aplicações na agricultura (a temperatura de superfície interfere diretamente na germinação das plantas) (GILLET *et al.*, 2008; GUSSO *et al.*, 2007; SILVA e SANTOS, 2007; COLTRI *et al.*, 2007; ZHANG *et al.*, 2007; RAYNER *et al.*, 2005; BAPTISTA *et al.*, 2005; TESA e BAPTISTA, 2005; WENG *et al.*, 2002).

Neste sentido, o presente trabalho procurou fornecer subsídios que possam contribuir com o entendimento do comportamento espacial da temperatura de superfície no bioma Cerrado, utilizando dados do sensor MODIS, produto MOD11 – *Land Surface Temperature* em um recorte sazonal (início e final da seca) para um período de 6 anos (2003/2008).

## 2. Metodologia de trabalho

O presente estudo abrange toda a área do bioma Cerrado, escolhido, dentre outros fatores, pela grande importância no cenário da biodiversidade mundial - *hotspots* (MYERS *et al.*, 2000) e à rápida conversão de suas paisagens naturais (SANO, 2008; SANO 2009). A Figura 2 mostra a localização da área de estudo com as cenas (*Tiles*) do sensor MODIS utilizadas na pesquisa.

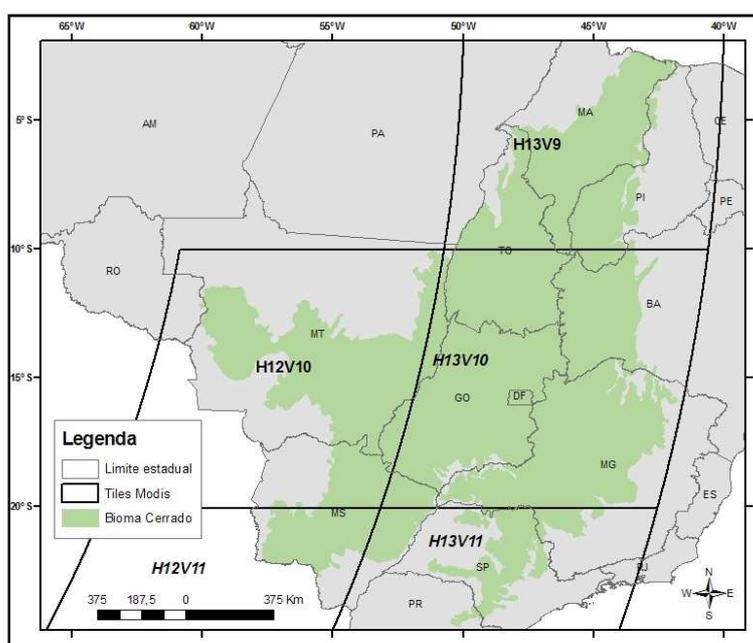


Figura 2: Mapa de localização da área de estudo e dos *tiles* MODIS utilizados na pesquisa.

As informações utilizadas para a análise de temperatura de superfície - TS são provenientes do sensor MODIS (tido como um dos melhores sensores em resolução radiométrica dentre os sensores termais), Produto MOD11A2 (*Land Surface Temperature-LST*), Coleção 5, com resolução espacial de 1km. A informação de temperatura de superfície produzida por este sensor utiliza o algoritmo LST para o cálculo de TS, incluindo o *Day/night LST algorithm* (WAN e LI, 1997), desenvolvido especificamente para o MODIS, que produz imagens termais diurnas e noturnas para toda a superfície da Terra, com periodicidade diária, validadas a partir de imagens MAS (*MODIS Airborne Simulator*) e por mensurações de campo conduzidas em 1996-1998 (WAN *et al.*, 1998). O Produto MOD 11 incorpora em seu algoritmo dados de emissividade, ângulo de visada (desenvolvido para corrigir os efeitos atmosféricos), informações sobre a reflectância da superfície, emissão, absorção e dispersão atmosférica, assim como informações sobre a radiação solar do dia. Deve-se ainda ressaltar a

resolução radiométrica de 16 bits, a qual confere maior estabilidade à imagem (MODIS *Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD) Version 3.3*, 1999).

O produto A2 é uma composição de oito dias, realizada a partir de dados diários gerados pelo produto A1. Quanto a coleção 5, esta foi utilizada por apresentar melhorias metodológicas significativas quando comparada à coleção 4 (WAN, 2007b), com dados calibrados com base em novas medições *in situ* em mais de 50 estudos de caso medidos a céu aberto, com variações termais entre -10 °C e 58 °C (WAN, 2007; COLL *et al.*, 2005; WAN *et al.*, 2004; 2002; SNYDER *et al.*, 1998).

Dentre as duas plataformas disponíveis para a obtenção dos dados de temperatura de superfície (TERRA e AQUA), optou-se pela utilização do satélite TERRA, visto que análises preliminares mostraram que as informações obtidas através dessa plataforma apresentam menor contaminação das informações por nuvens, após a aplicação do *Quality Control – QC* (Figura 3). O Controle de qualidade automático – QC, que acompanha cada imagem LST, é fornecido para cada pixel, onde são considerados os seguintes parâmetros: a exatidão radiométrica; variações espaciais de temperatura; classificação da cobertura do solo; efeito das nuvens; efeito da mistura dos diversos tipos de cobertura do solo; e efeito de topografia (WAN *et al.*, 1998; WAN, 2007b).

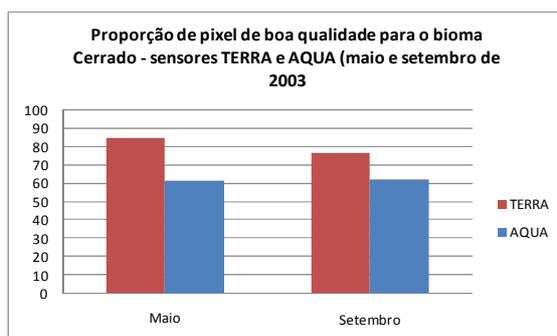


Figura 3: Gráfico de comparação dos dados LST (maio e setembro) obtidos pelas plataformas TERRA e AQUA após a aplicação do controle automático de qualidade.

Como os dados originais do Produto MOD11 são fornecidos em Kelvin, foi necessário utilizar um fator de conversão para que os dados da imagem fossem transformados para graus Celsius.

Fator de conversão:

$$PgC = (B1 * 0.02) - 273$$

onde

PgC é o valor do pixel em graus Celsius e

B1 é o valor original do pixel em graus Kelvin.

[1]

As imagens *Land Surface Temperature* foram processadas para todo o Cerrado para os dias 129 e 257 - início e final da seca, respectivamente, no intervalo temporal de 2003 a 2008, totalizando 60 *tiles* do produto MOD11 (12 mosaicos de imagens de temperatura de superfície). A escolha pelo período de análise ocorreu devido à importância da sazonalidade no bioma, principalmente no que diz respeito a sua correlação com a vegetação.

### 3. Resultados e discussão

Assim como comumente ocorre com a temperatura do ar, a temperatura de superfície atingiu valores elevados no período considerado seco no bioma Cerrado (mês de setembro) e valores de temperatura de superfície menores nos meses de maio.

A distribuição da temperatura de superfície, conforme os limites estaduais do Brasil (Figuras 4 e 5), mostrou que o oeste do estado da Bahia, as porções do sudoeste e do noroeste goiano e a porção centro sul dos estados do Mato Grosso e do Mato Grosso do Sul, foram as regiões que apresentaram os mais altos e recorrentes valores (tanto nos meses de maio, quanto nos meses de setembro) de temperaturas de superfície. Estas regiões têm em comum uma forte antropização, seja pelo uso intensivo para práticas agrícolas (como é o caso do oeste da Bahia e do sudoeste goiano), seja pela forte presença da pecuária (como acontece nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e no noroeste goiano). O estado do Tocantins também apresentou temperaturas de superfície elevadas, distribuídas de forma espaçada em seu território. Embora estas áreas não apresentem uma intensa relação com a agricultura e a pecuária, a consolidação do território urbano do Tocantins induz ao desmatamento, fato este que também pode alterar os valores de temperatura de superfície.

Os resultados da distribuição da TS com base nos limites estaduais, não seguiram a mesma distribuição da temperatura do ar, no qual os valores mais elevados ocorreram nos estados do Maranhão, Piauí e no sudoeste da Bahia e as temperaturas mais amenas registradas nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Também não ficou evidente um aumento relativo da temperatura de superfície no sentido sul-norte, como observado por Silva *et al* (2008).

É interessante observar nos mapas que, apesar da ausência de dados em algumas áreas do bioma em decorrência da presença de nuvens, o comportamento sazonal da temperatura de superfície no Cerrado é bastante evidente. Para os meses de maio, os maiores valores de TS registrados no Cerrado ficaram entre 40°C e 47°C, no entanto, espacialmente, predominaram temperaturas entre 20°C e 30°C. Nos meses de setembro as temperaturas mais altas ficaram entre 40°C e 60°C, sendo que espacialmente prevaleceram temperaturas entre 30°C e 40°C. O que vemos então é um aumento, de praticamente 10°C da TS em uma grande parte do bioma, de um período para o outro, com picos de temperaturas na estação seca superiores à 50°C em todos os anos analisados. Observa-se também que os valores máximos de TS registrados foram maiores do que os valores máximos de temperatura do ar (24°C e 33°C) registrados por Silva *et al* (2008).

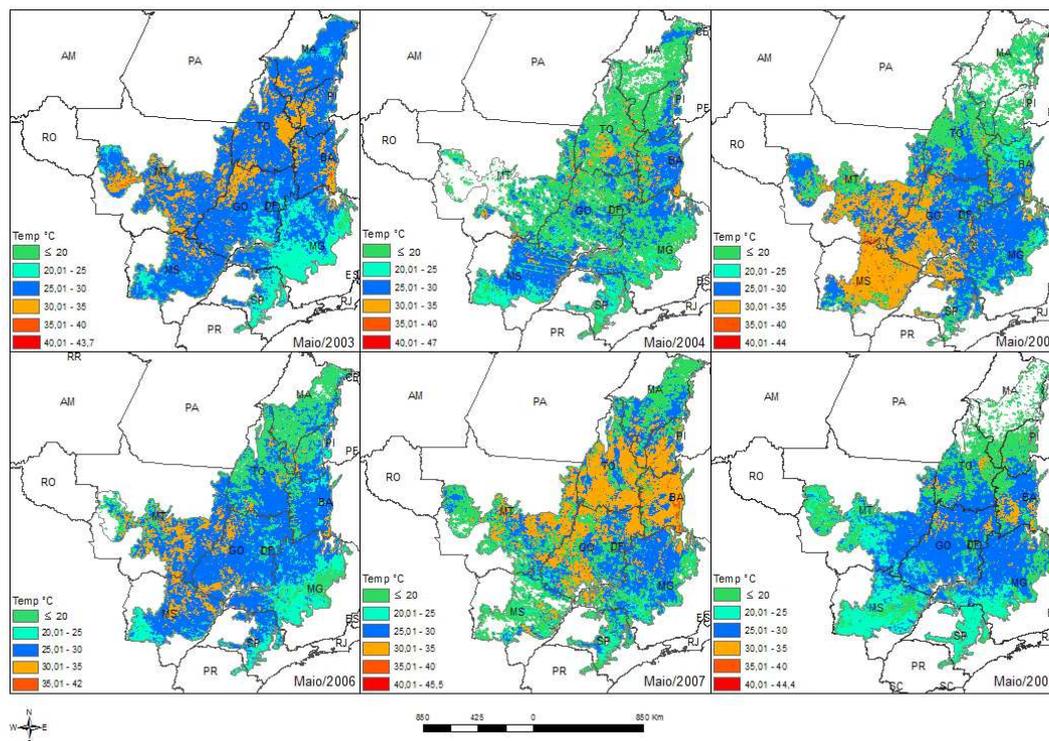


Figura 4: Distribuição da TS no Cerrado conforme os limites estaduais (maio). As informações são disponibilizadas com a escala de 5°, por ser esta a mais utilizada em mapas de temperatura. Os espaços em branco representam a ausência de dados.

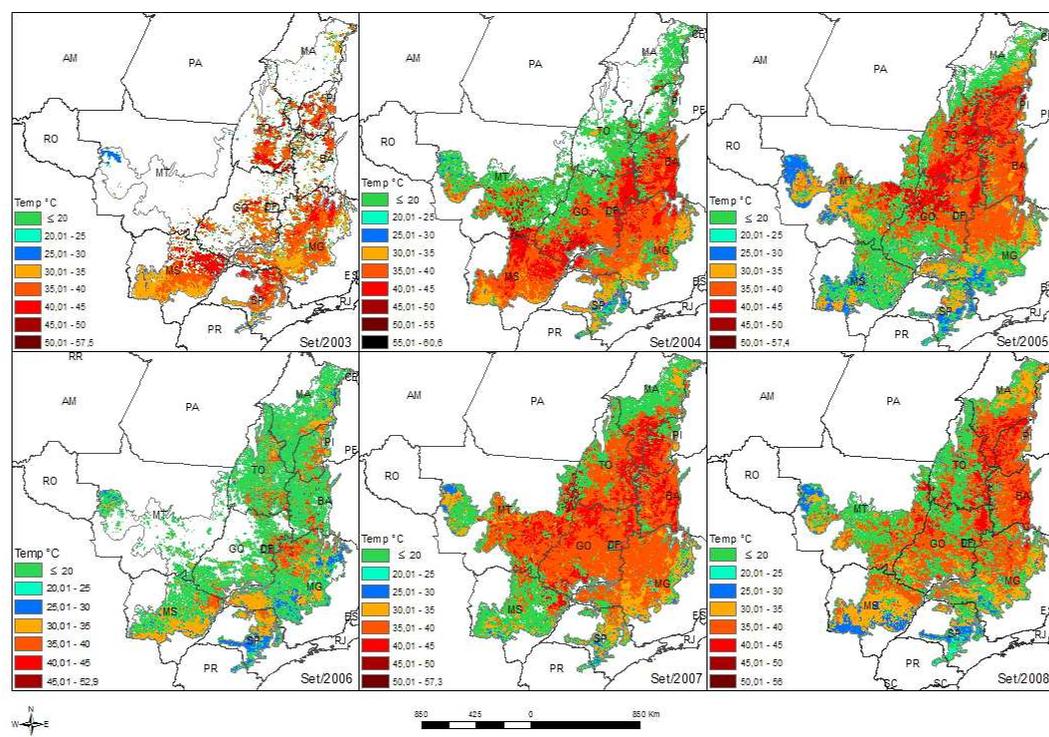


Figura 5: Distribuição da TS no Cerrado, conforme os limites estaduais (setembro). Os espaços em branco representam a ausência de dados. As informações são disponibilizadas com a escala de 5°, por ser esta a mais utilizada em mapas de temperatura. Os espaços em branco representam a ausência de dados.

#### 4. Conclusões

A influência sazonal no Cerrado, assim com ocorre com outros componentes físicos da paisagem, como a vegetação, mostrou-se evidente na variável biofísica temperatura de superfície. No entanto, o comportamento termal de superfície no Cerrado deve ser confirmado a partir de um período maior de análise, fazendo-se necessário um estudo, a partir de séries temporais, que considere todos os meses do ano.

O aumento da temperatura de superfície não seguiu o padrão espacial de aumento da temperatura do ar (aumento da temperatura no sentido sul-norte). No entanto cabe destacar que as análises realizadas aqui com dados orbitais de temperatura de superfície são provenientes de dados absolutos e as informações de temperatura do ar são provenientes de dados relativos de estações meteorológicas, através de método de extrapolação. Dessa forma, se faz necessário uma análise que compare efetivamente as temperaturas do ar e as temperaturas de superfície estimadas pelo sensor MODIS. Além disso, a correlação entre a temperatura de superfície e a antropização de superfície poderá ser melhor aferida a partir da utilização de sensores de melhor resolução espacial.

Apesar dos dados de temperatura de superfície apresentados neste estudo indicarem o comportamento desta variável no bioma Cerrado, esta informação ainda precisa ser refinada através da verificação de padrões de distribuição. Dessa forma, se faz necessário a ampliação do período de análise (análise anual para o intervalo de 6 anos) e a comparação das informações através do Método de Sturges, que permitirá padronizar a escala de análise da variável temperatura de superfície.

#### Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás (CIAMB – UFG). O primeiro autor foi bolsista do CNPq, enquanto o segundo e terceiro autores são bolsistas de produtividade em pesquisa (1C e II, respectivamente). Os autores reconhecem e agradecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), bem como do CNPq (Edital Universal 471198/2009-9).

#### Referências Bibliográficas

ANA (Agência Nacional de Águas). **Política Nacional de Recursos Hídricos** (Lei 9233/1997).

Andersen, H.S, Land surface temperature estimation based on NOAA-AVHRR data during the HAPEX-Sahel experiment. **Journal of Hydrology**, v.189, p.788-814. 1997.

Baptista. G, M, de M.; Carvalho. J, M.; Camacho. R, G, V.; Bias. S. E.; Zara. F, L, Variação sazonal da vegetação e da temperatura de superfície em Mossoró, RN, por meio de dados ASTER. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 2843-2850. Goiânia, 2005.

Chede, Cezar. Farid. **Manual de Meteorologia Aeronáutica**. ETA Editora Técnica de Aviação LTDA. Rio de Janeiro, abril de 1974.

Coltri. P. P.; Velasco. N. D. G.; Polizel. L. J.; Demetrio. A. V.; Ferreira. J. N. Ilhas de Calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 5151-5157. Florianópolis, 2007.

Costa, da M. L.; Olszewski. Caracterização da paisagem no Cerrado. In: **Savanas desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Editores técnicos: Fábio Gelape Faleiro e Austeclínio Lopes de Farias Neto. EMBRAPA Cerrados. Planaltina, D.F., 2008.

Ferreira Junior, L. G. ; Huete, A. R. . Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, Inglaterra, v. 25, n. 10, p. 1837-1860, 2004

Ferreira Junior, L. G. ; Yoshioka, H. ; Huete, A. R. ; Sano, E. E. . Seasonal Landscape and Spectral Vegetation Index Dynamics in the Brazilian Cerrado: An Analysis within the Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA). **Remote Sensing of Environment**, Estados Unidos, v. 87, p. 534-550, 2003

Goert, J. W.; Wagner, E.; Barcellos, O, de. A. Savanas tropicais: Dimensão, histórico e perspectiva. In: **Savanas desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Editores técnicos: Fábio Gelape Faleiro e Austeclínio Lopes de Farias Neto. EMBRAPA Cerrados. Planaltina, D.F., 2008.

Gusso. A.; Fontana. C. D.; Gonçalves. A. G. **Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com uso do sensor AVHRR/NOAA**. Pesq. agropec. bras., v.42, n.2, p.231-237. Brasília, 2007.

Myers, N.; Mittermeyer, R. A.; Mittermeyer, C. G.; Fonseca, G. A.; Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403, 853-858, 2000.

Ratana, P. ; Huete, Alfredo Ramon ; Ferreira Junior, L. G. . Analysis of Cerrado physiognomies and conversion in the MODIS seasonal - temporal domain (LBA special issue). **Earth Interaction**, (In Press), v. 9, p. 1-22, 2005.

Ribeiro. J, F.; Walter. B, M, T, Fitofisionomias do bioma cerrado. In: **Cerrado: ambiente e flora** (S.M. Sano & S.P. Almeida, eds). EMBRAPA-CPAC, p.89-166. Planaltina, 1998.

Ricklefs. E. Robert. **A economia da natureza**. Tradução: Cecília Bueno Pedro P. de Lima e Silva. Colaboração: Rogério Ribeiro de Oliveira. Terceira edição, Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro – R.J, 1996.

Salisbury, W.; D'aria, D.M, Emissivity of terrestrial material in the 8-14m atmospheric window. **Remote Sensing of Environment**. 1992.

Sano, E. E. ; Rosa, R.; Brito, J. L. ; Ferreira Junior, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 000, p. 1-12, 2009.

Sano, E. E. ; Rosa, R.; Brito, J. L. ; Ferreira Junior, L. G. Mapeamento semi-detalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1 (153-156), 2008.

Silva. da, F. W. J.; Santos. L, R, Estimativa da temperatura da superfície do solo de uma região semi-árida a partir do IRMSS (banda 4) do CBERS-2. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 1159-1166. Florianópolis, 2007.

Silva. M, A. F; Assad, D. E; Evangelista, A. B. Caracterização climática do Bioma Cerrado. In: **Cerrado Ecologia e Fauna**. Org: Sueli Matiko Sano, Semíramis Pedrosa de Almeida, José Felipe Ribeiro. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2008.

Tesa. V. T. C.; Baptista, M. G. M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 3911-3918. Goiânia, 2005.

Wan. Z. New refinements and validation of the MODIS land-surface temperature/emissivity products , **International Journal of Remote Sens. Environ.**, in press. 2007a.

Wan, Z. **MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide Collection-5**. ICES, University of California, Santa Barbara, 2007b.

Wan, Z., Y.-Z.; Feng, Y.; Zhang.; King. M. D. Land-surface temperature and emissivity retrieval from MODIS Airborne Simulator (MAS) data, **Summaries of the Seventh JPL Airborne Earth Science Workshop**, January 12-16, vol. 3, pp.57-66. 1998.