

## Permanência média de cicatrizes do fogo em diferentes tipos fisionômicos do cerrado brasileiro, utilizando dados do sensor TM/Landsat

Roberto Javier Rivera-Lombardi <sup>1</sup>

Thelma Krug <sup>1,2</sup>

João Roberto dos Santos <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{lombardi, jroberto}@ltid.inpe.br

<sup>2</sup> Inter-American Institute for Global Change Research - IAI  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
thelma@dir.iai.int

**Abstract.** A multitemporal study covering the years 1996, 1997, 1998 and 2000 was conducted in two selected areas of the Brazilian cerrado using Landsat imagery, to address the permanence of burnt scars in Landsat imagery. A method was developed to allow a quantitative assessment of the mean time of permanence of the burnt scars. The results indicated that there exists a large annual variation that depends, amongst others, on the type of physiognomy affected by the fire.

**Palavras-chave:** Fire scars, savannas, remote sensing, monitoring, cicatrizes do fogo, cerrado, sensoriamento remoto, monitoramento.

### 1. Introdução

O Cerrado (*lato sensu*) é considerado um dos biomas com maior superfície e biodiversidade de espécies de flora e fauna do mundo, abrangendo 15 milhões de km<sup>2</sup>. É o segundo maior bioma/domínio morfoclimático do Brasil e da América do Sul, totalizando, neste último, 3.000.000 de km<sup>2</sup> (Eiten, 1972; Sato e Miranda, 1996). No Brasil, compreende aproximadamente 25% do território (1.800.000 km<sup>2</sup>), ocorrendo predominantemente na região centro-oeste, onde ocupa cerca de 1.500.000 km<sup>2</sup>. A vegetação do Cerrado é caracterizada por árvores, geralmente de tronco retorcidos, de até 10 m de altura e arbustos de pequeno e médio portes dispostos em maior ou menor grau de dispersão sobre um estrato herbáceo. No sentido *lato*, reconhecem-se quatro fisionomias distintas: Cerradão, Campo Cerrado, Parque de Cerrado e Campo (IBGE, 1991).

A queima de biomassa vegetal é uma prática freqüente nas zonas tropicais, principalmente para o manejo das pastagens nativas e implantadas, como o controle de ervas daninhas, a remoção de biomassa morta e inclusive, como prática de limpeza dos terrenos para plantios, após a derrubada da vegetação natural. Juntamente com o desmatamento e as práticas agrícolas, contribui para o intercâmbio de vários gases entre a atmosfera e a biosfera.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), no Guia Revisado de 1996 para Inventário de Gases de Efeito Estufa (Revised 1996 Guidelines for Greenhouse Gas Inventories), provê uma metodologia para estimar as emissões de alguns gases de efeito estufa resultantes da queima antrópica de biomassa vegetal no cerrado. Um dos parâmetros necessários é a área total queimada, por tipo fisionômico de vegetação.

A quantificação de áreas queimadas pode ser gerada a partir de dados orbitais (principalmente quando há necessidade de observações periódicas de áreas extensas), e sua exatidão está relacionada ao tipo de sensor utilizado. Normalmente, dados dos sensores TM/Landsat e do AVHRR/NOAA tem sido utilizados para este fim, cada qual apresentando limitações. Por exemplo, o uso de imagens TM/Landsat para monitorar a vegetação do

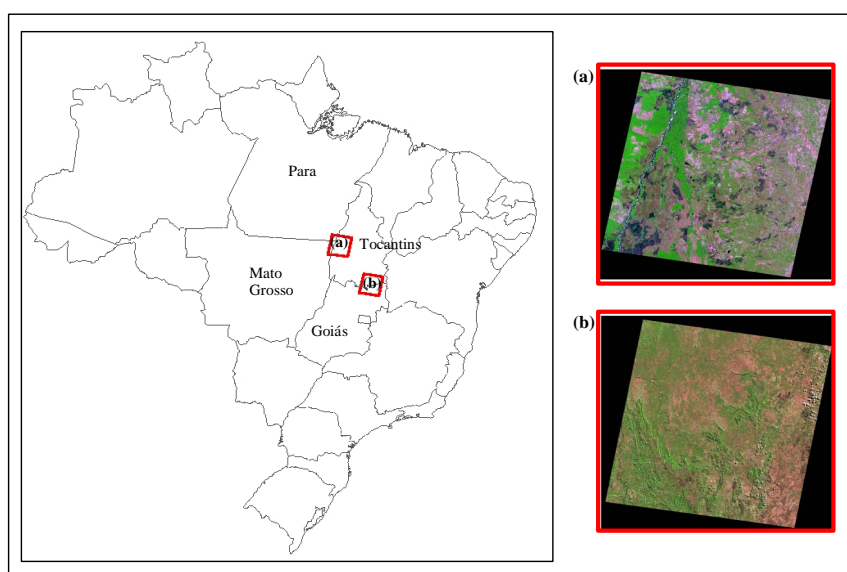
cerrado brasileiro é uma tarefa árdua devido ao volume de dados que compreende (cerca de 130 cenas a cada 16 dias). Outra limitação refere-se ao elevado número de imagens afetadas pela presença de nuvens, impossibilitando a observação da superfície terrestre (Krug e Santos, 2001).

Apesar da utilidade dos dados orbitais, existem problemas para discriminar áreas queimadas de outros elementos, tais como corpos d'água e sombras de relevos ou nuvens, devido à semelhança espectral entre eles. Portanto, é necessário compreender os processos associados à permanência das cicatrizes do fogo para a definição dos intervalos de aquisição das imagens TM/Landsat necessários para monitorar as queimas de biomassa vegetal no bioma Cerrado.

Neste contexto, o presente trabalho tem como finalidade estimar o tempo médio de permanência das cicatrizes do fogo em imagens TM/Landsat, definido como o tempo médio transcorrido entre a observação da cicatriz do fogo e a sua não discriminação nas imagens, decorrentes do processo de rebrota da vegetação.

## 2. Área de Estudo

A área de estudo compreende duas cenas TM/Landsat: órbita/ponto 221/69 (denominada setor Chapada dos Veadeiros), localizada entre as coordenadas geográficas S 12° 06' 46'' - 13° 54' 28'' e W 46° 21' 55'' - 48° 16' 14''; e órbita/ponto 223/67 (denominada setor Araguaia), localizada entre as coordenadas geográficas S 09° 12' 19'' - 10° 59' 25'' e W 48° 48' 52'' - 50° 43' 36'' (**Figura 1**). Ambas áreas estão situadas na região central do Cerrado brasileiro, cobrindo uma extensão de cerca de 30.344 km<sup>2</sup> e 30.568 km<sup>2</sup>, respectivamente. Segundo RADAMBRASIL (1981), a cobertura vegetal dominante no setor Chapada dos Veadeiros corresponde à fisionomia de Campo Cerrado (cerca de 65%), seguida do Parque de Cerrado (17%), Floresta (4%), Campo (0.11%) e Cerradão (0.02%). No setor Araguaia, a cobertura dominante refere-se à fisionomia de Campo Cerrado (33%), seguida do Parque de Cerrado (28%), Cerradão (8%) e Floresta (8%). Neste último setor não foi observada a fisionomia Campo. Cabe destacar que a área restante é ocupada por atividades agropecuárias e corpos d'água.



**Figura 1.** Localização geográfica da área de estudo e correspondente imagem TM/Landsat-5: (a) setor Araguaia, (b) setor Chapada dos Veadeiros.

### **3. Material e Métodos**

#### **3.1 Material**

Nas duas áreas investigadas foram utilizadas 63 imagens em formato digital do satélite TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7, órbita/ponto 221/69 e 223/67, em composição colorida das bandas 3 (0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ), 4 (0,76-0,90  $\mu\text{m}$ ) e 5 (1,55-1,75  $\mu\text{m}$ ), com resolução espacial de 30m. Selecionou-se pelo menos uma cena de cada mês do período seco (maio-novembro), para cada ano do período de estudo (1996, 1997, 1998 e 2000), priorizando aquelas com menor ou nenhuma cobertura de nuvens. Cartas topográficas na escala 1:250.000 serviram como base cartográfica para o registro das imagens de satélite TM/Landsat e para o registro dos mapas de vegetação e uso agropecuário (RADAMBRASIL, 1981). Posteriormente, a informação cartográfica e temática utilizada foi inserida em um banco de dados geográficos empregando o aplicativo SPRING 3.6.

#### **3.2. Métodos**

##### **3.2.1. Registro da Informação Cartográfica e Temática**

As cartas topográficas empregadas neste trabalho (na escala 1:250.000) foram escaneadas a partir da base original em papel e posteriormente registradas utilizando 20 pontos de controle distribuídos homogeneamente na imagem, equivalentes ao cruzamento das quadrículas UTM. Utilizou-se um polinômio de transformação de primeiro grau para relacionar as coordenadas das cartas-imagens (coluna, linha) com as coordenadas geográficas (latitude, longitude), gerando um erro quadrático médio (EQM) menor que 1,5 pixel (33 m).

O registro das cenas TM/Landsat envolveu duas etapas. A primeira consistiu no registro das cenas correspondentes à primeira data do período de estudo (26/06/96 e 27/05/96, para os setores Chapada dos Veadeiros e Araguaia, respectivamente), utilizando como base de ajuste as cartas topográficas previamente registradas. Na segunda etapa, realizou-se o registro das cenas TM/Landsat restantes, utilizando como base de ajuste as cenas já registradas, correspondentes à primeira data. O registro de cada uma das imagens TM/Landsat foi feito a partir da seleção de 32 pontos de controle que tinham como base elementos planimétricos estáveis e de fácil identificação, comuns às imagens TM/Landsat e às cartas imagens. Para o cálculo das coordenadas das imagens utilizou-se um polinômio de transformação de terceiro grau, gerando um EQM menor que 1,5 pixel (45 m).

Os mapas de vegetação e uso agropecuário (RADAMBRASIL, 1981) da área de estudo foram registrados e posteriormente inseridos no banco de dados geográficos. Cabe ressaltar que as mudanças de uso da terra (áreas agrícolas e de pecuária) foram atualizadas ano a ano durante o período investigado (1996-2000), mediante interpretação visual diretamente na tela do computador das cenas TM/Landsat correspondentes à primeira data de cada ano.

##### **3.2.2. Discriminação Visual das Cicatrizes do Fogo**

Foram identificadas as cicatrizes do fogo resultantes da queima de biomassa vegetal através da interpretação visual das cenas TM/Landsat diretamente na tela do computador. A utilização da interpretação visual como procedimento para extrair a informação temática desejada foi considerada a mais adequada, uma vez que os procedimentos de classificação digital geralmente confundem padrões espectrais semelhantes, como os apresentados pelas cicatrizes do fogo e outros elementos contidos nas imagens, tais como corpos d'água e sombras de nuvens ou acidentes orográficos.

Inicialmente, foi feita a interpretação visual das imagens TM/Landsat referentes à primeira data de cada ano investigado, e mapeadas todas as cicatrizes do fogo que puderam ser discriminadas na escala 1:50.000. Foram criados, a partir desses mapeamentos, planos de informação vetorial (PIV) contendo a delimitação das áreas compreendidas pelas cicatrizes do fogo discriminadas nas imagens correspondentes às primeiras datas de cada ano.

Cada PIV gerado foi, em seguida, sobreposto à imagem TM/Landsat correspondente à segunda data e, em função das mudanças espectro-texturais observadas nas cicatrizes do fogo procedeu-se à alteração/eliminação dos polígonos de queima extraídos na primeira data, ou a inclusão de novos polígonos, aplicando um dos seguintes critérios: (a) diminuição da área do polígono de queima com relação à data anterior, resultante do processo de regeneração da vegetação natural afetada pelo fogo; (b) incremento da área do polígono de queima com relação à data anterior, consequência da ocorrência de novas queimadas, contíguas às cicatrizes de fogo já existentes; (c) eliminação do polígono de queima, quando a cicatriz do fogo deixa de ser visível na imagem, devido a recuperação total da vegetação natural afetada pela ação do fogo, ou continuidade do mesmo quando a cicatriz do fogo ainda permanecer visível; e (d) inclusão de novas cicatrizes do fogo não observadas na data anterior.

Na interpretação visual das datas subseqüentes adotou-se procedimento idêntico, tendo como ponto de partida para uma dada interpretação, a informação extraída da imagem correspondente à data imediatamente anterior. Finalmente, como resultado deste procedimento obteve-se uma série de PIV's referentes a cada mês do período seco, para todos os anos investigados.

Tendo em vista a realização de operações algébricas para estimar a permanência das cicatrizes do fogo, os PIV's foram transformados em representações matriciais, ou PIMs. Cada cela ou pixel referenciado no PIM por índices de linha e coluna contendo o valor do atributo mapeado, foi classificado como "Queimada", quando relacionado às cicatrizes do fogo, ou como "Background", quando relacionado a áreas não afetadas pelo fogo.

### 3.2.3. Permanência das Cicatrizes do Fogo

A permanência das cicatrizes de fogo foi definida, *a priori*, em períodos de 16 dias, que representam o tempo de revisita do satélite TM/Landsat-5 a uma mesma órbita/ponto. Teoricamente, de forma a abranger todo o período seco, deveria-se fazer corresponder, para cada primeira imagem adquirida no tempo  $t$  deste período, uma série temporal de imagens adquiridas nos tempos  $t+16$ ,  $t+32$ ,  $t+48$ ,  $t+64$ ,  $t+80$ ,  $t+96$ ,  $t+112$ ,  $t+128$ ,  $t+144$  e  $t+160$  (em dias). Entretanto, em todos os anos investigados, não foi possível obter uma seqüência contendo todas as imagens correspondentes a cada revisita do satélite. As **Tabelas 1 e 2** indicam, para os setores Chapada dos Veadeiros e Araguaia, respectivamente, a disponibilidade de imagens para cada ano do período de estudo.

### 3.2.4. Estimativa da Permanência das Cicatrizes do Fogo

A estimativa da permanência das cicatrizes do fogo foi gerada a partir do monitoramento, pixel a pixel, da variabilidade espectro-textural apresentada por estas cicatrizes durante o decorrer do período seco de cada ano investigado. Valendo-se das informações resultantes da Seção 3.2.2 procedeu-se à interseção, mês a mês, dos pixels classificados como "Queimada" ou "Background". Os pixels resultantes desta operação algébrica foram espacializados em um novo PIM. A seqüência binária caracterizada pelas letras (Q) e (B) representam as datas de início e fim, respectivamente, quando o intérprete conseguiu discriminar a variabilidade espectro-textural das cicatrizes durante o período seco de cada ano investigado. Assim, a seqüência QQBBB, por exemplo, indica que as cicatrizes do fogo mantiveram-se

espectralmente visíveis por um período de duas datas consecutivas, e espectralmente não visíveis nas três últimas datas.

É importante destacar que no processo de interseção, mês a mês, dos PIM's contendo os pixels classificados como "Queimada" ou "*Background*", foram excluídas de qualquer análise: (1) as áreas cobertas por nuvens e suas respectivas sombras, já que poderiam mascarar as áreas de vegetação natural afetadas pelo fogo, influenciando, assim, a exatidão da estimativa da permanência das cicatrizes do fogo. (2) as cicatrizes do fogo discriminadas na primeira data de passagem do satélite (do período seco), doravante denominada "data base", já que estas poderiam ter ocorrido em um tempo indeterminado de dias anteriores à primeira passagem do satélite, servindo como base para mapear, inequivocamente, as queimadas que ocorreram entre esta data e a segunda data disponível. Convencionou-se, portanto, iniciar a contagem da permanência das cicatrizes do fogo a partir da segunda data disponível para cada ano do período de estudo, doravante denominada "data de referência".

Como resultado deste procedimento gerou-se, para cada ano investigado, um número determinado de seqüências binárias ("Q" ou "B") em séries de 6, 5 ou 4 dígitos, definidas segundo o número de datas de passagens do satélite, contado a partir da "data de referência". Em seguida, selecionaram-se aquelas seqüências onde: (1) foram observadas cicatrizes do fogo somente na data de referência (QBBB) e, (2) a partir da "data de referência", as cicatrizes do fogo que puderam ser acompanhadas em datas sucessivas (QQBBB, QQQBB, QQQQB, QQQQQ) descartando, portanto, a possibilidade de seqüências de permanência do tipo QBQQB, QQBQQ, QBBQQ. As seqüências selecionadas foram designadas com as respectivas datas de passagem do satélite. Assim, à seqüência QBBB, por exemplo, para o setor Chapada dos Veadeiros referente ao ano 1996, correspondem as datas: 12 de junho, 14 de julho, 31 de agosto e 16 de setembro, respectivamente (**Tabela 1**). Finalmente, as seqüências de permanência foram objeto de uma tabulação cruzada com os respectivos mapas de vegetação e uso agropecuário, visando estimar, para cada tipo de fisionomia vegetal do Cerrado, a permanência das respectivas cicatrizes do fogo.

### 3.2.5. Permanência Média das Cicatrizes do Fogo

Para o cálculo da permanência média das cicatrizes do fogo, foi calculada inicialmente a amplitude do intervalo de permanência mínima e máxima das cicatrizes do fogo. Isto, devido a que as cicatrizes do fogo discriminadas na "data de referência", a partir da qual iniciou-se a contagem da permanência das cicatrizes do fogo, poderiam ter ocorrido em qualquer dia entre a "data de referência" e a "data base", inclusive (uma vez que as queimadas poderiam ter ocorrido ainda neste dia, após a passagem do satélite, aproximadamente às 09:30 da manhã), ou permanecido até um dia anterior à data seguinte à "data de referência" (14 de julho).

Tomando como exemplo a seqüência QBBB (associada ao ano 1996 do setor Chapada dos Veadeiros, como apresentado na **Tabela 1**), uma permanência com tempo mínimo de 16 dias (de 27 de maio a 12 de junho) e máximo de 47 dias (de 27 de maio a 13 de julho), caracteriza um período doravante denotado por [16,47]. O acompanhamento dessas cicatrizes na data seguinte à "data de referência" (14 de julho), indica não existir mais cicatrizes associadas às cicatrizes do fogo mapeadas na "data de referência" (referem-se aos B's na seqüência QBBB).

A partir da amplitude do intervalo de permanência mínima e máxima das cicatrizes do fogo, estimou-se a permanência média (em dias) destas cicatrizes nos diferentes tipos fisionômicos do bioma Cerrado, para cada ano investigado (1996, 1997, 1998 e 2000). Para o cálculo da média utilizou-se o ponto médio de cada intervalo, o qual foi ponderado pela contribuição relativa (percentual) de cada seqüência na área total afetada pelas cicatrizes do fogo. Este cálculo foi feito para cada ano investigado.

## 5. Resultados e Discussão

A análise das **Tabelas 1 e 2** indica que a permanência média das cicatrizes do fogo nos diferentes tipos fisionômicos do Cerrado apresenta flutuações anuais significativas, a exemplo do setor Chapada dos Veadeiros, onde as permanências médias ponderadas para a fisionomia Campo Cerrado são iguais a 75, 58, 99 e 44 dias, para os anos 1996, 1997, 1998 e 2000, respectivamente; 86, 48, 108 e 45 dias para Parque de Cerrado; e 138, N/O, 147 e 72 dias para a fisionomia de Campo (N/O = não observado). Uma possível explicação para essas variações anuais, considerando como hipótese que os eventos vegetativos e reprodutivos das plantas na camada herbácea-subarbustiva são dependentes da disponibilidade de água no solo, é que a permanência das cicatrizes do fogo esteja relacionada com a variação no número de dias sem chuva observados em cada ano do período investigado (Rivera-Lombardi, 2003).

Por outro lado, muito embora os resultados apresentados tenham mostrado, em termos absolutos, permanências distintas para cada ano investigado, verificou-se para ambos setores estudados, nos referidos anos, que a proporção associada a estas fisionomias indicou consistentemente o Campo (presente somente no setor Chapada dos Veadeiros) como a fisionomia que apresentou permanência média mais longa, seguida do Parque de Cerrado e do Campo Cerrado, respectivamente. Exceção a esta observação ocorreu em 1997, no setor Chapada dos Veadeiros, onde o valor observado no Parque de Cerrado foi superior àquele observado no Campo Cerrado.

Analisando os resultados referentes à fisionomia de Cerradão (com registros somente para o setor Araguaia) observou-se que a permanência média das cicatrizes do fogo variou entre 39 e 94 dias, alcançando, inclusive, valores inferiores aos observados na fisionomia de Parque de Cerrado, durante os anos 1996, 1997 e 1998. Estes resultados devem ser analisados com reserva, uma vez que a fisionomia de Cerradão, caracterizada principalmente pela presença de um estrato arbóreo denso (cobertura do dossel >70%) de até 15m de altura, quando afetada pelo fogo, precisa de um tempo significativamente superior ao observado para alcançar sua recuperação. Neste caso em particular, a ocorrência de queimadas pode ter afetado apenas o estrato inferior desta fisionomia, preservando o dossel da ação do fogo. Desta forma, o sensor estaria detectando as características regenerativas do estrato arbóreo-arbustivo inferior, e conseqüentemente, a permanência das cicatrizes do fogo associadas ao mesmo; ou também, considerando que o sensor detecta o espectro de refletância média referente aos alvos contidos em cada pixel, a resposta espectral predominante, após a integração do material carbonizado na camada superior do solo, estaria representada pelo estrato superior (dossel) da fisionomia de Cerradão.

|  | Sequências | Tempo mínimo   | Tempo máximo  | Intervalos Classes (dias) | Cerradão (%) do total de cada ano | Campo Cerrado (%) do total de cada ano | Parque de Cerrado (%) do total de cada ano | Campo (%) do total de cada ano | Permanência média (dias em inteiros) |
|--|------------|----------------|---------------|---------------------------|-----------------------------------|--|--|--------------------------------|--------------------------------------|
| Ano 1996<br>(data base: 27/05)<br>(data referência: 12/06) | QBBB       | 27/mai-12/jun  | 27/mai-13/jul | [16;47]                   | N/O                               | 0,22                                   | 0,13                                       | 0,00                           | 32                                   |
|  | QQBB       | 27/mai-14/jul  | 27/mai-30/ago | [48;95]                   | N/O                               | 0,59                                   | 0,56                                       | 0,02                           | 72                                   |
|  | QQQB       | 27/mai-31/ago  | 27/mai-15/set | [96;111]                  | N/O                               | 0,02                                   | 0,03                                       | 0,00                           | 103                                  |
|  | QQQQ       | 27/0mai-16/set | 27/mai-09/nov | [112;166]                 | N/O                               | 0,17                                   | 0,28                                       | 0,98                           | 139                                  |
| <b>Média ponderada</b>                                     |            |                |               |                           |                                   | <b>75</b>                              | <b>86</b>                                  | <b>138</b>                     |                                      |
| Ano 1997<br>(data base: 30/05)<br>(data referência: 15/06) | QBBBB      | 30/mai-15/jun  | 30/mai-30/jun | [16;31]                   | N/O                               | 0,28                                   | 0,39                                       | N/O                            | 24                                   |
|  | QQBBBB     | 30/mai-01/jul  | 30/mai-01/ago | [32;63]                   | N/O                               | 0,31                                   | 0,38                                       | N/O                            | 48                                   |
|  | QQQBBB     | 30/mai-02/ago  | 30/mai-02/set | [64;95]                   | N/O                               | 0,30                                   | 0,15                                       | N/O                            | 80                                   |
|  | QQQQBB     | 30/mai-03/set  | 30/mai-04/out | [96;127]                  | N/O                               | 0,08                                   | 0,07                                       | N/O                            | 112                                  |
|  | QQQQQB     | 30/mai-05/out  | 30/mai-05/nov | [128;159]                 | N/O                               | 0,03                                   | 0,01                                       | N/O                            | 144                                  |
|  | QQQQQQ     | 30/mai-06/nov  | 30/mai-06/dez | [160;190]                 | N/O                               | -                                      | -  | N/O                            | -                                    |
| <b>Média ponderada</b>                                     |            |                |               |                           |                                   | <b>58</b>                              | <b>48</b>                                  |                                |                                      |
| Ano 1998<br>(data base: 02/06)<br>(data referência: 04/07) | QBBBB      | 02/jun-04/jul  | 02/jun-19/jul | [32;47]                   | N/O                               | 0,03                                   | 0,23                                       | 0,00                           | 40                                   |
|  | QQBBB      | 02/jun-20/jul  | 02/jun-20/ago | [48;79]                   | N/O                               | 0,23                                   | 0,13                                       | 0,02                           | 64                                   |
|  | QQQBB      | 02/jun-21/ago  | 02/jun-05/set | [80;95]                   | N/O                               | 0,36                                   | 0,04                                       | 0,00                           | 88                                   |
|  | QQQQB      | 02/jun-06/set  | 02/jun-23/out | [96;143]                  | N/O                               | 0,19                                   | 0,12                                       | 0,06                           | 120                                  |
|  | QQQQQ      | 02/jun-24/out  | 02/jun-07/nov | [144;158]                 | N/O                               | 0,19                                   | 0,48                                       | 0,92                           | 151                                  |
| <b>Média ponderada</b>                                     |            |                |               |                           |                                   | <b>99</b>                              | <b>108</b>                                 | <b>147</b>                     |                                      |
| Ano 2000<br>(data base: 23/06)<br>(data referência: 09/07) | QBBBB      | 23/jun-09/jul  | 23/jun-09/ago | [16;47]                   | N/O                               | 0,60                                   | 0,59                                       | 0,00                           | 32                                   |
|  | QQBBB      | 23/jun-10/ago  | 23/jun-25/ago | [48;63]                   | N/O                               | 0,21                                   | 0,23                                       | 0,00                           | 56                                   |
|  | QQQBB      | 23/jun-26/ago  | 23/jun-10/set | [64;79]                   | N/O                               | 0,19                                   | 0,19                                       | 1,00                           | 72                                   |
|  | QQQQB      | 23/jun-11/set  | 23/jun-12/out | [80;111]                  | N/O                               | -                                      | -  | -                              | -                                    |
|  | QQQQQ      | 23/jun-13/out  | 23/jun-26/out | [112;126]                 | N/O                               | -                                      | -  | -                              | -                                    |
| <b>Média ponderada</b>                                     |            |                |               |                           |                                   | <b>44</b>                              | <b>45</b>                                  | <b>72</b>                      |                                      |

Sequências = Sequências indicativas da permanência das cicatrizes do fogo  
N/O= não observado

**Tabela 1.** Estimativa da permanência média das cicatrizes do fogo para cada tipo fisionômico da vegetação do cerrado (setor Chapada dos Veadeiros)

|  | Sequências | Tempo mínimo  | Tempo máximo  | Intervalos Classes (dias) | Cerradão (%) do total de cada ano | Campo Cerrado (%) do total de cada ano | Parque de Cerrado (%) do total de cada ano | Permanência média (dias em inteiros) |
|--|------------|---------------|---------------|---------------------------|-----------------------------------|--|--|--------------------------------------|
| Ano 1996<br>(data base: 26/06)<br>(data referência: 12/07) | QBBBB      | 26/jun-12/jul | 26/jun-27/jul | [16;31]                   | 0,68                              | 0,48                                   | 0,09                                       | 24                                   |
|  | QQBBB      | 26/jun-28/jul | 26/jun-28/ago | [32;63]                   | 0,04                              | 0,42                                   | 0,37                                       | 48                                   |
|  | QQQBB      | 26/jun-29/ago | 26/jun-13/set | [64;79]                   | 0,25                              | 0,04                                   | 0,08                                       | 72                                   |
|  | QQQQB      | 26/jun-14/set | 26/jun-15/out | [80;111]                  | 0,03                              | 0,06                                   | 0,30                                       | 96                                   |
|  | QQQQQ      | 26/jun-16/out | 26/jun-30/out | [112;126]                 | -                                 | -                                      | 0,16                                       | 119                                  |
| <b>Média ponderada</b>                                     |            |               |               |                           | <b>39</b>                         | <b>40</b>                              | <b>73</b>                                  |                                      |
| Ano 1997<br>(data base: 28/05)<br>(data referência: 15/07) | QBBB       | 28/mai-15/jul | 28/mai-15/ago | [48;79]                   | 0,16                              | 0,36                                   | 0,21                                       | 64                                   |
|  | QQBB       | 28/mai-16/ago | 28/mai-16/set | [80;111]                  | 0,75                              | 0,57                                   | 0,54                                       | 96                                   |
|  | QQQB       | 28/mai-17/set | 28/mai-03/nov | [112-159]                 | 0,09                              | 0,07                                   | 0,23                                       | 136                                  |
|  | QQQQ       | 28/mai-04/nov | 28/mai-08/dez | [160-194]                 | -                                 | -                                      | 0,02                                       | 177                                  |
| <b>Média ponderada</b>                                     |            |               |               |                           | <b>94</b>                         | <b>87</b>                              | <b>100</b>                                 |                                      |
| Ano 1998<br>(data base: 16/06)<br>(data referência: 02/07) | QBBBB      | 16/jun-02/jul | 16/jun-17/jul | [17;31]                   | 0,15                              | 0,30                                   | 0,07                                       | 24                                   |
|  | QQBBB      | 16/jun-18/jul | 16/jun-18/ago | [32;63]                   | 0,10                              | 0,17                                   | 0,04                                       | 48                                   |
|  | QQQBB      | 16/jun-19/ago | 16/jun-03/set | [64;79]                   | 0,42                              | 0,20                                   | 0,16                                       | 72                                   |
|  | QQQQB      | 16/jun-04/set | 16/jun-05/out | [80;111]                  | 0,26                              | 0,29                                   | 0,51                                       | 95                                   |
|  | QQQQQ      | 16/jun-06/out | 16/jun-20/out | [112;126]                 | 0,07                              | 0,04                                   | 0,22                                       | 119                                  |
| <b>Média ponderada</b>                                     |            |               |               |                           | <b>71</b>                         | <b>62</b>                              | <b>90</b>                                  |                                      |
| Ano 2000<br>(data base: 05/06)<br>(data referência: 21/06) | QBBBBB     | 05/jun-21/jun | 05/jun-06/jul | [16;31]                   | 0,03                              | 0,42                                   | 0,42                                       | 24                                   |
|  | QQBBBB     | 05/jun-07/jul | 05/jun-22/jul | [32;47]                   | 0,17                              | 0,11                                   | 0,08                                       | 40                                   |
|  | QQQBBB     | 05/jun-23/jul | 05/jun-07/ago | [48;63]                   | 0,19                              | 0,03                                   | 0,03                                       | 56                                   |
|  | QQQQBB     | 05/jun-08/ago | 05/jun-23/ago | [64;79]                   | 0,30                              | 0,24                                   | 0,18                                       | 72                                   |
|  | QQQQQB     | 05/jun-24/ago | 05/jun-10/out | [80;127]                  | 0,31                              | 0,20                                   | 0,29                                       | 104                                  |
|  | QQQQQQ     | 05/jun-11/out | 05/jun-25/out | [128;142]                 | -                                 | -                                      | -  | -                                    |
| <b>Média ponderada</b>                                     |            |               |               |                           | <b>72</b>                         | <b>54</b>                              | <b>58</b>                                  |                                      |

Sequências = Sequências indicativas da permanência das cicatrizes do fogo

**Tabela 2.** Estimativa da permanência média das cicatrizes do fogo para cada tipo fisionômico da vegetação do cerrado (setor Araguaia)

## 6. Conclusões

O estudo da permanência de cicatrizes de fogo desenvolvido neste trabalho foi importante por indicar, mesmo que preliminarmente, a variação da permanência das cicatrizes por tipo fisionômico do Cerrado e por extensão da área afetada, assim como a variação na permanência média de um ano para outro. Considerando que a importância do estudo da permanência das cicatrizes do fogo, para este trabalho, era identificar o tempo máximo para ainda ser possível identificar a ocorrência de uma queimada entre distintas imagens TM/Landsat, uma conclusão importante é que, de fato, observa-se, em alguns casos, uma curta permanência das cicatrizes do fogo.

A variação da permanência média verificada de um ano para outro, em uma mesma área e entre as diferentes fisionomias do Cerrado, apontam para a dificuldade de se caracterizar, consistentemente, a permanência das cicatrizes do fogo. O fato dessas estarem diretamente associadas a condições ambientais específicas da área onde ocorrem, torna complexa a análise dos resultados e sua generalização.

Conclui-se, também, que os dados do sensor TM/Landsat, com sua resolução temporal de 16 dias e seu sistema sensor óptico, sensível à presença de nuvens, apresentou limitações para estimar a permanência das cicatrizes do fogo.. Por outro lado, apesar da grande quantidade de dados analisados, não foi possível identificar, com precisão, o intervalo entre o aparecimento e o desaparecimento da cicatriz do fogo. Assim, recomenda-se que, para o estudo da permanência das cicatrizes do fogo, sejam utilizadas informações adicionais, com dados de sensores com maior resolução temporal que a do TM/Landsat, visando, com isto, diminuir sensivelmente os intervalos de permanência (em dias) das cicatrizes do fogo apresentados neste trabalho.

## Agradecimentos

Os autores agradecem as seguintes instituições que contribuíram direta ou indiretamente com a realização do presente trabalho: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), Organização dos Estados Americanos (OEA), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processo 300677-91-0), Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (Projeto BRA/95/G31) e Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB).

## Referências

- Eiten, G. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**. v. 38, n.2, p. 201-341, 1972
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro, IBDF, 1991. 123 p.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Workbook. Bracknell, UK. 1997. 398 p.
- Krug, T.; dos Santos, J.R. Estimativa da área total queimada no cerrado brasileiro em 1999, a partir de dados orbitais. **Relatório PNUD BRA/95/G31**. São José dos Campos, Brasil. 2001.
- RADAMBRASIL. **Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Folhas SC.22/SD.23 Brasília/Tocantins. Rio de Janeiro. 1981. 775 p.
- 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**. 2003. 159 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.
- Sato, M.N.; Miranda, H.S. Mortalidade de plantas lenhosas do cerrado *Sensu Stricto* submetidas a diferentes regimes de queima. In: Anais do Simp. Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. 3 Congr. de Ecologia do Brasil. 1996. Brasília - D.F.. **Anais**. Brasília: 1996. p. 93-101.