

## Temporada de incêndios florestais no Brasil em 2010: análise de série histórica de 2005 a 2010 e as influências das chuvas e do desmatamento na quantidade dos focos de calor

Andreya Bethânia Rodrigues Ramos <sup>1a</sup>  
Erika Regina Prado do Nascimento <sup>1b</sup>  
Marcos José de Oliveira <sup>1c</sup>

<sup>1</sup> Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA  
SCEN - Trecho 2 Ed. Sede do IBAMA, Brasília – DF, Brasil, CEP 70818-900

<sup>a</sup> Diretoria de Proteção Ambiental - DIPRO  
Coordenação-Geral de Monitoramento e Zoneamento Ambiental - CGZAM  
Coordenação de Monitoramento - COZAM  
andreya.ramos@ibama.gov.br

<sup>b</sup> Diretoria de Proteção Ambiental - DIPRO  
Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais - PREVFOGO  
Núcleo de Pesquisa e Monitoramento - NPM  
erika.nascimento@ibama.gov.br

<sup>c</sup> Diretoria de Qualidade Ambiental – DIQUA  
Coordenação-Geral de Gestão da Qualidade Ambiental – CGQUA  
marcos-jose.oliveira@ibama.gov.br

**Abstract.** The paper studied the relationship between the rainfall and deforestation polygons respectively with the amount and spatial distribution of hotspots in Brazil, from 2005 to 2010. The results allow concluding that the hotspots, indicators of forest fires, have a high correlation with deforestation in terms of spatial distribution, and also show a high correlation with the amount of rainfall in terms of the total amount of the hotspots.

**Palavras-chave:** wildfire, rainfall, deforestation, incêndio florestal, precipitação, desmatamento.

### 1. Introdução

Quando comparado aos anos de 2008 e 2009, o ano de 2010 apresentou um elevado índice de focos de calor no Brasil durante a época de estiagem, fato que repercutiu de forma bastante negativa na mídia. São possíveis algumas explicações para este episódio que trouxe grande preocupação à sociedade e ao governo brasileiro: 1. Mudanças das condições do clima, tal como mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global, ou mudanças naturais nos padrões das chuvas; 2. Atividades humanas associadas ao desmatamento e às atividades agrícolas; e 3. Fatores ligados ao contexto das eleições e da esfera política, vide o ano eleitoral e o debate sobre mudanças no Código Florestal.

São de difícil comprovação as influências dos aspectos relacionados ao contexto político, eleitoral, à crise econômica e às mudanças de legislação, já que tais parâmetros possuem mensurações bastante subjetivas. Logo, qualquer suposição neste sentido seria apenas de caráter especulativo. Assim sendo, é fundamental uma análise cientificamente quantificável entre a relação entre condições climáticas e atividades humanas que causam degradação à vegetação, especialmente o desmatamento e as queimadas.

Portanto, o objetivo do trabalho é a compreensão dos fatores determinantes na intensidade e distribuição de incêndios florestais no Brasil no ano de 2010, sob uma perspectiva histórica, comparada a uma série desde 2005. Foram relacionados os índices pluviométricos e a localização dos polígonos de desmatamentos, respectivamente, com a quantidade e a distribuição espacial de focos de calor, estes obtidos remotamente.

### 2. Metodologia

#### 2.1 Determinação de focos de calor por sensoriamento remoto

Desde a década de 80, o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibiliza gratuitamente

dados de focos de calor no território nacional no Banco de Dados de Queimadas (BDQUEIMADAS)<sup>1</sup>. Atualmente, são processadas operacionalmente: as imagens AVHRR dos satélites polares NOAA-15, NOAA-16, NOAA-17, NOAA-18 e NOAA-19; as imagens MODIS dos satélites polares NASA TERRA e AQUA; e as imagens dos satélites geoestacionários GOES-12 e MSG-2 (INPE, 2010a).

Para fins de monitoramento de queimadas e incêndios florestais, os órgãos ambientais utilizam os denominados “satélites de referência”, ou seja, satélite cujos dados diários de focos detectados são usados para compor a série temporal ao longo dos anos e, assim, permitir a análise de tendências nos números de focos para mesmas regiões em períodos de interesse. De 1999 a 09 de agosto de 2007 foi utilizado o NOAA-12 como satélite de referência, e desde então, o NOAA-15 é o atual satélite de referência (INPE, 2010a). Segundo INPE (2010a), é validamente possível a comparação dos dados entre estes dois satélites. No segundo semestre de 2010, o satélite referência NOAA-15 apresentou problemas operacionais, razão pela qual se adotou, para fins de monitoramento, o uso de todos os satélites disponíveis. Vale salientar que os focos detectados por todos os satélites podem apresentar muitas repetições para o mesmo evento (INPE, 2010a).

## 2.2 Determinação do desmatamento por sensoriamento remoto

Desde 1988, o INPE vem produzindo as Taxas Anuais do Desflorestamento da Amazônia Legal. A partir do ano de 2002, estas estimativas estão sendo produzidas por classificação digital de imagens seguindo a Metodologia do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia do Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES)<sup>2</sup> (CÂMARA et al., 2006). Por meio desse programa é possível estimar as taxas de desmatamento e espacializar os principais focos de desmatamento. Os dados PRODES são refinados se comparados a outros produtos, pois a resolução espacial da imagem de entrada é de 30 metros.

Do Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER)<sup>3</sup> e do PRODES, ambos produzidos pelo INPE, foram extraídas as informações de área desmatada na Amazônia Legal Brasileira no período de 2005 a 2010. Dados de focos de calor foram utilizados do BDQUEIMADAS<sup>1</sup> na composição de séries históricas do período de estiagem (1º de Abril a 31 de Agosto) de 2005 a 2010. Para os anos de 2005 a 2007 foram utilizados dados do Satélite NOAA-12/Noite e a partir de 10 de agosto de 2007 utilizou-se dados gerados pelo satélite NOAA-15/Noite.

Para o processamento dos dados foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas (SIG) ARCGIS 9.3®. Mapas de *Kernel* foram gerados utilizando os focos de calor para cada um dos anos, e a estes mapas foram sobrepostos aos polígonos de desmatamento com dados do mesmo período para que fosse traçada uma relação entre a área desmatada e a densidade de focos de calor.

## 2.3 Determinação da quantidade de chuvas

Duas fontes de dados foram utilizadas na confecção dos gráficos que relacionam a quantidade de chuvas com os focos de calor: Alvez et al. (2010) e INPE (2010c). Da primeira fonte foram extraídas informações da precipitação na região sudeste, referente ao período de 2003 a 2009, e a partir dela foi extrapolado tal comportamento para o nível nacional. Da segunda fonte, os dados já foram coletados com base em todo território nacional, referente ao período de 1998 a 2010 (com dados observados até outubro de 2010 e valor estimado até o final do ano). De um modo geral, as duas fontes apresentam um comportamento semelhante, diferindo pouco na quantidade em alguns anos.

## 3. Resultados e Discussão

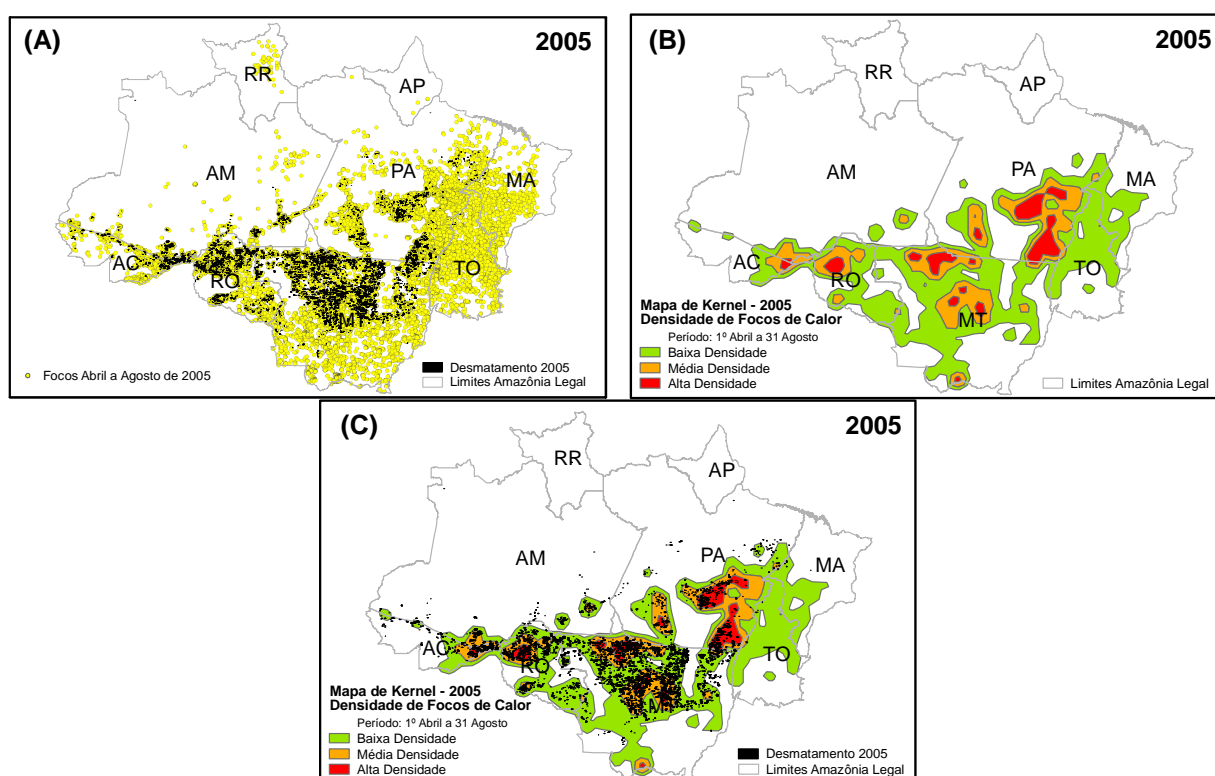
### 3.1 Distribuição dos focos de calor em mapas de *Kernel*: correlação com desmatamento

<sup>1</sup> BDQUEIMADAS (INPE) disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>>.

<sup>2</sup> PRODES (NPE) disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>.

<sup>3</sup> DETER (INPE) disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/deter/indexdeter.php>>.

A estimativa de *Kernel* é um método originalmente desenvolvido para obter uma estimativa suavizada de uma densidade de probabilidade univariada ou multivariada a partir de uma amostra de dados observados (DEVROYE, 1999). Os mapas de *Kernel* são muito úteis quando há uma concentração grande de pontos e uma análise visual fica prejudicada. Como exemplo, duas figuras ilustram uma distribuição de pontos e um mapa de *Kernel*: na Figura 1A são apresentados os focos de calor de 2005 em formato de pontos e os polígonos de desmatamento, sendo ruim discernir tais polígonos, cuja visualização fica comprometida pela quantidade de informações exibidas. Na Figura 1B, o mapa de *Kernel* mostra a densidade dos focos de calor no mesmo período, facilitando a visualização das áreas que estão sob maior pressão de focos. Na Figura 1C exibe-se o mapa de *Kernel* com a sobreposição dos polígonos de desmatamento, onde se pode observar a alta correlação entre os polígonos de desmatamento e o mapa de densidade.



**Figura 1** – (A) Pontos de focos de calor e polígonos de desmatamento de 2005. (B) Mapa de *Kernel* dos focos de calor. (C) Mapa de *Kernel* dos focos de calor e sobreposição dos polígonos de desmatamento.

Os mapas de *Kernel* apresentados a seguir (Figura 2) possuem três classes de densidade de focos: a) Classe com Baixa Densidade de focos (verde); b) Classe com Média Densidade de Focos (laranja); c) Classe com Alta Densidade de Focos (vermelho). Analisando visualmente os mapas da Figura 2 é possível constatar uma nítida relação entre a densidade de focos de calor e os polígonos de desmatamento. Nota-se que os polígonos de desmatamento sobrepõem-se perfeitamente sobre os mapas de *Kernel* gerados pelo ArcGIS.

O gráfico da Figura 3 demonstra a relação entre área desmatada ( $\text{km}^2/\text{km}^2$ ) e as Classes de Densidade de focos de calor no período compreendido entre os anos de 2005 a 2010, geradas pelo ArcGIS. Realizou-se uma interseção para separar os polígonos por classe de densidade. Normalizaram-se os dados, dividindo a área total desmatada dentro de cada classe pela área total ( $\text{km}^2$ ) da classe (baixa, média ou alta). É possível inferir que as zonas onde houve uma maior densidade de focos de calor, são também as zonas onde estão localizadas as maiores áreas desmatadas. Excetuando o ano de 2008, que teve um comportamento atípico, apresentando uma maior porcentagem de polígonos de desmate na classe de média densidade de focos. A Tabela 1 apresenta os dados utilizados na Figura 3. Pela Tabela 2, observa-se uma relação diretamente proporcional entre a área desmatada no ano anterior e a quantidade de focos no ano subsequente.

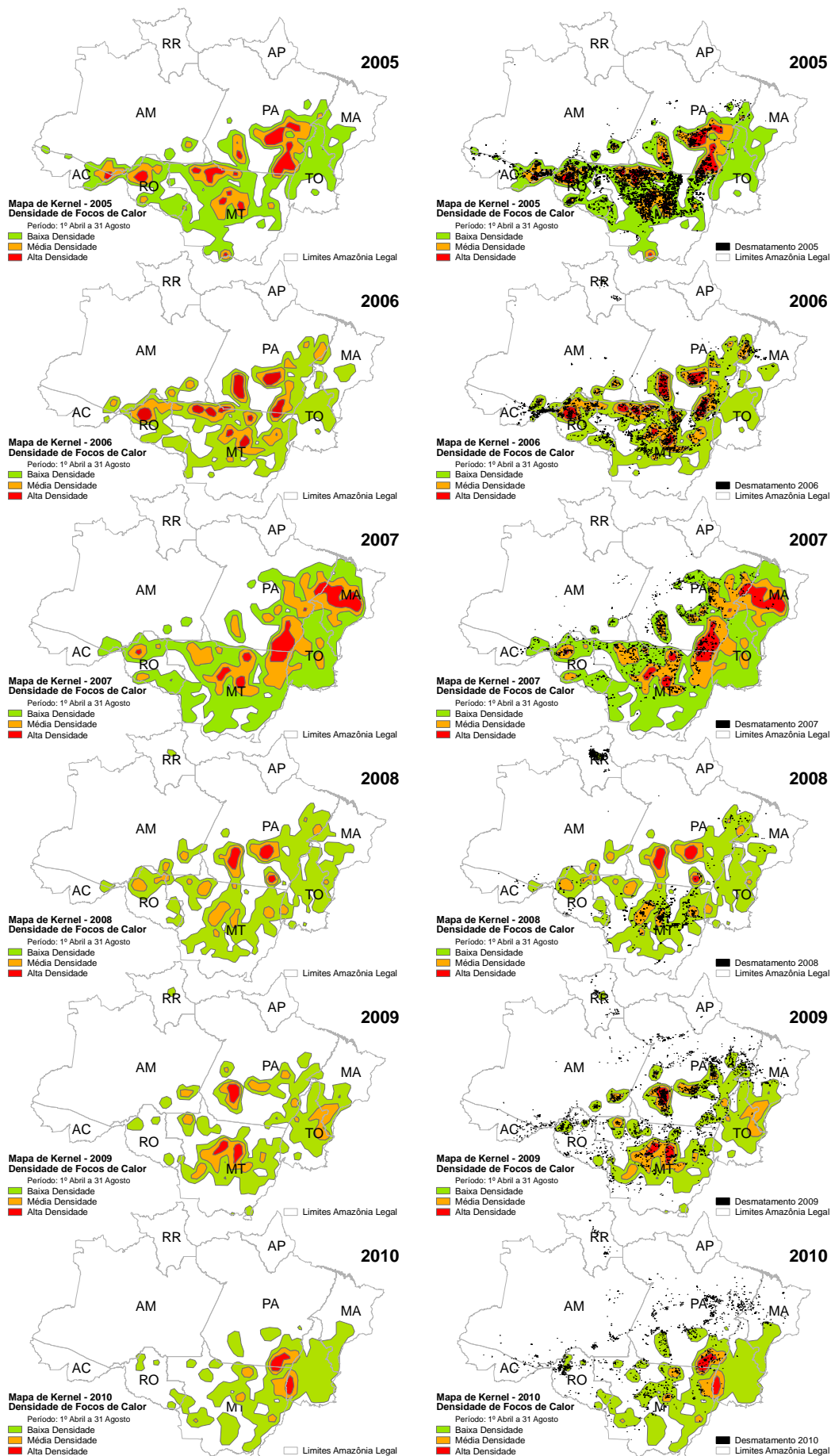
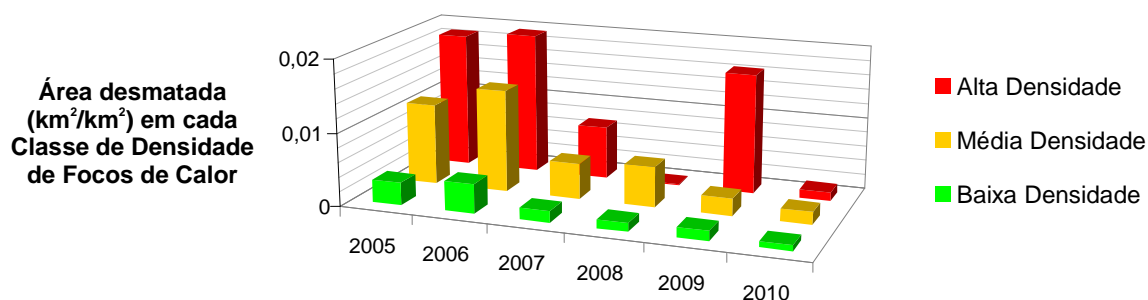


Figura 2 – Correlação entre focos de calor (mapas de *Kernel*) e desmatamento, de 2005 a 2010.



**Figura 3** – Correlação entre área desmatada e as classes de densidade de focos de calor.

**Tabela 1** – Relação entre área desmatada e área da classe de densidade de focos de calor (km<sup>2</sup>/km<sup>2</sup>)

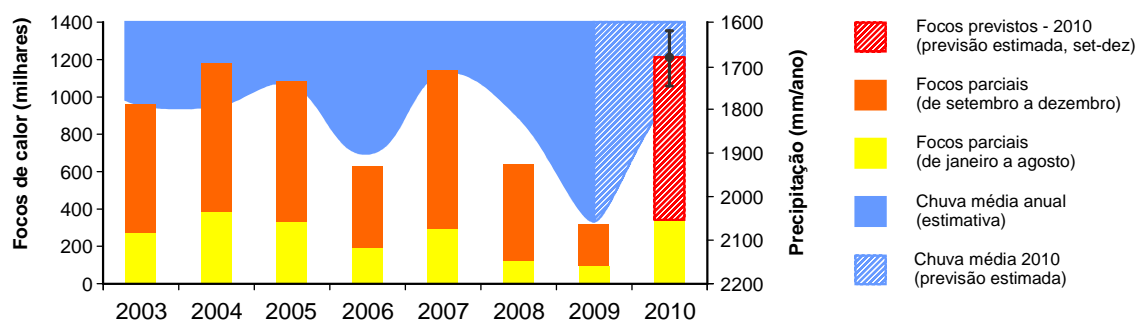
Ano	Baixa Densidade	Média Densidade	Alta Densidade
2005	0,003131562	0,011127044	0,018709025
2006	0,004044505	0,014031279	0,019503168
2007	0,001565930	0,004910434	0,007237131
2008	0,001182983	0,005537706	0,000128395
2009	0,001370008	0,002391154	0,016474590
2010	0,000784438	0,001724005	0,001201682

**Tabela 2** – Relação entre área desmatada e quantidade de Focos de Calor

Ano	Área Desmatada (km <sup>2</sup> )	Número de focos de calor
2005	9121,00	61945
2006	10212,06	29058
2007	6098,16	121819
2008	2916,80	20960
2009	3104,01	9154
2010	1608,10	30914

### 3.2 Quantidade dos focos de calor: correlação com as chuvas

Para correlacionar a quantidade de chuva com a quantidade de focos de calor foram selecionados os dados de focos de calor e precipitação média anual no Brasil entre os anos de 2002 e 2010 (Figura 4). As barras verticais amarelas representam os focos de calor acumulados até agosto de cada ano, e as barras alaranjadas representam a quantidade de focos de agosto a dezembro de cada ano. A soma das duas barras denota o valor anual total. A região de área azul, com escala invertida, representa a quantidade estimada de chuvas para o Brasil, cujo comportamento observado demonstra uma tendência de aumento no período.



**Figura 4** – Relação entre focos de calor e precipitação no período de 2003 a 2010. Fonte: elaborado com base em INPE (2010b) e Alvez et al. (2010).

Pela Figura 4, constata-se uma forte correlação entre as duas variáveis, sendo que apresentam uma correlação inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a quantidade de chuvas, menor é quantidade de focos de calor. Os anos de 2006, 2008 e 2009 apresentaram quantidade de chuvas maiores, e, logo, a quantidade de focos de incêndio foi menor. Especialmente o ano de 2009, a quantidade de focos foi bastante reduzida em relação aos anos anteriores, devido ao fato de este

ano ter apresentado chuvas bastante acima da média dos anos precedentes.

No período da estiagem, especialmente nos meses de junho a setembro, alegava-se que no ano de 2010 estava ocorrendo uma quantidade de focos de calor muito grande, além do normal. Porém, esta afirmação só é válida quando se compara com o ano anterior, 2009, que foi um ano atipicamente bastante chuvoso. Porém, ao comparar com outros anos (2004, 2005 e 2007), o comportamento de 2010 está dentro da média esperada. Não estão disponíveis dados de chuvas para o ano completo de 2010, já que a data de conclusão deste trabalho foi anterior ao término do ano. Todavia, foi possível estimar a quantidade total de focos até o final do ano. A barra vermelha da Figura 4 representa o resultado desta estimativa, que foi obtida com base na relação existente entre quantidade de focos de calor de janeiro até final agosto com a quantidade total de focos durante um ano completo. Ou seja, na média do período 2002-2009, aproximadamente 30% (1/3) da quantidade acumulada de focos ocorreu no período de janeiro a agosto, e o restante dos focos (70%) ocorreu no resto do ano, de setembro a dezembro. Ressalva-se que esta inferência não é necessariamente válida, sem o valor conhecido de chuvas no restante do período.

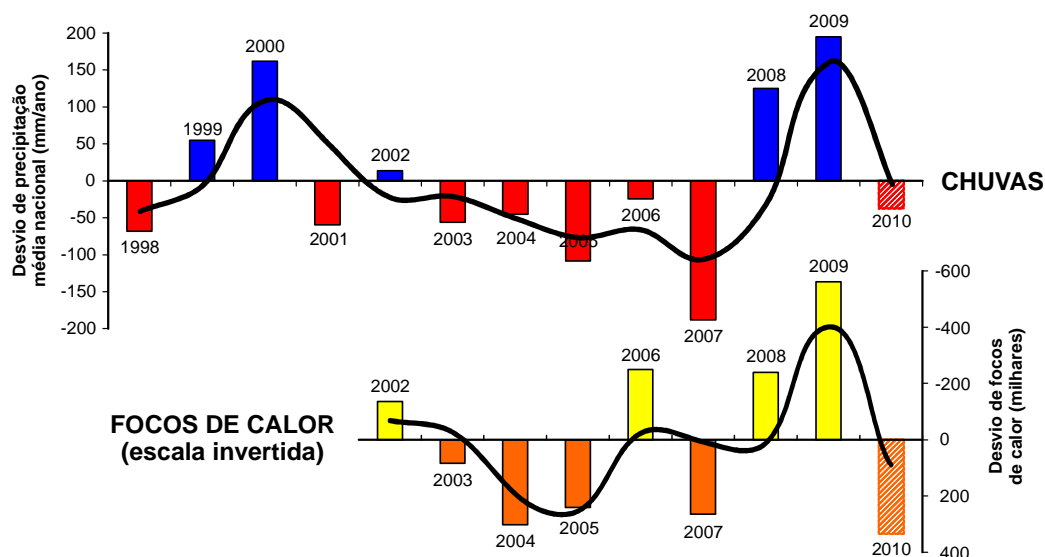
Em termos de desvios em relação ao valor médio do período, outra forma de exibir a correlação entre focos de calor e quantidade de chuvas é exibida na Figura 5. Ressalta-se, novamente e mais nitidamente, que anos com chuvas acima da média (2008 e 2009) apresentaram menor quantidade de focos de calor; enquanto que, ao contrário, anos mais secos (2005 e 2007) tiveram mais focos de calor. Em um gráfico de dispersão mostrado na Figura 6, a curva de tendência ajustada aos pontos reforça e comprova a correspondência citada anteriormente, com um grau de correlação relativamente alto. Nesta figura, fica explícita a discrepância entre os anos de 2009 e de 2010: o ano de 2009 está em um extremo da curva de quantidade elevada de chuva e poucos focos de calor; já 2010, o ano tem sido muito seco e propenso à ocorrência de incêndios.

Pela Figura 6, ainda é possível observar que o ano de 2007 foi mais seco que o de 2010, porém apresentou menor quantidade de focos que a estimativa da quantidade total para o ano de 2010. Esta variação pode ser uma oscilação normal. Porém, uma análise mais aprofundada, permite esclarecer melhor a razão desta diferença, que está relacionada com a distribuição mensal de chuvas no período crítico da estiagem. Na Figura 7, a comparação de três anos (2007, 2009 e 2010) é dada em termos de desvios mensais chuva para cada ano, cuja abordagem possui a vantagem de representar de uma forma mais detalhada a distribuição temporal das chuvas no território nacional.

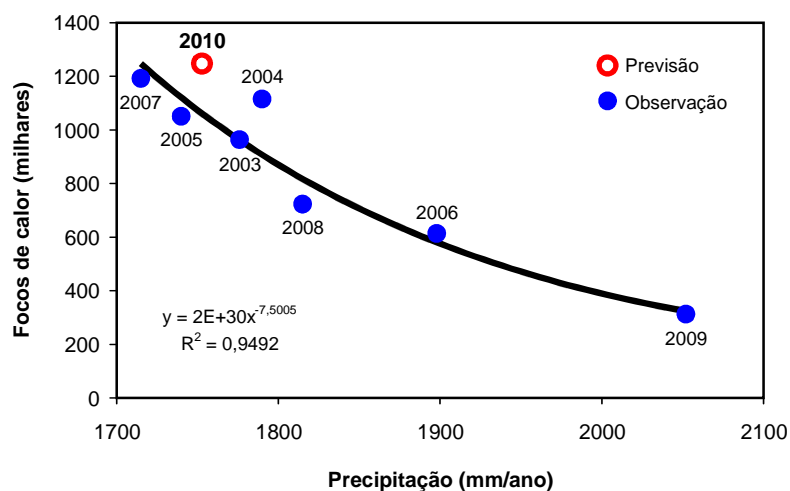
O climatograma da Figura 7 evidencia que o ano de 2010 (curva em vermelho) tem sido um ano bastante seco, especialmente nos meses de agosto e setembro, período crítico da estiagem. Mesmo assim, apesar de estar abaixo da média nestes dois meses críticos para ocorrência de focos de calor, 2010 pode ser considerado um ano dentro do intervalo habitual de variação (área cinza, representando a amplitude da normal climatológica provisória do período analisado, 1998-2010). Portanto, é um ano dentro na normalidade inerente às variações interanuais da precipitação. Por outro lado, a tendência de seca verificada em agosto e setembro foi revertida no mês de outubro, o qual apresentou índice de chuvas maior que a média, demonstrando a alta variabilidade natural mensal e interanual do clima. Como ilustração, é exibido na Figura 7 o ano de 2009, um ano atipicamente chuvoso, e o ano de 2007, também um ano seco. É interessante observar que a diferença entre os anos secos de 2007 e 2010. Em 2007 a quantidade de chuvas no período chuvoso (novembro a março) foi menor que a média, porém na época crítica da estiagem (julho a setembro), apresentou índices pluviométricos acima da média. Já o ano presente, 2010, apresentou quantidade de chuvas próxima à média até o mês de julho, porém, os meses de agosto e setembro foram bastante inferiores à média, já no limite do valor mínimo registrado desde 1998. Já no mês de outubro, as chuvas de 2010 foram maiores que o valor médio o valor do ano de 2007, porém abaixo daquela observada no ano passado (2009).

Deste modo, a explicação do ano de 2010 ter apresentado maior quantidade de focos de calor que o ano de 2007, que foi mais seco, é devido às diferenças mensais de precipitação, que no caso de 2010 apresentou níveis de chuva mínimos durante os meses de agosto e setembro, nos quais o ano de 2007 apresentou valores acima da média. Não basta, conseqüentemente, adotar somente o

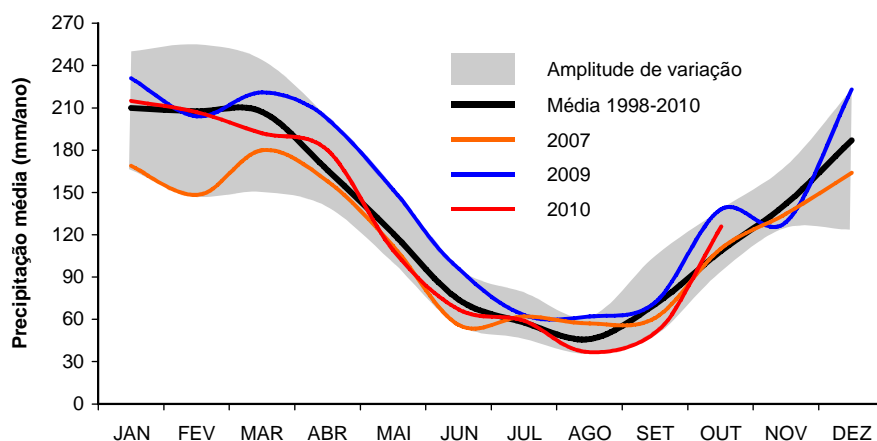
valor anual de precipitação como explicação plena da situação analisada, mas deve-se também considerar as variações mensais das chuvas. Além disso, outra consideração relevante é igualmente a distribuição espacial das chuvas, fator não analisado aqui, mas que merece um estudo específico para este aspecto.



**Figura 5** – Desvios da precipitação anual (1998-2010) e dos focos de calor (2002-2010). Valores em hachuras são estimativas até o final do ano. Fonte: elaborado com base em INPE (2010b,c).



**Figura 6** – Correlação entre focos de calor e precipitação média anual no período de 2003 a 2010. Fonte: elaborado com base em INPE (2010b) e Alvez et al. (2010).



**Figura 7** – Precipitação mensal, em forma de climatograma, para os anos de 2007, 2009 e 2010. Fonte: elaborado com base em INPE (2010c).

#### 4. Conclusões

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que os focos de calor, indicadores dos incêndios florestais, apresentam alta correlação com o desmatamento, em termos de distribuição espacial; e também alta correlação com a quantidade de chuvas, em termos da densidade/intensidade (quantidade) dos focos de calor. Dessa forma, políticas que incluem o combate ao desmatamento devem sempre estar aliadas às políticas de prevenção e combate às queimadas e aos incêndios florestais.

Já em relação ao volume de precipitação registrado e o quantitativo de focos de calor detectados, demonstra que os anos se comportam ciclicamente, sendo 2010 um ano atípico, porém dentro da normalidade, ou seja, dentro da amplitude de variação natural. A alta variabilidade inter-anual do clima permite que anos muitos secos podem, naturalmente, ser precedidos por anos chuvosos, vide os anos 2000 e 2001. Logo, se um evento já aconteceu alguma vez no passado, dos processos cíclicos da natureza pode-se inferir que eventos semelhantes podem ocorrer novamente no presente. Assim ocorreu o mesmo fenômeno com os anos 2009 e 2010. O ano de 2010 foi aparentemente preocupante em relação à quantidade de focos de calor devido a uma coincidência de circunstâncias que favoreceram à ocorrência da situação observada: 1. Foi antecedido por dois anos atipicamente chuvosos, que, além de evitarem e dificultarem a ocorrência de incêndios, induziram ao crescimento de mais biomassa vegetal; 2. O ano de 2010 tem sido, no outro extremo, um ano atipicamente seco, favorecendo a queima com maior facilidade da biomassa acumulada nos dois últimos anos.

Porém, como se é sabido, a maior parte dos incêndios florestais é causada por atividades humanas decorrentes de uma cultura habituada com a prática arcaica de atear fogo para limpar terrenos e abrir pastagens e áreas agricultáveis. Ou seja, a responsabilidade efetiva não é do clima seco. As condições secas aumentam a susceptibilidade à queima, porém quem deflagra são as pessoas. De fato, a pesquisadora Karla Longa do INPE confirma que 99% das queimadas são provocadas pelo homem e que as condições atmosféricas favorecem os incêndios, mas as principais causas são econômicas e culturais (O GLOBO, 2010). Portanto, a situação observada de incêndios florestais em 2010 pode ser atribuída à susceptibilidade decorrente clima seco prolongado, mas principalmente devido às ações de queimas criminosas, principalmente aquelas relacionadas ao desmatamento e ao avanço da fronteira agrícola.

#### Agradecimentos

Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), em especial à Diretoria de Qualidade Ambiental (DIQUA) e à Diretoria de Proteção Ambiental (DIPRO).

#### Referências Bibliográficas

- ALVEZ, L. M.; COELHO, C.A.S.; MELO, A.B.C.; PESQUERO, J.F. **Condições climáticas observadas no Brasil em 2009**. CPTEC/INPE, 2010. Disponível em <[http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Sintese\\_Climatica\\_2009.pdf](http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Sintese_Climatica_2009.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2010.
- CÂMARA, G.; VALERIANO, D. M.; SOARES, J. V. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos: INPE. 2006. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/metodologia.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2010.
- DEVROYE, L.; KRZYZAK, A. On the Hilbert kernel density estimate. **Statistics and Probability Letters**, vol. 44, p. 299-308, 1999.
- INPE. **BDQueimadas – Banco de Dados de Queimadas**. DPI/INPE. 2010b. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>>. Acesso em: 21 nov. 2010. [Focos de calor: Soma de todos os satélites]
- INPE. **Monitoramento de Queimadas em Tempo Quase-Real do INPE. Perguntas frequentes**. 2010a. Disponível em <<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/perguntas.html>>. Acesso em: 21 nov. 2010.
- INPE. **Previsão acumulada de Chuvas no Brasil**. CPTEC/INPE. 2010c. Disponível em <<http://clima1.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 21 nov. 2010.
- O GLOBO. **Causa de aumento de focos de queimada em 150% neste ano não é climática, diz pesquisadora**. 31/08/2010. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/cidades/mat/2010/08/31/aumento-dos-focos-de-queimada-no-pais-nao-tem-razao-climatica-diz-pesquisadora-917524142.asp>> Acesso em: 21 nov. 2010.