

## Unidades de Conservação e Proteção contra Incêndios Florestais: Relação entre Focos de Calor e Ações Articuladas pelas Brigadas Contratadas

Rossano Marchetti Ramos<sup>1</sup>, Rafael Luís Fonseca<sup>2</sup> & Thiago Fonseca Morello<sup>3</sup>

Recebido em 12/05/2015 – Aceito em 07/04/2016

**RESUMO** – A efetividade das unidades de conservação (UCs) na proteção contra incêndios florestais relaciona-se à capacidade destas em impedir a ocorrência de queimadas com causas antrópicas em seu interior. A formação de brigadas de prevenção combate a incêndios, programa iniciado em 2001, reforçou a estrutura de proteção existente previamente. Para avaliar o efeito da criação das brigadas, comparamos a densidade de focos de calor (focos / km<sup>2</sup>, satélite NOAA-12) no interior e em uma faixa de 10 km no entorno das unidades. Avaliamos 37 UCs, cujos critérios de seleção foram: ter área mínima de 10.000 hectares e brigada formada entre 2001 e 2004, logo pós a criação do programa. Utilizamos dois períodos nas análises: anterior (1999-2000) e posterior (2005-2006) à criação das brigadas. Não encontramos evidência no período anterior que a densidade de focos no interior das UCs fosse diferente de seu entorno ( $Z = 1,027$ ,  $p = 0,304$ ). Já no período posterior, foi registrada densidade 76% menor nas UCs que em seus entornos ( $Z = -2,663$ ,  $p = 0,008$ ). A avaliação da evolução temporal, por outro lado, não evidenciou qualquer redução do número de focos de calor nas UCs entre os dois períodos ( $Z = 0,854$ ,  $p = 0,393$ ), mas um aumento na densidade de focos ocorridos nos entornos das UCs ( $Z = -2,617$ ,  $p = 0,009$ ). Estes resultados evidenciam um aumento da proteção a incêndios florestais conferido às UCs após a criação das brigadas, quando comparada às densidades de interior e entorno das áreas, mas não quando comparamos a evolução das densidades de focos no interior das mesmas. Isso se deve ao fato deste método não incorporar mudanças causadas por fatores extrínsecos às Unidades (ex. clima e aumento da pressão antrópica). Com isso, a variação de focos de calor parece ser um indicador pouco preciso para a avaliação das ações de proteção implementadas. A comparação das densidades de focos no interior e fora deve ser utilizado preferencialmente, quando o entorno atender a premissa de representar o grau de pressão regional a que a UC está sujeita.

**Palavras-chave:** áreas protegidas; incêndios florestais; indicadores; manejo do fogo; políticas públicas para conservação.

**ABSTRACT** – Generally, protected areas (PAs) are effective in preventing wildfires when effective to curb the occurrence of forest fires caused by humans in their interior. National fire-fighting brigades, established in 2001, reinforced the existing protection. To evaluate the effect of brigades on fires, we compared the hotspot density (NOAA-12 satellite) inside and outside (within 10 km of PAs' boundaries). Thirty seven PAs were selected considering their area and the period of brigade establishment. Two periods were evaluated, before

### Afiliação

<sup>1</sup> Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis/Ibama, Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais/Prevfogo, SCEN Trecho 2 - Ed. Sede, Brasília-DF, CEP 70818-900, Brasil.

<sup>2</sup> Programa de Pós-graduação do Departamento de Geografia (PPGGEA) da Universidade de Brasília (UnB), Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais (LSIE), Brasília-DF, CEP 70910-900, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Federal do ABC/Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas/São Bernardo do Campo, CEP 09606-070, Brasil.

### E-mails

rossano.ramos@ibama.gov.br, rlfonseca@gmail.com, subverjesus@gmail.com

(1999-2000) and after (2005-2006) the creation of brigades. In the first period, PAs were not statistically different from their surroundings ( $Z = 1.027$ ,  $p = 0.304$ ). But in the second period, PAs registered 76% lessfires / km<sup>2</sup> than their surroundings ( $Z = -2.6627$ ,  $p = 0.008$ ). The time series, on the other hand, did not show a reduction of hotspot in the PAs comparing the two periods ( $Z = 0.854$ ,  $P = 0.393$ ). But a rise in fire density in surroundings was detected ( $Z = -2.617$ ,  $P = 0.009$ ). Results reveal an increase in wildfires protection after the creation of brigades only when comparing inside PAs and outside, but not when comparing before and after brigade creation. This is because changes caused by extrinsic factors to the areas (e.g. Climate and increased human pressure) remain unincorporated. The inside/outside method should only be used when the surroundings truly represent the pressure to which the PA is subject.

**Keywords:** indicators; fire management; forestry fires, protected areas, public policies for conservation.

**RESUMEN** – La efectividad de las unidades de conservación (UCs) en la protección contra incendios forestales se relaciona a la capacidad de estas en impedir la ocurrencia de quemas con causas antrópicas en su interior. La formación de brigadas de prevención y combate a los incendios, programa iniciado en 2001, reforzó la estructura de protección previamente existente. Para evaluar el efecto de la creación de las brigadas, comparamos la densidad de focos de calor (focos / km<sup>2</sup>, satélite NOAA-12) en el interior y en una faja de 10 km en el entorno de las unidades. Evaluamos 37 UCs, cuyos criterios de selección fueron: tener un área mínima de 10,000 hectáreas y brigada formada entre 2001 y 2004, luego de la creación del programa. Utilizamos dos períodos en los análisis: anterior (1999-2000) y posterior (2005-2006) a la creación de las brigadas. No encontramos evidencia en el periodo anterior que la densidad de focos en el interior de las UCs fuese diferente de su entorno ( $Z = 1.027$ ,  $p = 0.304$ ). Así, en el periodo posterior fue registrada una densidad 76% menor en las UCs que en sus entornos ( $Z = -2.663$ ,  $p = 0.008$ ). La evaluación de la evolución temporal, por otro lado, no dejó evidencia de cualquier reducción del número de focos de calor en las UCs entre los dos periodos ( $Z = 0.854$ ,  $p = 0.393$ ), pero sí, un aumento en la densidad de los focos ocurridos en los entornos de las UCs ( $Z = -2.617$ ,  $p = 0.009$ ). Estos resultados dejan en evidencia un aumento de la protección contra los incendios forestales conferido a las UCs luego de la creación de las brigadas, cuando comparada a las densidades del interior y entorno de las áreas, pero no, cuando comparamos la evolución de las densidades de focos en el interior de las mismas. Eso se debe al hecho de este método no incorporar cambios causados por factores extrínsecos a las Unidades (por ejemplo, clima y aumento de la presión antrópica). Con eso, la variación de focos de calor parece ser un indicador poco preciso para la evaluación de las acciones de protección implementadas. La comparación de las densidades de focos en el interior y fuera, debe ser utilizado preferencialmente cuando el entorno atienda la premisa de representar el grado de presión regional a la que la UC está sujeta.

**Palabras clave:** áreas protegidas; incendios forestales; indicadores; manejo del fuego; políticas públicas para la conservación.

## Introdução

O Manejo do Fogo é o conjunto de práticas e decisões técnicas direcionadas a prevenir, detectar, controlar e manipular, através do fogo, uma determinada paisagem visando atender objetivos específicos. Em seu conjunto, estas atividades podem ser resumidas como prevenção, supressão e uso do fogo. O Manejo do Fogo compõe um dos tripés das estratégias compreendidas pelo Manejo Integrado do Fogo, que incorpora também os atributos ecológicos e aspectos sociais (manejo da paisagem e impactos socioeconômicos) do uso do fogo às estratégias de gestão territorial (Myers 2006).

A estrutura relacionada ao Manejo do Fogo nas unidades de conservação (UCs) do Brasil foi sensivelmente alterada em 2001, com o início do programa de brigadas contratadas, nessa época gerenciado pelo Prevfogo (Morais 2013). A contratação de profissionais treinados especificamente para desempenhar atividades de proteção ao fogo, juntamente com a especialização destas ações, melhorou sensivelmente a estrutura existente nas UCs para estas finalidades. No entanto, se parece óbvio que este contingente extra de profissionais e recursos melhoraria as ações desempenhadas, este efeito de aumento de proteção conferido pelas unidades de conservação nos ecossistemas que abriga ainda não foi mensurado. Um dos motivos se deve à complexidade desta avaliação. Parte

desta dificuldade reside no fato de que o dano evitado pela presença da unidade de conservação não pode ser diretamente observado (Andam *et al.* 2008). O Prevfogo (e outras instituições públicas e da sociedade civil organizada) normalmente usa uma série temporal com a variação da quantidade de focos de calor, dados gerados pelo INPE (2015), em dada área para avaliar a eficácia de suas ações. Isto é feito, entre outros motivos, por falta de outro indicador disponível, com a cobertura espacial e temporal dos focos de calor.

Nestas avaliações, normalmente pouca diferenciação na análise é dada ao bioma e à época do ano da ocorrência dos sinistros, mesmo sabendo que os biomas Cerrado (Miranda *et al.* 2002) e Campos Sulinos (Fidelis & Pivello 2011), por exemplo, são acometidos por incêndios com causas naturais. Nestes locais, nem todo o incêndio é sinal de impacto ecológico que deve ser evitado. Pelo contrário, perturbações no regime de fogo (frequência – mesmo a diminuição, época e características do incêndio) também podem representar uma perturbação ecológica (Hardesty *et al.* 2005). Portanto, um indicador do dano causado pelo fogo tem que considerar aspectos relacionados à ecologia e ao regime natural de queima de uma dada área.

Para a gestão pública, os indicadores são instrumentos que contribuem para identificar e medir aspectos relacionados a um determinado fenômeno decorrente da ação ou da omissão do Estado (Brasil 2012). Pode-se afirmar que um indicador deve, de forma mensurável, traduzir e simplificar um aspecto da realidade de forma que possa ser viável sua observação e avaliação ao longo do tempo (Ferreira *et al.* 2009, IBGE 2008, Magalhães 2004). Assim, para avaliar se as estratégias de prevenção e combate são eficientes, há a necessidade de se ter indicadores concisos, mensuráveis e viáveis de monitorar.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da contratação de brigadistas na proteção a incêndios florestais e queimadas em unidades de conservação utilizando-se dois indicadores distintos. Um objetivo adicional foi avaliar também o uso da variação da quantidade de focos de calor como indicador para avaliação da eficácia de áreas protegidas e ações de proteção implementadas.

## Métodos

Para avaliar a proteção conferida pela formação das brigadas, adaptamos o método utilizado por Nepstad *et al.* (2006). O princípio deste é distinguir efeitos locais (internos à área avaliada) de efeitos regionais, assumindo que as UCs localizadas em regiões sujeitas a maiores pressões antrópicas tenderiam a ser também sujeitas a estas ameaças. O grau de ameaça regional a que uma unidade de conservação estaria sujeita seria indicado pelo grau de perturbação de seu entorno. Da mesma forma, o grau de proteção que uma unidade de conservação conferiria a um dado território estaria relacionado a quanto menor é a quantidade de perturbação antrópica registrada no interior desta unidade, na comparação com o seu entorno.

Em nossa avaliação, comparamos uma faixa de entorno (*buffer*) de 10 km além dos limites das unidades de conservação e o interior das UCs. Para estas áreas calculamos a densidade de eventos ocorridos utilizando os focos de calor como *proxy* das ocorrências de incêndios. Utilizamos os dados de satélite de referência durante este período, NOAA-12, passagem noturna (INPE 2015). Definimos a densidade de focos de calor como a quantidade de focos de calor / km<sup>2</sup>. Multiplicamos o resultado por 100 para facilitar a leitura, conforme a fórmula a seguir:

$$\text{Densidade} = \frac{100 \times \text{No. de focos de calor}}{\text{Área (em km}^2\text{)}}$$

De forma semelhante ao trabalho de Nepstad *et al.* (2006), tomamos como premissa que a densidade de focos de calor no entorno está relacionada ao grau de ameaça a incêndios florestais e queimadas a que a UC está sujeita. Em decorrência, a razão da densidade de focos no entorno pelo interior da UC é uma estimativa do desempenho destas em conter ou minimizar as ameaças

de incêndios a que a área está sujeita. Se a densidade interna de focos for aproximadamente igual à densidade externa, não se têm evidências de que exista efeito da proteção a incêndios conferido pela UC.

Para avaliar como a eficácia das unidades de conservação respondeu à implementação das brigadas avaliamos a performance, utilizando-se a comparação descrita acima, antes e após a contratação de brigadas nestas unidades. Seleccionamos para as análises as UCs seguindo os seguintes critérios: 1) brigada formada entre 2001 e 2004; 2) área mínima de 10.000 hectares; 3) e a faixa de entorno de 10 km não se sobrepor ao litoral. Como a contratação regular de brigadistas por 6 meses para atividades de prevenção e combate a incêndios florestais em unidades de conservação se iniciou em 2001 (Morais, 2013), avaliamos o efeito deste programa logo após sua implementação. O critério de área mínima foi pensado para minimizar erros de localização dos focos de calor já que o sensor do AVHRR do NOAA 12 tem resolução espacial de 1,1 km no nadir (NOAA 2015). Também excluimos as unidades cuja área de entorno tenha sobreposição com o litoral pois sua inclusão poderia enviesar os resultados. A localização destas UCs utilizadas na avaliação podem ser vistas na Figura 1 e a identificação das unidades de conservação mostradas na figura e outros detalhes, na Tabela 1.

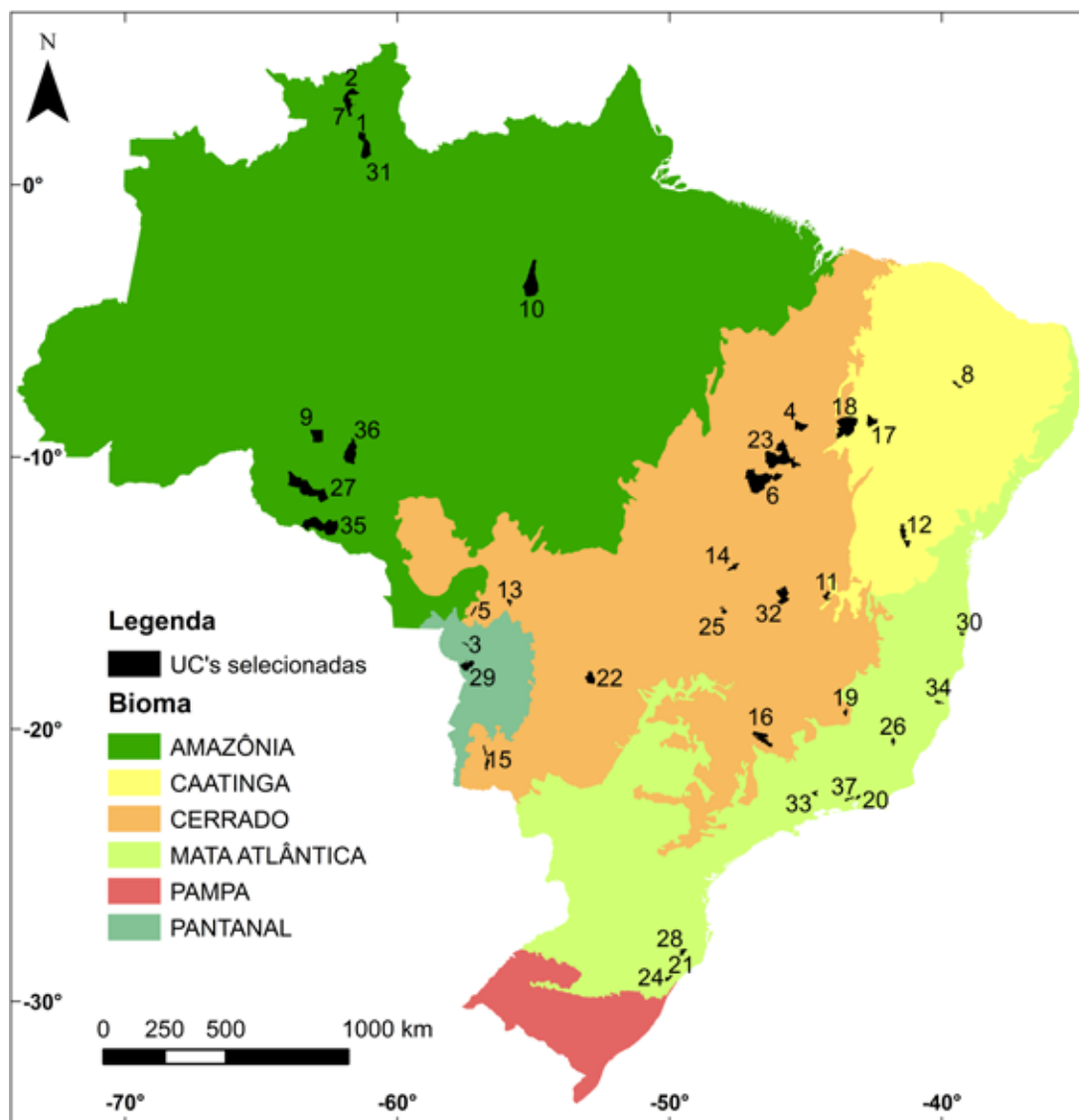


Figura 1 – Localização das unidades de conservação selecionadas para análise, conforme critérios descritos no texto.

Tabela 1 – Unidades de conservação consideradas nas análises.

Nome UC	Bioma	Ano de início da brigada	Identificação (Figura 1)
ESEC de Caracaráí	Amazônia	2002	1
ESEC de Maracá	Amazônia	2004	2
ESEC de Taiamã	Pantanal	2001	3
ESEC de Uruçui-Una	Cerrado	2001	4
ESEC da Serra das Araras	Cerrado	2001	5
ESEC Serra Geral do Tocantins	Cerrado	2001	6
FLONA de Roraima	Amazônia	2004	7
FLONA do Araripe-Apodi	Caatinga	2001	8
FLONA do Jamari	Amazônia	2002	9
FLONA de Tapajós	Amazônia	2002	10
PARNA Cavernas do Peruaçu	Cerrado/Caatinga	2001	11
PARNA da Chapada Diamantina	Caatinga	2004	12
PARNA da Chapada dos Guimarães	Cerrado	2001	13
PARNA da Chapada dos Veadeiros	Cerrado	2001	14
PARNA da Serra da Bodoquena	Cerrado	2001	15
PARNA da Serra da Canastra	Cerrado	2004	16
PARNA da Serra da Capivara	Caatinga	2001	17
PARNA Serra das Confusões	Cerrado/Caatinga	2002	18
PARNA da Serra do Cipó	Cerrado	2001	19
PARNA da Serra dos Orgãos	Mata Atlântica	2001	20
PARNA da Serra Geral	Mata Atlântica	2001	21
PARNA das Emas	Cerrado	2001	22
PARNA das Nascentes do Rio Parnaíba	Cerrado	2002	23
PARNA de Aparados da Serra	Mata Atlântica	2002	24
PARNA de Brasília	Cerrado	2001	25
PARNA de Caparaó	Mata Atlântica	2002	26
PARNA de Pacaas Novos	Amazônia	2001	27
PARNA de São Joaquim	Mata Atlântica	2001	28
PARNA do Pantanal Matogrossense	Pantanal	2001	29
PARNA do Pau Brasil	Mata Atlântica	2001	30
PARNA do Viruá	Amazônia	2004	31
PARNA Grande Sertão Veredas	Cerrado	2001	32
PARNA Itatiaia	Mata Atlântica	2001	33
REBIO de Sooretama	Mata Atlântica	2001	34
REBIO do Guaporé	Amazônia	2004	35
REBIO do Jaru	Amazônia	2001	36
REBIO do Tinguá	Mata Atlântica	2001	37

ESEC = Estação Ecológica; FLONA = Floresta Nacional; PARNA = Parque Nacional; REBIO = Reserva Biológica.

Utilizou-se os focos de calor dos períodos anteriores e posteriores à contratação, biênios 1999-2000 e 2005-2006, para avaliar o efeito da contratação de brigadas, comparando a densidade de focos de calor no interior e no entorno nos dois períodos. Também comparamos a variação entre os dois períodos da densidade de focos de calor no entorno e no interior, visando avaliar a evolução dos focos de calor nestes locais e o próprio indicador. Utilizamos dois anos subsequentes para minimizar o efeito de eventos específicos (grandes incêndios dentro ou fora ou anos atipicamente chuvosos, com poucas ocorrências).

Neste trabalho avaliamos o efeito das brigadas, a evolução da densidade de focos de calor nas áreas estudadas e os dois indicadores utilizados: quantidade de focos de calor e a comparação da densidade externa e interna de focos de calor. Realizamos isto através de quatro comparações distintas: (1) UC e entorno antes da contratação de brigadas; (2) UC e entorno após a contratação; (3) UC antes e depois da contratação; e (4) entorno antes e depois da contratação de brigadas. Testamos a existência de diferenças nestas comparações utilizando o teste Wilcoxon para amostras pareadas (*Wilcoxon signed rank test*). Além disso, comparamos a densidade de focos de calor em UCs do Cerrado e seus entornos com de outros biomas, utilizando a versão do teste de Wilcoxon-Mann-Whitney (*Wilcoxon rank sum test*). Usamos testes não paramétricos para lidar com a violação das premissas de normalidade. Fizemos as análises estatísticas utilizando o programa R (R Core Team 2014) e o teste de Wilcoxon utilizando a função *wilcoxsign\_test* e o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney usando a função *wilcox\_test*, ambas do Pacote *coin* (Hothorn *et al.* 2008).

## Resultados

Foram incluídas nas análises 37 UCs, sendo que 12 localizaram-se no bioma Cerrado, 9 na Amazônia, 9 na Mata Atlântica, 3 na Catinga, 2 no Pantanal e 2 na divisa entre Cerrado e Caatinga.

Em relação à detecção de focos de calor, durante o período anterior à contratação das brigadas, biênio de 1999 e 2000, não encontramos diferenças na densidade de focos de calor nas unidades de conservação em relação ao seu entorno ( $Z = 1,027$ ,  $p = 0,304$ ). Nesse período, a mediana da densidade de focos de calor foi 1,53 no interior das unidades de conservação e 1,2 no entorno (Figura 2A). A mediana da diferença entre os focos ocorridos dentro e no entorno foi zero (Figura 3). Já no período posterior à contratação de brigadas, anos 2005 e 2006, foi registrada nas UCs uma densidade 76% menor que em seus entornos ( $Z = -2,6627$ ,  $p = 0,008$ ), sendo que as medianas da densidade de focos no interior e entorno das UCs foram, respectivamente, 0,36 e 1,5 (Figura 2B). Na comparação entre interior e entorno de cada UC, houve uma redução de 0,53 na mediana da diferença da densidade de focos do interior em relação ao entorno (Figura 3).

A avaliação da evolução temporal, por outro lado, não evidenciou qualquer redução do número de focos de calor nas unidades de conservação entre os dois períodos ( $Z = 0,854$ ,  $p = 0,393$ ). Embora a mediana da densidade de focos de calor nas UCs tenha reduzido entre os períodos, de 1,53 para 0,36 (Figura 2C), a mediana da diferença da densidade de focos entre os dois períodos em cada foi zero (Figura 3). Ao mesmo tempo, encontramos um aumento entre os períodos na densidade de focos de calor registrada no entorno das unidades de conservação ( $Z = -2,617$ ,  $p = 0,009$ ), tendo a mediana da densidade de focos aumentado de 1,2 para 1,5 entre os períodos (Figura 2D). Já a mediana da diferença da densidade de focos registrada entre os dois períodos foi de 0,36 (Figura 3).

O desempenho individual de cada UC em limitar os incêndios (Figura 4) reforça os resultados apresentados. No biênio de 1999 e 2000 as unidades de conservação tendem a ter uma mesma densidade de focos de calor que seu entorno (ilustrada pela reta em pontilhado). Já no segundo período, anos 2005 e 2006, as UCs apresentam consistentemente menos focos por área que seus entornos. No entanto há um conjunto de unidades de conservação que apresentam uma densidade

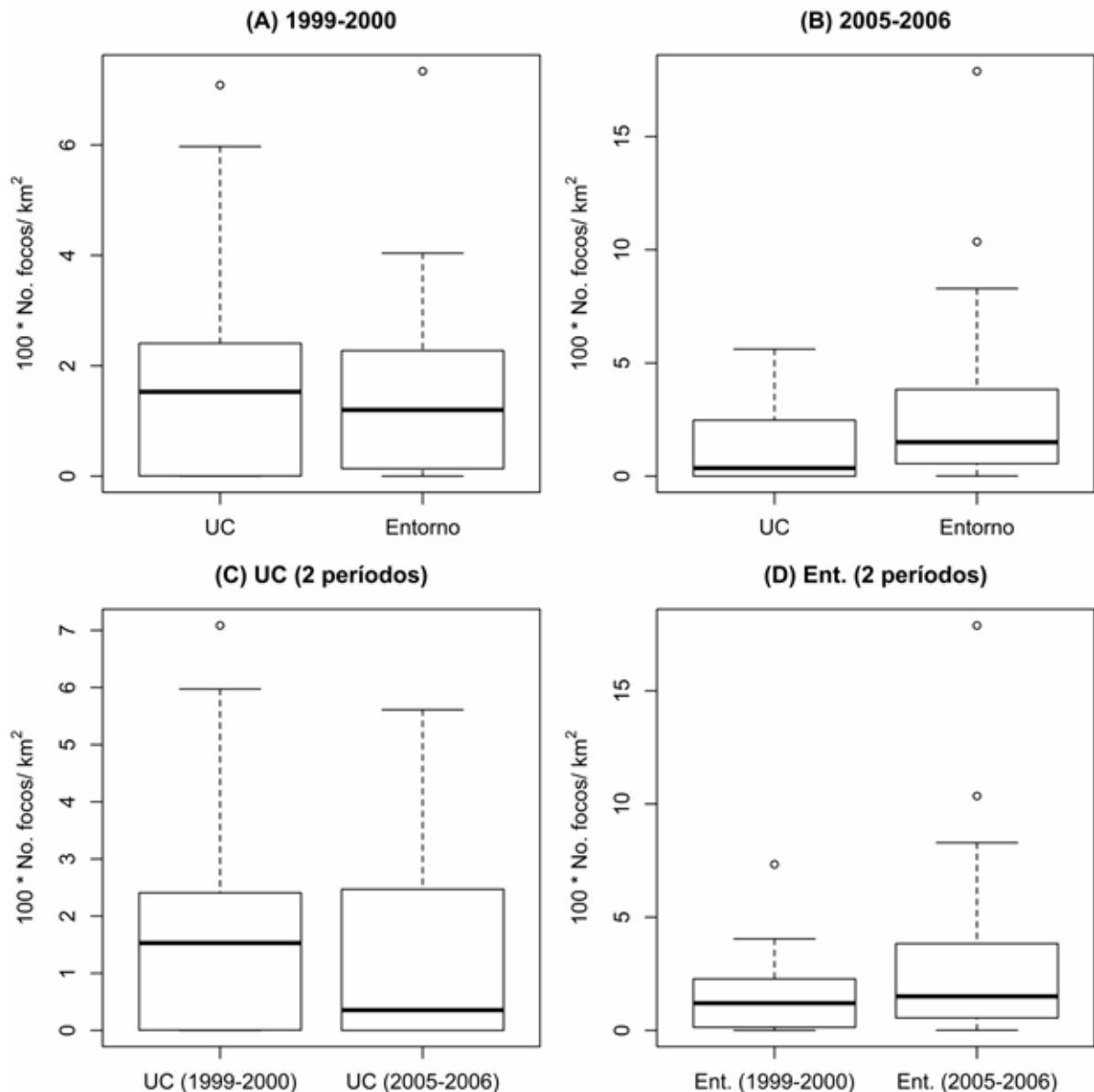


Figura 2 – Comparação da densidade de focos de calor.

(A) Antes da contratação das brigadas (1999-2000): unidades conservação (UC) e entorno.

(B) Após à contratação das brigadas (2005-2006): unidades de conservação (UC) e entorno\*).

(C) Unidades de conservação (UC) entre os períodos: 1999-2000 e 2005-2006.

(D) Entorno (Ent.) entre os períodos: 1999-2000 e 2005-2006(\*). Em asterisco estão marcadas as comparações significativas ( $\alpha = 0.05$ ).

de focos semelhante ou maior que seu entorno (identificadas na figura com a mesma numeração da Tabela 1). Boa parte destas UCs localizam-se no bioma Cerrado. No período de 1999-2000 a densidade de focos de calor no interior e entorno das UCs do Cerrado (respectivamente, 2,89 e 1,89) foi cerca de 5 vezes maior que nas UCs de outros biomas (0,54 e 0,34). Já no período de 2005-2006, as UCs do Cerrado tiveram uma densidade 10 vezes superior às UCs de outros biomas (respectivamente, 2,50 e 0,23) e, concomitantemente, uma densidade no entorno cuja diferença não foi estatisticamente significativa (ver Tabela 2).

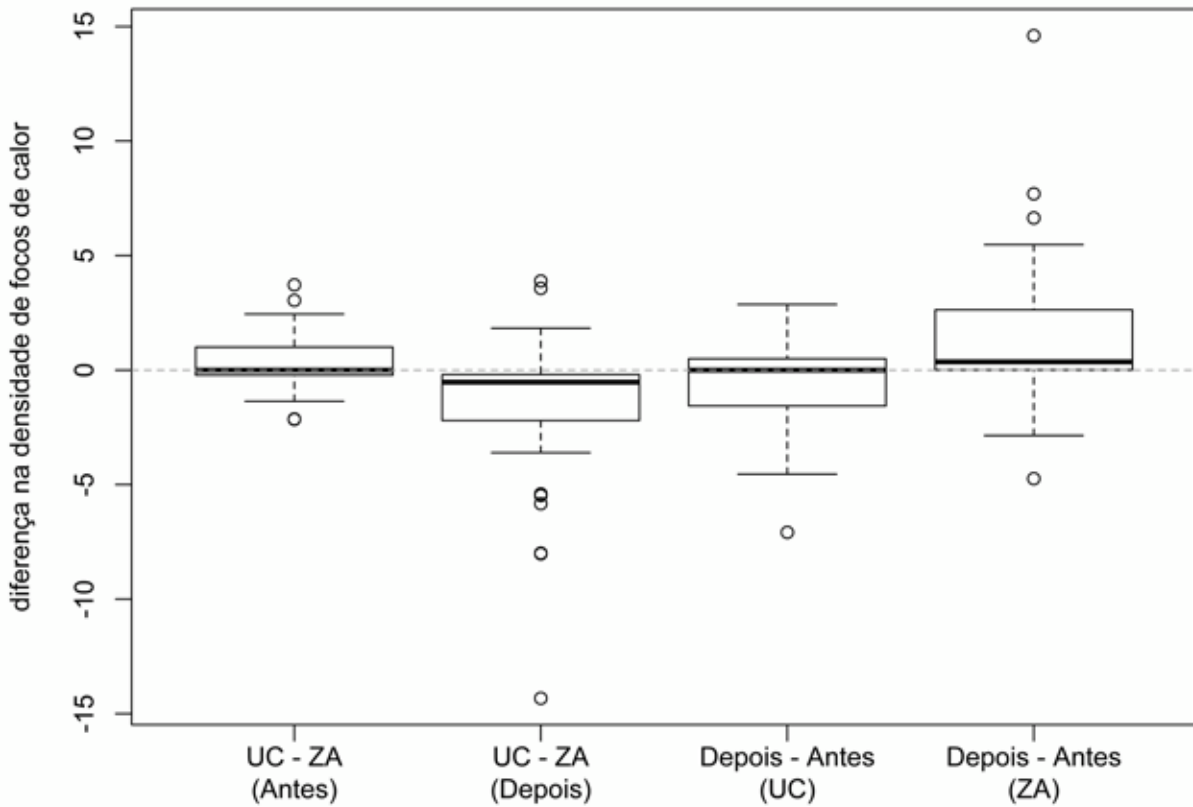


Figura 3 – Distribuição das diferenças das densidades de focos de calor registrados nas unidades de conservação e entornos (ZA) nos dois períodos e nas unidades e seus entornos na comparação entre os períodos.

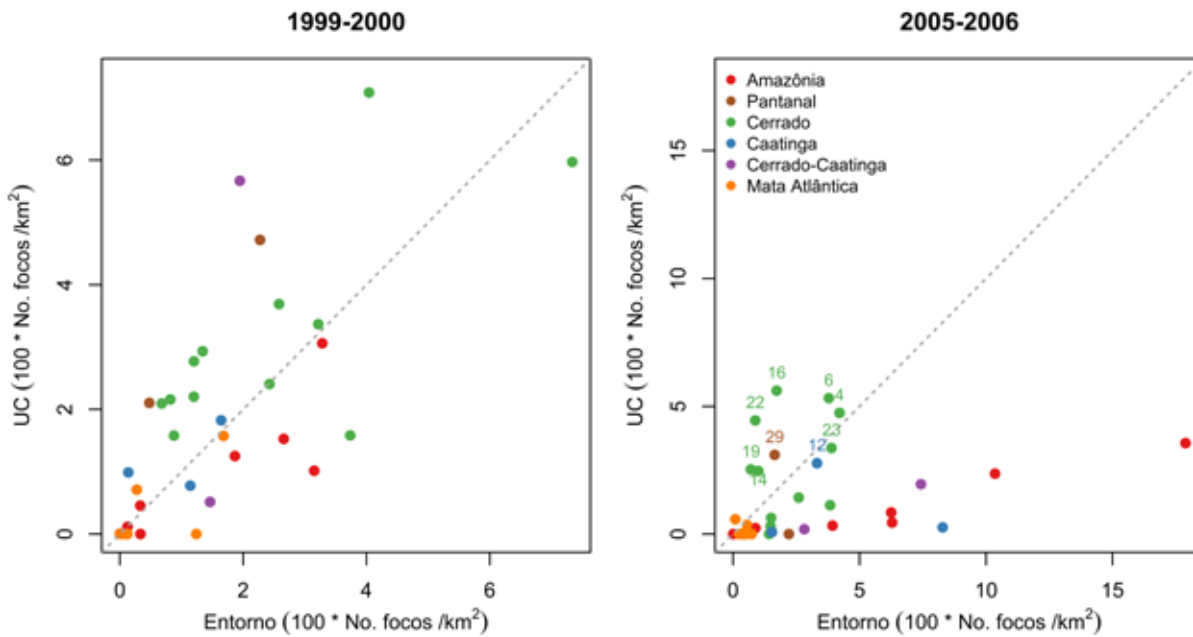


Figura 4 – Relação entre a densidade de focos ( $100 \cdot \text{número de focos} / \text{km}^2$ ) no interior e entorno das unidades de conservação antes (1999-2000) e após (2005-2006) à formação de brigadas. Em pontilhado está a reta de relação 1:1, indicando inexistência de efeito de proteção proporcionado pelas unidades.



Tabela 2 – Comparação entre densidade de focos de calor entre unidades de conservação localizadas no Cerrado e em outros biomas.

Período	Local	Mediana da Densidade de Focos de Calor		Resultado da Comparação
		Cerrado	Outros Biomas	
1999 a 2000	UC	2.59	0.52	Z = -3.82, p < 0.001
	Entorno	1.89	0.34	Z = -2.63, p = 0.008
2005 a 2006	UC	2.50	0.23	Z = -3.19, p = 0.001
	Entorno	1.61	0.88	Z = -0.94, p = 0.360

Foram consideradas 37 unidades de conservação, 12 no Cerrado e 25 em outros biomas (ver Tabela 1 e Figura 1)

## Discussão

### *Desempenho das unidades de conservação em conter incêndios e queimadas*

Em relação ao desempenho das unidades de conservação em minimizar as queimadas, não encontramos evidências de redução de incêndios no interior das UCs avaliadas, quando comparado com o seu entorno, no período anterior à contratação das brigadas. Para este conjunto de unidades de conservação, as estratégias de prevenção e combate executadas anteriormente à implementação das brigadas contratadas mostraram baixa eficácia ou insuficientes. Já no período posterior à formação de brigadas, encontramos uma densidade menor de focos de calor no interior das UCs que em seu entorno. Isto reforça que a contratação de brigadas e o trabalho de prevenção e supressão desenvolvidos após a sua adoção foram eficazes na redução e de incêndios.

Por outro lado, estas unidades de conservação analisadas representam uma subamostra claramente não aleatória do conjunto de unidades de conservação existentes. Elas foram selecionadas para receberem brigadas justamente porque eram atingidas por incêndios florestais significativos e necessitavam de um reforço no sistema de proteção que existia antes. Portanto, não é porque estas unidades mostraram-se, em seu conjunto, pouco eficazes em conter incêndios florestais e queimadas no período em que não contaram com brigadistas que isto pode ser generalizado para as demais. Na Amazônia, as unidades de conservação de proteção integral mostraram-se eficazes em conter desmatamento e incêndios mesmo com muitas não possuindo brigadas e mesmo com pouca estrutura (Nepstad *et al.* 2006). A capacidade que as unidades de conservação possuem de regrar o uso e ocupação do solo e a pressão demográfica humana, por si só, já tendem a impedir ou minimizar a ocorrência de queimadas e incêndios. O que nossos resultados reforçam é que o programa de brigadas contratadas tende a aumentar a capacidade das unidades de conservação em conter estas ocorrências.

Mesmo que as unidades de conservação, em seu conjunto, tenham registrado uma densidade de focos de calor menor que o entorno no segundo período analisado, algumas unidades tiveram uma densidade de focos similar ou superior a de seus entornos. Estas unidades, em sua maioria, localizam-se no bioma Cerrado. O que observamos é que entre as UCs analisadas, as do Cerrado tiveram, de maneira geral, uma densidade de focos bastante superior às dos outros biomas, tanto no interior quanto no entorno. No entanto, não encontramos diferenças entre os entornos das UCs do Cerrado e dos outros biomas no período de 2005-2006 (Tabela 2). O que estes resultados e a avaliação dos valores das densidades de focos indicam é que o comportamento das UCs do Cerrado não seguiu claramente a trajetória das UCs de outros biomas, de ligeira redução na densidade de focos de calor no interior e um incremento dos focos do entorno.

No entanto, é precipitado concluir que a eficácia das unidades de Cerrado seja baixa. Com as informações disponíveis, não é possível creditar todos os focos detectados a ações antrópicas. Parte destes focos deve ser relacionados a queimadas naturais, já que no Cerrado elas podem ser frequentes. No Parque Nacional de Emas, cerca de 85% das queimadas foram causadas por

raios, que perfizeram 87% da área queimada no período analisado (França *et al.* 2007). Já no Parque Nacional da Serra da Canastra, 44% dos incêndios foram causados por raios (Medeiros & Fiedler 2003). As queimadas naturais são um fator de perturbação ecológica importante na estruturação do Cerrado, mediando a competição e a coocorrência entre gramíneas e arbóreas (Kauffman *et al.* 1994). Ao longo de sua história evolutiva, as áreas de Cerrado foram atingidas por queimadas que modelaram a paisagem e selecionaram flora e fauna adaptadas, sendo o fogo considerado um dos fatores determinantes da ocorrência do Cerrado (Miranda *et al.* 2002). Portanto, suprimir completamente todo e qualquer fogo neste bioma não é uma estratégia de manejo adequada (Ramos-Neto & Pivello 2000). Assim, o fato de termos encontrado unidades de conservação no Cerrado sendo mais atingidas por incêndios que seus entornos após a contratação de brigadas, não necessariamente significa que nestas unidades de conservação as brigadas apresentem baixa eficácia.

Embora o Cerrado queime naturalmente, os incêndios com causa antrópica alteraram o regime natural de queima do Cerrado. As queimadas afetam diferentemente a estrutura e funcionamento das diversas fitofisionomias neste bioma, além de emitir carbono para a atmosfera (De Castro & Kauffman 1998). Queimadas freqüentes tendem a transformar áreas de cerrado *sensu strictu* e campos sujos em formações mais abertas, com maior dominância do estrato herbáceo. Isto, por sua vez, tende a fazer com que estas áreas sejam sujeitas a incêndios mais freqüentes e intensos (Miranda *et al.* 2002).

Entre as mudanças operadas pela ação humana no regime natural de queima do Cerrado, estão as relacionadas à época de queima. As queimadas naturais no cerrado, causadas normalmente por raios, ocorrem na estação chuvosa ou na transição entre as estações, enquanto os incêndios antrópicos concentram-se na estação mais seca (Ramos-Neto & Pivello 2000, Medeiros & Fiedler 2003). Além disso, os incêndios na estação seca tendem a produzir incêndios mais intensos, já que as condições climáticas (clima, chuva e umidade relativa) tendem a alterar o comportamento do fogo (Whelan 1995). Além de alterar a intensidade, a alteração da época das queimas tende a alterar mortalidade causada pelos incêndios. Os incêndios no fim da estação seca tendem a causar uma maior mortalidade que os incêndios no começo da estação (Sato *et al.* 2010).

Em decorrência do que foi exposto, na ausência da identificação de causas dos incêndios, a época de detecção dos focos poderia ser utilizada para avaliar os incêndios em áreas de Cerrado, a fim de se avaliar o grau de pressão antrópica a que uma área protegida está sujeita. A separação dos focos nestes períodos, separando as épocas de seca, chuvosa e de transição, pode ser útil em áreas em que os incêndios provocados por raios ocorrem na estação chuvosa e na transição. Nestes casos, pressupor que os incêndios ocorridos na estação seca tenham causas antrópicas pode ser útil ao se avaliar a pressão humana em áreas de Cerrado.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração na interpretação dos nossos resultados são as características do entorno das unidades de conservação. Algumas unidades estão inseridas em áreas já convertidas em agropecuária extensiva, mas que são manejadas sem o uso do fogo. Neste caso, a baixa quantidade de focos de calor detectados nestas áreas levará a interpretações incorretas de que as unidades estão mais sujeitas a pressões antrópicas que seus entornos. Este é, possivelmente, o cenário em que o Parque Nacional de Emas se insere, já que se encontra quase que totalmente cercado por áreas de cultivo (Myers 2006). Além disso, desde 1994, as queimadas de origem antrópica, sobretudo as iniciadas fora da unidade, tornaram-se pouco freqüentes. Com isso, quase todos os incêndios causados pela ação humana foram iniciados na confecção de aceiros e iniciados dentro do Parque (Ramos-Neto & Pivello 2000). Essas características fazem que este parque nacional tenda a ter uma densidade de focos maior que o entorno, e com isso ter um desempenho ruim de proteção baseando-se no método utilizamos, sem que isto reflita necessariamente a realidade.

Desta forma, embora o método utilizado seja útil, ele mostrou restrições na avaliação de alguns casos particulares, sobretudo de áreas protegidas localizadas no Cerrado e imersas em áreas já antropizadas, mas sujeitas a pouco uso de fogo.

### ***O uso de focos de calor como indicador de desempenho das unidades de conservação***

Como já mencionado, a comparação da densidade de focos de calor do interior e entorno de unidades de conservação nos permitiu identificar uma diminuição dos focos de calor após a criação das brigadas no interior das unidades de conservação. Por outro lado, não houve diferenças na comparação da densidade dos focos de calor detectados nos dois períodos, antes e depois da contratação das brigadas. A discordância nos resultados dos dois métodos ocorre por dois motivos principais.

O primeiro é que, embora a mediana da quantidade de focos tenha diminuído no segundo período, a distribuição das duas distribuições se sobrepõe muito (Figura 2C). Isso se deve ao fato de que apenas 46% das UCs apresentaram uma redução da densidade de focos no segundo período. Em outros 35% das unidades houve um aumento da densidade de focos e em cerca de 20% a quantidade se manteve igual. A redução da mediana no segundo período se deveu a redução significativa em algumas unidades que apresentaram, em 1999-2000, uma alta densidade de focos. Mas esta mudança não foi acompanhada por todas – ou mesmo a maioria – das unidades de conservação.

O segundo motivo é que entre os períodos 1999-2000 e 2005-2006 houve um aumento na densidade de focos de calor no entorno de 76% das unidades de conservação avaliadas. Isto resultou num aumento de 25% na mediana das densidades, na comparação entre os períodos. Como comparamos as densidades no interior e exterior das UCs, nossa avaliação de um aumento de proteção conferido pelas UCs após a contratação das brigadas se deve, em parte, ao aumento da pressão antrópica no entorno. Isto, por sua vez, deve estar relacionado a eventos climáticos e/ou aumento da pressão antrópica. O aumento da quantidade de focos de calor nas proximidades das UCs ajuda a explicar porque, em parte das unidades de Conservação, houve um aumento na quantidade de focos de calor detectados em seu interior, mesmo com a implementação do programa de brigadas. E também por isso que a comparação simples da densidade no interior entre os dois períodos não evidenciou o efeito da brigada. O que sugerimos é que as ações desenvolvidas foram contrabalanceadas com um aumento dos incêndios e queimadas, por fatores climáticos ou pressão antrópica.

Este estudo evidencia limitações no uso da variação de focos de calor para avaliar a eficácia das estratégias de proteção adotadas e mensurar a efetividade dos recursos gastos para a proteção de unidades de conservação e outras áreas protegidas. A quantidade de focos de calor detectados em uma área protegida varia com fatores extrínsecos, como clima e pressão antrópica vinda do entorno. Estes efeitos não são evidenciados nos dados oriundos somente de detecções no interior de áreas a serem protegidas. Por outro lado, a incorporação dos registros do entorno, como uma medida indireta das condições regionais, como grau de pressão antrópica e condições climáticas, tende a não ser válida em alguns contextos, como em áreas de produção agrícola mecanizada.

### ***Brigadas de incêndio como estratégia de políticas públicas de combate a incêndios florestais em áreas protegidas***

Nossos resultados indicam um aumento da efetividade das unidades de conservação após a adoção de brigadas de incêndios. Embora esta informação pareça óbvia quando pressupomos que as brigadas devem agregar maior eficiência à prevenção e supressão a incêndios florestais, não havia ainda nenhuma estimativa de quanto e se elas poderiam contribuir.

Do ponto de vista de políticas públicas para conservação contra incêndios e queimadas, a adoção de brigadas em áreas protegidas com problemas de incêndios torna-se ainda mais vantajoso tendo em vista os custos econômicos relacionados às queimadas em áreas de vegetação nativa. Estima-se que na Amazônia brasileira os incêndios florestais, apenas no ano de 1995, representaram um prejuízo de aproximadamente 1 milhão de dólares (Diaz 2002). Essa estimativa é bastante conservativa, tendo em vista que visa quantificar apenas o prejuízo com a perda da madeira

que possui valor comercial e não leva em conta outros custos envolvidos na de biodiversidade. Além disso, existem outros custos envolvidos, como a emissão de gases relacionados a mudanças climáticas, que podem ser da ordem de US\$ 10 a 572 milhões por ano (variação do preço da tonelada de CO<sub>2</sub>) (Diaz 2002).

Estes e outros custos normalmente não mensurados podem tornar a adoção de brigadas em áreas protegidas ainda mais interessante, do ponto de vista de custos, ajudando custear a manutenção do programa.

### **Conclusões gerais e limitações dos indicadores:**

- O programa de brigadas contratadas iniciado em 2001 em unidades de conservação federais mostrou ter aumentado o grau de proteção a incêndios e queimadas.
- Se o uso de focos de calor é útil para detecção de incêndios e evidenciar sinistros, por outro lado não demonstra ter acurácia ao avaliar-se a efetividade das medidas de proteção adotadas. Isto ocorre porque este é sensível a variações climáticas e de pressão antrópica, extrínsecas ao efeito das ações de proteção adotadas.
- Para áreas de Cerrado, em que as queimadas naturais fazem parte dos processos ecológicos que contribuem para sua composição, estrutura e funcionamento, a detecção de ocorrências, simplesmente, não pode ser interpretada como ameaça à dinâmica destes ecossistemas. Um melhor entendimento das causas dos incêndios, do regime natural de queima de cada área e dos impactos da pressão antrópica neste regime são importantes para melhor avaliação das estratégias de proteção. Uma outra alternativa seria utilizar-se apenas os focos de calor do período mais seco, quando incêndios naturais tendem a ser bem menos frequentes.
- A comparação da densidade de focos em áreas protegidas com seus entornos pode ser útil em permitir o uso dos focos de calor como instrumento de avaliação das políticas de proteção adotadas. Este dado é disponível e facilmente processado. Por outro lado, apresenta limitações se a premissa de que o entorno representa o grau de pressão regional for violada (ver Andam *et al.* 2008). Nestes casos, este método tende a subestimar o efeito de inibição de ocorrências no caso em que o entorno da área avaliada, mesmo que profundamente antropizadas, não é atingido por incêndios, ou sobrestimar em casos que há muita detecção no entorno, mas estas não representarem ameaça aos ecossistemas no interior das áreas protegidas.

### **Agradecimentos**

À Ana Carolina Querino, pela tradução do Resumo para o espanhol.

### **Referências bibliográficas**

Andam, K.S.; Ferraro, P.J.; Pfaff, A.; Sanchez-Azofeifa, G.A. & Robalino, J.A. 2008. Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 105(42): 16089-16094. <http://doi.org/10.1073/pnas.0800437105>

Brasil. 2012. **Indicadores – orientações básicas aplicadas à gestão pública**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Orçamento Federal. Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos. Brasília.

De Castro, E.A.; & Kauffman, J.B. 1998. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, 14(3): 263-283.

- Diaz, M.C.V.; Nepstad, D.; Mendonça, M.J.C.; Seroa, R.M.; Alencar, A.A.; Gomes, J.C. & Ortiz, R.A.O. 2002. **Prejuízo oculto do fogo: custos econômicos das queimadas e dos incêndios florestais da Amazônia**. Instituto de Pesquisa Ambiental do Amazônia e Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
- França, H.; Ramos Neto, M.B. & Setzer, A. 2007. **O fogo no Parque Nacional das Emas**. Série Biodiversidade, v. 27. MMA, Ministério do Meio Ambiente.
- Ferreira, H.; Cassiolato, M., & Gonzalez, R. 2007. **Como elaborar modelo lógico de programa: um roteiro básico**. Nota Técnica, IPEA.
- Fidelis, A. & Pivello, V. 2011. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos? **Biodiversidade Brasileira**, 1(2): 12-25.
- Hardesty, J.; Myers, R. & Fulks, W. 2005. Fire, ecosystems, and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. **The George Wright Forum**, 22(4):78-87).
- Hothorn, T.; Hornik, K.; van de Wiel, M.A. & Zeileis, A. 2008. Implementing a Class of Permutation Tests: The coin Package. **Journal of Statistical Software**, 28(8): 1-23.
- IBGE. 2008. **Síntese dos indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE.
- INPE. 2015. Monitoramento de queimadas e incêndios por satélite em tempo quase-real. <<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>>
- Kauffman, J.B.; Cummings, D.L. & Ward, D.E. 1994. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **The Journal of Ecology**, 82(3): 519-531.
- Magalhães, M.T.Q. 2004. **Metodologia para desenvolvimento de sistemas de indicadores: uma aplicação no planejamento e gestão da política nacional de transportes**. Dissertação (Mestrado em Transportes). Universidade de Brasília, 135p.
- Medeiros, M.B. de & Fiedler, N.C. 2003. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, 14(2): 157-168.
- Miranda, H.S.; Bustamante, M.M.C. & Miranda, A.C. 2002. The fire factor. Pp. 51-68. In: Oliveira, P.S. & Marquis, R.J. (Orgs.). **The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. Nova York: Columbia University Press.
- Morais, J.C.M. de. 2013. Fighting forest fires in Brazil. Pp. 179-190. In: **Proceedings of the Fourth International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: Climate Change and Wildfires**. Albany, CA: U.S.: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- Myers, R.L. 2006. **Convivendo com o fogo: manutenção dos ecossistemas e subsistência com o Manejo Integrado do Fogo**. Nature Conservancy, Global Fire Initiative.
- Nepstad, D.; Schwartzman, S.; Bamberger, B.; Santilli, M.; Ray, D.; Schlesinger, P. & Rolla, A. 2006. Inhibition of amazon deforestation and fire by parks and indigenous Lands. **Conservation Biology**, 20(1): 65-73. <http://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00351.x>
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). **Advanced very high resolution radiometer (AVHRR): Overview**. <[http://www.ngdc.noaa.gov/ecosys/cdroms/AVHRR97\\_d1/avhrr.htm](http://www.ngdc.noaa.gov/ecosys/cdroms/AVHRR97_d1/avhrr.htm)>. (Acessado em 30/03/2015).
- R Core Team. 2014. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/>.
- Ramos-Neto, M.B.; & Pivello, V.R. 2000. Lightning fires in a Brazilian Savanna National Park: Rethinking management strategies. **Environmental Management**, 26(6): 675-684. <http://doi.org/10.1007/s002670010124>
- Miranda, H.S.; Sato, M.S. & Maia, J.M.F. 2010. O fogo e o estrato arbóreo do Cerrado: efeitos imediatos e de longo prazo. Pp. 77-91. In: Miranda, H.S. (org.). **Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: resultados do Projeto Fogo**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, IBAMA.



Whelan, R.J. 1995. Fire – the phenomenon. Pp. 8-56. In: R.J. Whelan (Ed.). **The ecology of fire**. Cambridge: Cambridge University Press.

Revista Biodiversidade Brasileira – BioBrasil. 2016, n. 2.

<http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/issue/view/44>

**Biodiversidade Brasileira** é uma publicação eletrônica científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que tem como objetivo fomentar a discussão e a disseminação de experiências em conservação e manejo, com foco em unidades de conservação e espécies ameaçadas.

ISSN: 2236-2886