

## **Análise exploratória da relação entre focos de calor constatados de forma remota e risco de incêndio calculado**

Carlos Alexandre Damasceno Ribeiro<sup>1</sup>  
Tiago Sperandio Borges<sup>1</sup>  
Rafael Salgado de Senna<sup>1</sup>  
Alexandre Cândido Xavier<sup>2</sup>  
André Quintão de Almeida<sup>3</sup>  
José Ricardo Macedo Pezzopane<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mestrando em Produção Vegetal. Rua Costa Azul. Nº 64. Ed Monserrat aptº 401. Itapoã. Vila Velha-ES. Brasil. {alexandredamasceno, rafassenna}@yahoo.com.br. tiago.sb@hotmail.com.

<sup>2</sup>Profº Adjunto, Deptº. de Engenharia Rural, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Caixa Postal 16 Alegre. ES. Brasil. xavier@cca.ufes.br

<sup>3</sup>Doutorando em Meteorologia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. Av. PH Rolfs. CEP 36570-000 - Vicososa, MG. Brasil. andreqa@gmail.com

<sup>4</sup>Profº adjunto. Universidade Federal do Espírito Santo, CEUNES - Centro Universitário do Norte do Espírito Santo. Rua Humberto de Almeida Franklin, 257 (sede provisória) 29933-480 - São Mateus, ES. Brasil. josepezzopane@ceunes.ufes.br

**Abstract.** The objective of this paper is to carry through an exploratory analysis relating the focus of heat, identified for remote sensing from the sensor MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - and the fire risk calculated for the Monte Alegre formula (FMA). It was used 14 images formed from the sum of focus of heat observed along of 8 days (products MOD 14 and MYD 14) throughout the months of January, February (summer) and June, July, August (winter). These are the periods of study. Although not to have exactness a bigger occurrence of focus of heat and the days of bigger fire risk, it has a positive relation also enters a incidence of focus of heat and risk of fire values and with bigger number of days with “very high” risk of fire occurrence. 21 focus of heat had been evidenced during the summer and 18 during the winter, totalizing 39 focus with a degree 8 and 9 of that really it is fire. No focus of heat was evidenced during the summer or winter of the year of 2006 inside of the 6 Units of Conservation of macroregion II of the State of the Espírito Santo, year and area object of this study.

**Palavras-chave :** MODIS images fire, Monte Alegre formula, Espírito Santo State; imagens fogo do MODIS, fórmula de Monte Alegre, Estado do Espírito Santo.

## 1. Introdução

O fogo ainda é instrumento de manejo da pastagem no Estado do Espírito Santo, apesar do reconhecimento pela comunidade técnico-científica, de sua pequena eficácia e também da sua capacidade de causar danos ambientais como a aceleração de processos de erosão e de desertificação. Contribui ainda para a liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera como citado por Page et al. (2002) e Sá et al. (2003). Em situações de prevenção e estudo temporal da ocorrência de fogo é interessante que se faça um cálculo do índice de risco de incêndios, pois segundo Cheney (1968) estes índices apresentam um acerto de até 80%. Um dos índices mais utilizados no Brasil é a Fórmula de Monte Alegre (FMA), o qual Sampaio (1991) citou como um dos que mais acertou em um estudo realizado no município de Coronel Pacheco, no Estado de Minas Gerais.

Devido à ausência de registros de ocorrência de fogo, recorre-se muitas vezes a dados obtidos através de sensores remotos. Anderson et al. (2005) explanaram sobre as formas de monitoramento remoto dos focos de calor; “Existem duas linhas de pesquisas relacionadas à detecção e monitoramentos dos eventos de queimadas: a primeira refere-se à detecção dos focos de calor, geralmente associada a fogos ativos, que utiliza as bandas espectrais da região do infravermelho termal (Justice et al., 2002, Giglio et al., 2003, Pergola et al., 2004, Li et al., 2005). A segunda linha está relacionada à espacialização das queimadas... geralmente utilizando bandas espectrais da região do visível e/ ou associadas às bandas espectrais da região do infra-vermelho termal (Pereira e Setzer, 1996, Domenikiotis et al., 2002, Roy et al., 2002, Stoppiana et al., 2003, Gitas et al., 2004, Silva et al., 2005)”.

Muitas vezes é interessante determinar a ocorrência de incêndios/queimadas durante um determinado período e área, acompanhando assim a dinâmica temporal/espacial do desmatamento. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) atualmente desenvolve dois sistemas de monitoramento de incêndios/queimadas em florestas tropicais reconhecidos internacionalmente; o DETER – Detecção do Desmatamento em Tempo Real – acompanha a evolução do desmatamento em áreas superiores a 25 ha com confiabilidade de 94% das indicações de áreas desmatadas e o PRODES – Programa de Cálculo do Desflorestamento – que quantifica áreas totalmente devastadas acima de 6,25 ha (INPE, 2008). Apesar da existência desses sistemas de monitoramento para o bioma Amazônia, outros biomas não desfrutam de programas similares e há grande carência de estudos do comportamento do fogo, como no bioma Mata Atlântica, no qual a área objeto desse estudo está inserida.

Uma das fontes de dados remotos relativos a focos de calor (queimadas, incêndios, ou atividades industriais) é o sensor MODIS (Espectroradiômetro Imageador de Resolução Moderada), utilizado como fonte de dados inclusive pelo INPE, nos programas supra citados. A Agência Aeroespacial Norte-Americana (NASA, na sigla da grafia inglesa) é responsável pelo MODIS que realiza o monitoramento da superfície terrestre duas vezes ao dia à bordo de dois satélites: o TERRA, diurno, lançado em 18 de dezembro de 1999, e o, ACQUA noturno, lançado em 4 de maio de 2002.

Devido à existência de poucos estudos que relacionam o cálculo de riscos de incêndios e focos de calor constatados de forma remota, para a região em estudo, optou-se por uma análise exploratória desses dados. Pois esta é mais adequada quando há pouco conhecimento acumulado acerca de um tema, na concepção de especialistas em metodologia de pesquisa (Vergara, 1997).

Este trabalho tem como objetivo principal verificar a coerência entre os focos de calor e o risco de incêndio calculado pela fórmula de Monte Alegre, durante o verão e o inverno de 2006,

para a macrorregião II do Estado do Espírito Santo. Apresentando ainda a ocorrência de focos de calor constatados pelo sensor MODIS para o período e região em estudo.

## 2. Metodologia

A área de estudo está localizada ao norte do Estado do Espírito Santo - macrorregião II (Figura 1). Localizada numa superfície de tabuleiros costeiros compreendida entre os paralelos 17° 53' 00" S e 19° 10' 00" S e os meridianos 40° 40' 00" W e 39° 40' 00" W Gr, sua vegetação é caracterizada por cultivos agrícolas, como as extensas plantações de café, pimenta-do-reino, fruticultura e ainda por pastagem e fragmentos de florestas naturais e reflorestamentos comerciais, sobretudo de eucalipto. O clima é tropical úmido, com inverno seco e chuvas concentradas no verão, classificado como AW por Koeppen.

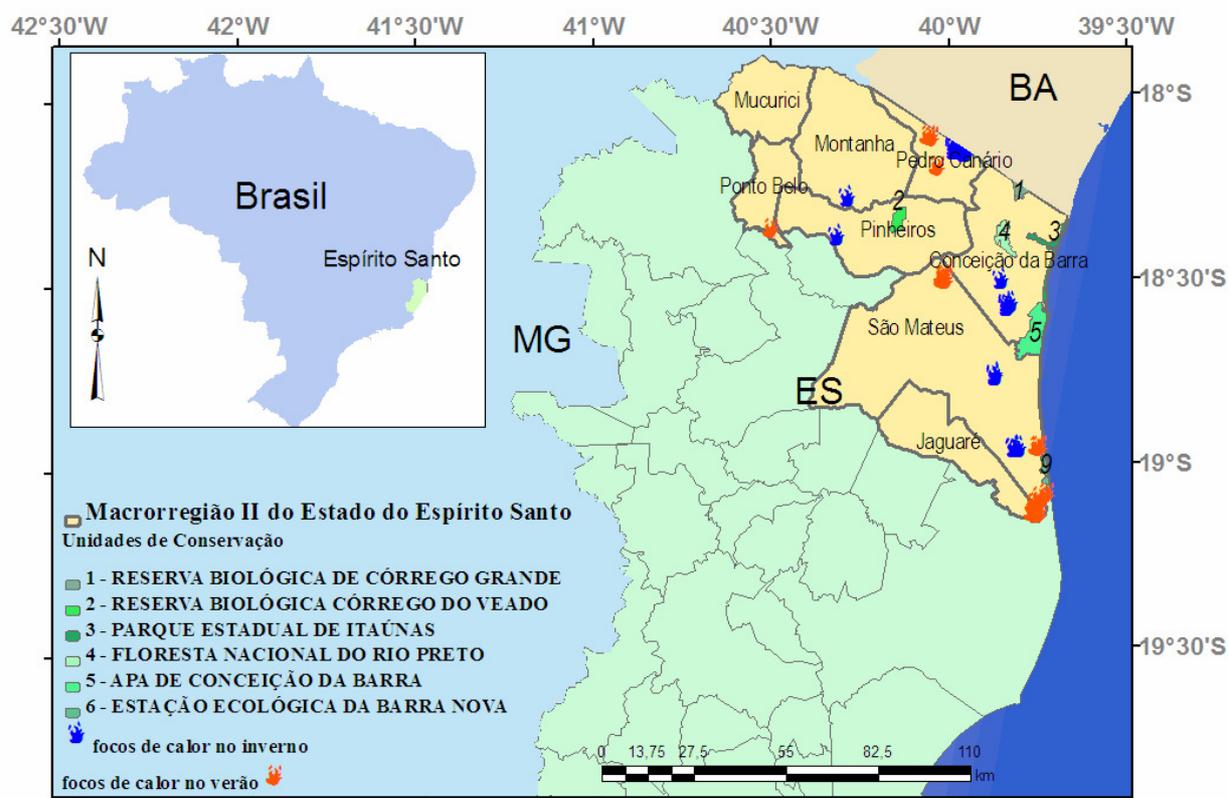


Figura 1. Unidades de Conservação da Macrorregião II do Estado do Espírito Santo e os focos de calor do período em estudo.

As imagens utilizadas neste estudo foram geradas pelo sensor MODIS à bordo dos satélites Terra e Aqua, e foram obtidas gratuitamente através da NASA a partir do site “<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>”.

Foram analisadas 14 “imagens focos de calor” durante o verão (dia 1 ao dia juliano 56) e durante o inverno (dia 171 ao dia juliano 241) para o período de 2006 na macrorregião II, que inclui os municípios de Conceição da Barra, São Mateus, Jaguaré, Pinheiros, Pedro Canário, Montanha, Mucuri e Ponto Belo.

## 2.1 O algoritmo de identificação de focos de calor

O Algoritmo utilizado pelo sensor MODIS é um conjunto de passos e regras lógicas que utilizam fatores como temperatura e reflectância das superfícies para distinguir focos de calor durante o dia (TERRA) e a noite (ACQUA). Nuvens e corpos d'água são detectados por uma máscara externa. Os alvos terrestres são detectados por canais de 4 e 11  $\mu\text{m}$  com resolução de 1000 metros (denominadas de T4 e T11), e que considera ainda os valores do pixel candidato e de seus vizinhos (25% do número de pixels candidatos, considerando um mínimo de 6. Assim quando há 1 candidato considera-se os 6 vizinhos próximos e a partir de 28 candidatos, considera-se 25% (que equivale a 7 pixels)) na constatação de focos de calor.

Utiliza o canal 21 que satura na temperatura de 227° C, e o canal 22 que satura a 58° C, para detecção de focos de calor, ambos localizados no comprimento de onda 4  $\mu\text{m}$ . Desde que este canal de baixa saturação seja menos ruidoso e possua um erro de quantização menor, a T4 é definida, sempre que possível por este. No entanto, quando o canal 22 satura, ou perde os dados, a T4 passa a ser definida por um canal de saturação mais elevada, o canal 31 (11  $\mu\text{m}$  – T11) que satura a 127° C. A banda do infravermelho próximo (0,86  $\mu\text{m}$ ) é usada, durante o dia, para identificar superfícies altamente reflectivas, Durante a noite, os produtos de focos de calor podem utilizar os canais de 1,65  $\mu\text{m}$  e 2,15  $\mu\text{m}$ , (Justice et al., 2002) estes recursos minimizam a ocorrência de falsos alarmes. Para evitar a falsa detecção considera-se que  $T4 < 42^\circ\text{C}$  (32° C à noite) ou  $T4 - T11 < -263^\circ\text{C}$  (- 270° C à noite). A identificação de focos de incêndios pode ser resumida nos seguintes passos.

$$\{T4 > \text{média}(T4) + 3\text{desvios\_padrões}(T4) \text{ ou } T4 > 57^\circ\text{C}\} \quad (1)$$

$$\text{e } \{T4 - T11 > \text{mediana}(T4 - T11) + 3\text{desvios\_padrões}(T4 - T11) \text{ ou } T4 - T11 > -248^\circ\text{C}\} \quad (2)$$

$$\text{ou } T4 > 87^\circ\text{C} \quad (3)$$

*Para o algoritmo utilizado para os cálculos noturnos, tem-se:*

$$\{T4 > \text{média}(T4) + 3\text{desvios\_padrões}(T4) \text{ ou } T4 > 42^\circ\text{C}\} \quad (4)$$

$$\text{e } \{T4 - T11 > \text{mediana}(T4 - T11) + 3\text{desvios\_padrões}(T4 - T11) \text{ ou } T4 - T11 > -263^\circ\text{C}\} \quad (5)$$

$$\text{ou } T4 > 57^\circ\text{C} \quad (6)$$

Finalizando, quando ocorrer a possibilidade de falsas detecções para observações durante o dia, o pixel é rejeitado se os canais de resolução de 250 m apresentarem uma reflectância acima de 30% (Justice et al., 2002b). Este algoritmo utilizado em conjunto com as máscaras externas resultam em uma imagem (Figura 2) composta por 9 classes temáticas (tabela 1).



Figura 2. Imagem original do sensor MODIS, após contraste, reclassificação e edição vetorial.

Tabela 1. Classes temáticas identificadas no produto Modis fire.

classes*	representação
0	dado perdido
2	não processado
3	água
4	nuvem
5	terra livre de fogo
6	desconhecido
7	fogo - 0 a 30% de confiança
8	fogo - 30 a 80% de confiança
9	fogo - 80 a 100% confiança

\* A classe 1 não é utilizada

Adaptado de “MODIS Collection 4 Active Fire Product User’s Guide Version 2.3”, Giglio (2007).

## 2.2 O risco de incêndio calculado – Fórmula de Monte Alegre

O risco de incêndio é uma ferramenta utilizada como forma de prever a ocorrência de incêndios e auxilia o planejamento no combate aos incêndios. Seu cálculo considera variáveis meteorológicas que influenciam fortemente as condições para ocorrência de fogo; a umidade relativa do ar às 13 horas e a pluviosidade dos dias anteriores. O risco de ocorrência de incêndio é calculado pela Fórmula de Monte Alegre:

$$I_{atual} = I_{acumulado} \cdot F + (100 / UR)$$

onde :

$I_{atual}$  = índice calculado para o dia desejado

$I_{acumulado}$  = somatório dos índices dos dias anteriores

$F$  = fator de correção do índice (Tabela 2)

$UR$  = umidade relativa do ar (%)

Sua interpretação é dada pela Tabela 3:

**Tabela 2. Valores para F**

Precipitação diária (mm)	Fator F
≤ 2,4	1,00
2,5 a 4,9	0,70
5,0 a 9,9	0,40
10,0 a 12,9	0,20
> 12,9	0,00

**Tabela 3. Interpretação dos valores da FMA**

I <sub>atual</sub>	Grau de perigo
≤ 1,0	Nulo
1,1 a 3,0	Pequeno
3,1 a 8,0	Médio
8,1 a 20,0	Alto
> 20,0	Muito alto

### 3.0 Resultados

Foram constatados pelo sensor MODIS mais focos de calor durante o verão do que durante o inverno. Dos 120 dias compreendidos pelo período de observação, durante o verão e o inverno do ano de 2006, foram observados 72 dias com focos de calor, sendo 40 dias durante o verão com 21 focos de calor, e 32 dias durante o inverno com 18 focos de calor (em destaque nas cores azul e laranja, respectivamente, na Figura 1).

Constatou-se que no verão o município de Pedro Canário foi o que apresentou mais focos de calor (9), todos classificados como 9 (de 80% a 100% de confiança de que seja fogo), contudo no inverno o município onde constatou-se mais focos de calor foi São Mateus (10, dos quais 7 da classe 8 e 3 da classe 9) (Figura 1). É relevante notar que durante o período em estudo não foi encontrado nenhum foco de calor dentro das unidades de conservação, os mais próximos foram constatados no entorno da Estação Ecológica da Barra Nova (Figura 1).

Apesar do clima da região ser classificado como tropical úmido, com inverno seco e chuvas concentradas no verão, no ano de 2006 registrou-se uma condição atípica, ou seja, neste ano em específico a concentração das chuvas ocorreu durante o inverno. Ilustram bem essa condição os dados pluviométricos dos municípios de São Mateus e Conceição da Barra, que juntos totalizam mais de 50% dos focos de calor de todo o período em estudo (Figura 3).

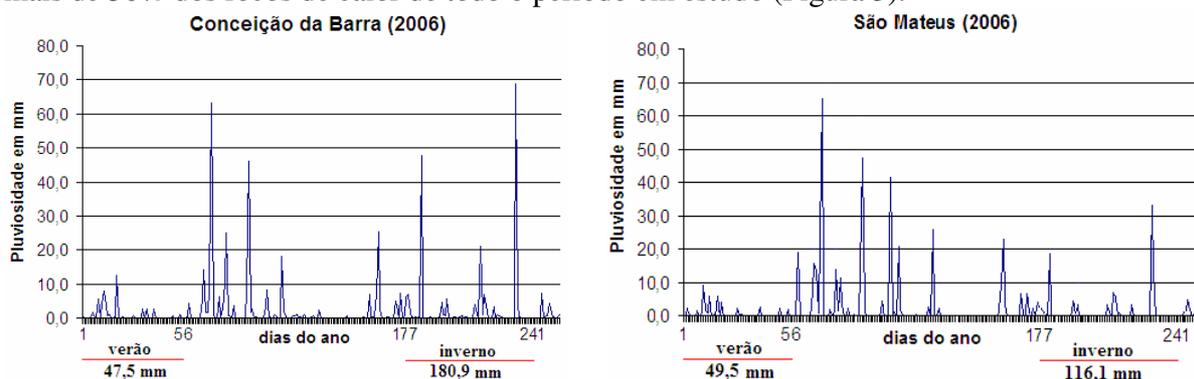


Figura 3. Caracterização das condições de chuva para os municípios de São Mateus e Conceição da Barra (contabilizam mais de 50% dos focos de calor) (fonte: ARCEL, 2008).

Existe pouca relação entre o risco de incêndio (FMA, calculado com os dados de São Mateus) e os focos de calor constatados pelo sensor MODIS. Isto é, um maior número de focos de calor não foram constatados exatamente nos dias em que os maiores índices de risco de incêndio foram

obtidos (Figura 4). Dados corroborados pelo risco de incêndio (FMA), que durante o verão alcançou o valor de 35 enquanto que no inverno (mais chuvoso) não passou de 25 (Figura 4).

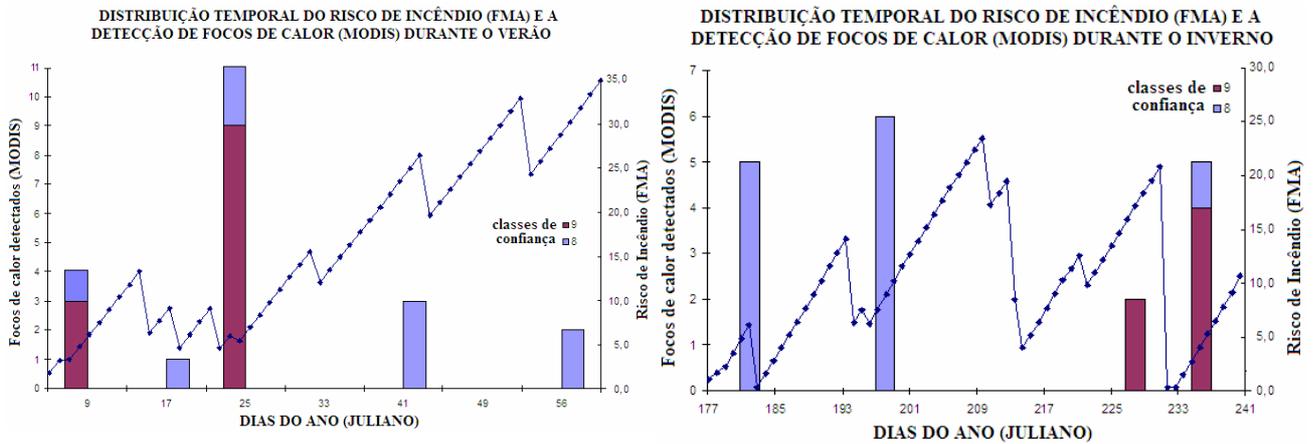


Figura 4. Distribuição temporal do risco de incêndio (FMA) e da ocorrência de focos de calor (MODIS).

Contudo, quando consideramos todo o período em estudo, percebemos que há coerência entre os dados. Ou seja, durante os dias do verão (menos chuvoso) houve mais focos de calor (21) enquanto que durante o inverno houve menos focos de calor (18). O verão apresentou mais dias com muito alto risco de incêndio quando comparado ao inverno (Figura 5). Isto ocorre também se considerarmos a categoria “alto” somada à categoria “muito alto”, evidenciando assim que o verão foi realmente mais propenso à ocorrência de fogo (devido aos maiores valores encontrados para o risco de incêndio e ao maior número de dias classificados como risco “muito alto”), para a região.

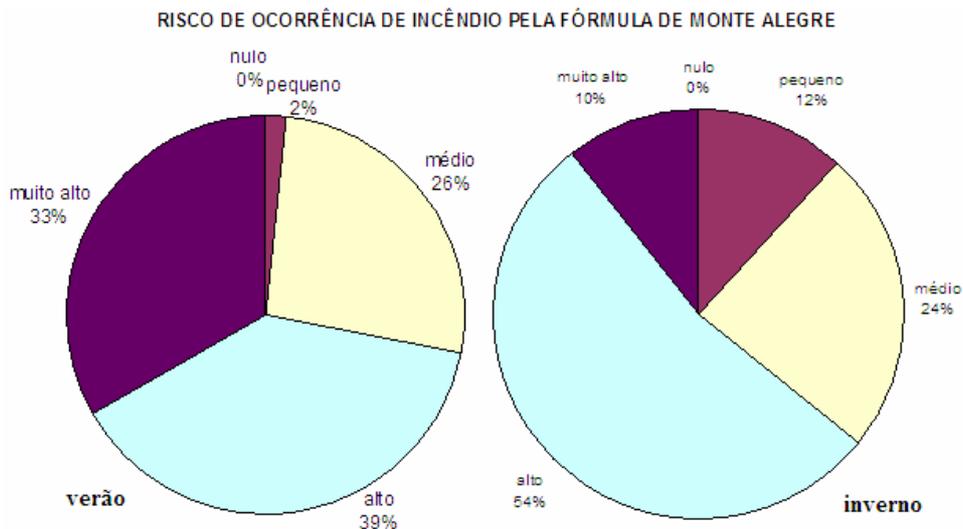


Figura 5. Percentual de dias com muito alto, alto, médio, pequeno ou nulo risco de ocorrência de incêndio, para o município de São Mateus.

#### 4.0 Discussão e conclusões

As imagens de focos de calor do MODIS são de fácil aquisição, manipulação e auxiliam na produção de mapas temáticos e estudos relacionados à ocorrência de fogo. A replicabilidade desse estudo possui grande potencial quando a ausência de dados reais é fato. Apesar de não haver exatidão entre os dias de ocorrência dos focos de calor e os dias de maiores risco de incêndio, a ocorrência de mais focos de calor durante o verão é coerente com a baixa pluviosidade e com o grande número de dias com muito alto risco de incêndio para este período.

Por exemplo, para estudos de desertificação onde o fogo é considerado um fator potencializador, seja por causa antrópica ou natural, é importante identificar sua distribuição espacial e temporal. Sobretudo em estudos nos quais dados passados são relevantes e não há registro documental da ocorrência de fogo. Nestes casos imagens fogo do sensor MODIS são muitas vezes as únicas fontes de dados de ocorrências de focos de calor e são, pelos argumentos expostos ao longo deste estudo, úteis e necessárias.

A não constatação de focos de calor dentro de Unidades de Conservação (UC's) é um dado importante, sobretudo quando há boas condições para sua ocorrência, como as encontradas no verão do período em estudo. Assim, espera-se que todos os focos de calor, constatados de forma remota, sejam confrontados com os registros locais, como forma de validá-los e também para que haja uma verificação de quanto o risco de incêndio calculado acerta na previsão de incêndios, para a região em estudo. Nesse sentido estudos futuros podem determinar as correlações entre o acerto do risco de incêndio calculado e o acerto dos focos de calor constatados pelo sensor MODIS.

#### 5.0 Referências Bibliográficas

- Page, S.E.; Siegert, F.; Rieley, J.O.; Boehm, H.D.V.; Jaya, A.; Limin, S. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. **Nature**, 420: 61-65.
- Sá, A.C.L; Pereira, J.M.C.; Vasconcelos, M.J.P.; Silva, J.M.N; Ribeiro, N.; Awasse, A. 2003. Assessing the feasibility of sub-pixel burned area mapping in miombo woodlands of northern Mozambique using MODIS imagery. **International Journal of Remote Sensing**, 24:1783-1796.
- CHENEY, N.P. Predicting fire behavior with fire danger tables. *Australian Forestry*, 32(2):71-79, 1968.
- SAMPAIO, O.B. Estudo comparativo de índices para previsão de incêndios florestais na região de Coronel Pacheco, Minas Gerais. Viçosa, MG: UFV, 1991. 88p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1991
- Anderson, L.O.; Shimabukuro, Y.E; DeFries, R.S.; Morton, D. 2005. Assessment of deforestation in near real time over the brazilian amazon using multitemporal fraction images derived from Terra/MODIS. **IEEE Geoscience and Remote Sensing letters**, 2 (3): 315-318.
- INPE. Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites. Coordenação Geral de Observação da Terra. São José dos Campos. Junho de 2008.
- VERGARA, S. C. . A Redescoberta do Homem - Estrutura Organizacional & Mudança.. Revista Rumos, Rio de Janeiro, p. 15, 1997.
- GIGLIO, L. MODIS Collection 4 Active Fire Product User's Guide. Science Systems and Applications, Inc. Version 2.3, 2007.