



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
CAMPUS DE PATOS-PB**



DANILO BRITO NOVAIS

**ESTIMATIVA DE RISCOS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM UMA SÉRIE
TEMPORAL NO ESTADO DA PARAÍBA**

**Patos - Paraíba - Brasil
Março, 2017**

DANILO BRITO NOVAIS

**ESTIMATIVA DE RISCOS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM UMA SÉRIE
TEMPORAL NO ESTADO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, *Campus* de Patos, na Área de Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais, como parte das exigências para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientadora: Prof. Dr^a. Patrícia Carneiro Souto

**Patos - Paraíba - Brasil
Março, 2017**

**ESTIMATIVA DE RISCOS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM UMA SÉRIE
TEMPORAL NO ESTADO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da
Universidade Federal de Campina Grande, no CSTR, como parte das exigências para a
obtenção do Título de MESTRE em CIÊNCIAS FLORESTAIS.

Aprovado em _____

Prof.^a. Dr.^a. Patrícia Carneiro Souto
Universidade Federal de Campina Grande (CSTR/UFCG)
(Orientadora)

Prof. Dr. José Augusto Silva Santana
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGCF/UFRN)
(1^a Examinador)

Prof. Dr. Jacob Silva Souto
Universidade Federal de Campina Grande (CSTR/UFCG)
(2^a Examinador)

*A todos que eu amo e por quem cheguei
até aqui e vou muito mais além,*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo está Ele, por isso agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade da vida, saúde e força para seguir e trilhar meus sonhos, enfrentando os obstáculos.

Aos meu pais, Eugênio e Maria Marlene, por todo amor, educação, votos de confiança e ensinamento de valores que ajudaram a formar quem sou hoje.

A minha irmã Carolina e a Iago Carvalho, pelo apoio nessa caminhada. Sem eles, cada um em sua forma especial de ser, com o amor e a paciência, essa conquista teria sido mais difícil de ser alcançada.

À Professora Dr^a. Patrícia Souto, pelo voto de confiança, pois ao abrir essas portas para mim, nesses anos todos, passou-me ensinamentos imensuráveis. Obrigado também por acreditar em meu potencial e incentivar sempre.

A minha avó e bisavó paternas e meu avô e avó maternos, que, em algumas vezes, sem nem entender muito meu caminho, sempre torceram pela minha felicidade e hoje vibram junto comigo.

A todos os outros membros de minha família, que, nem sempre perto fisicamente, nunca estiveram longe no coração.

Aos outros professores que passaram pela minha vida, cada um colocando tijolos na construção do meu conhecimento.

Aos meus grandes amigos que fui deixando pelo caminho que me ensinaram que estar longe nem sempre é estar sozinho e que sempre há para onde voltar.

Essa vitória não é só minha, é NOSSA!

LISTA DE FIGURAS

Pg

INTRODUÇÃO

- Figura 1 – Focos de Calor acumulados durante o ano de 2015 no Brasil (A). Comparativo mensal dos focos de calor entre os anos 1998 e outubro de 2016 (B)..... 17

CAPÍTULO 1: ÍNDICES DE RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM MESORREGIÕES DA PARAÍBA

- Figura 1 – Municípios selecionados para realização de estudo sobre risco de incêndios florestais no Estado da Paraíba..... 28
- Figura 2 – Quantidade de dias previstos (eixo y) em cada grau de perigo de incêndio (eixo x) utilizando as FMA e FMA⁺..... 34
- Figura 3 – Quantidade de dias previstos (eixo y) em cada grau de perigo de incêndio (eixo x) para as FMA e FMA⁺ / Ajuste 1..... 36
- Figura 4 – Quantidade de dias previstos (eixo y) em cada grau de perigo de incêndio (eixo x) para FMA / Ajuste 2 para João Pessoa – PB..... 38
- Figura 5 – Comparação dos graus de perigo de incêndios com variáveis meteorológicas para os municípios de Areia e Campina Grande, na Paraíba. (*Gráficos com os intervalos dos graus de perigo ajustados)..... 39
- Figura 6 – Comparação dos graus de perigo de incêndios com variáveis meteorológicas para o município de João Pessoa, na Paraíba. (*Gráficos com os intervalos dos graus de perigo ajustados)..... 41
- Figura 7 – Comparação dos graus de perigo de incêndios com variáveis meteorológicas para os municípios de Cajazeiras, Monteiro e Patos, na Paraíba. (*Gráficos com os intervalos dos graus de perigo ajustados)..... 43

CAPÍTULO 2: SÉRIE TEMPORAL DE FOCOS DE CALOR EM MESORREGIÕES DA PARAÍBA

- Figura 1 – Localização do Estado da Paraíba, com delimitação das mesorregiões e municípios onde foi realizado o estudo..... 50

Figura 2 – Focos de calor no Estado da Paraíba detectados pelos satélites referência do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), entre os anos de 2000 a 2015.....	52
Figura 3 – Focos de calor em João Pessoa-PB, mesorregião Mata Paraibana, detectados pelos satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), entre os anos de 2000 a 2015.....	53
Figura 4 – Focos de calor nos municípios de Areia e Campina Grande, mesorregião Agreste, detectados pelos satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), entre os anos de 2000 a 2015.....	54
Figura 5 – Focos de calor em Monteiro, mesorregião da Borborema, detectados pelos satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), entre os anos de 2000 a 2015.....	55
Figura 6 – Focos de calor nos municípios de Cajazeiras e Patos, mesorregião Sertão Paraibano, detectados pelos satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), entre os anos de 2000 a 2015.....	56

LISTA DE TABELAS

Pg

CAPÍTULO 1: ÍNDICES DE RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM MESORREGIÕES DA PARAÍBA

Tabela 1 – Municípios selecionados para avaliação do risco de incêndios florestais na Paraíba.....	29
Tabela 2 – Restrição ao somatório de FMA e FMA ⁺ , proposta por Soares (1998).....	31
Tabela 3 – Grau diário de perigo de ocorrência de fogo no dia de acordo com os cálculos de FMA original.....	31
Tabela 4 – Grau diário de perigo de ocorrência de fogo no dia, de acordo com os cálculos de FMA ⁺ original.....	31
Tabela 5 – Números de dias previstos por grau de perigo de incêndio, pelas FMA e FMA ⁺ originais, para os municípios estudados.....	33
Tabela 6 – Ajustes dos graus de perigo de FMA e FMA ⁺ para mesorregiões da Paraíba.....	36
Tabela 7 – Ajuste do grau de perigo de FMA / Ajuste 2 para o município de João Pessoa - PB.....	38

CAPÍTULO 2: SÉRIE TEMPORAL DE FOCOS DE CALOR EM MESORREGIÕES DA PARAÍBA

Tabela 1 – Focos de calor detectados pelos satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em um período de 15 anos, em seis municípios da Paraíba.....	51
---	----

SUMÁRIO

	<i>Pg</i>
RESUMO	11
ABSTRACT	12
1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Incêndios florestais.....	15
2.2 Incêndios florestais no Brasil.....	16
2.3 Incêndios florestais no Bioma Caatinga.....	18
2.4 Índices de risco de incêndios FMA e FMA ⁺	19
REFERÊNCIAS	21

CAPÍTULO 1: ÍNDICES DE RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM MESORREGIÕES DA PARAÍBA

RESUMO	25
ABSTRACT	25
1 INTRODUÇÃO	27
2 MATERIAL E MÉTODOS	28
2.1 Áreas de estudo.....	28
2.2 Obtenção dos dados.....	29
2.3 Fórmula de Monte Alegre (FMA).....	30
2.4 Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA ⁺).....	31
2.5 Correlação da umidade relativa do ar (UR).....	32
2.6 Análise dos dados.....	32

3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
3.1	Ajuste das fórmulas.....	32
3.2	Comparativo dos ajustes com variáveis meteorológicas.....	38
4	CONCLUSÕES.....	44
	REFERÊNCIAS.....	45

CAPÍTULO 2: SÉRIE TEMPORAL DE FOCOS DE CALOR EM MESORREGIÕES DA PARAÍBA

	RESUMO.....	48
	ABSTRACT.....	48
1	INTRODUÇÃO.....	49
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	50
2.1	Áreas de estudo.....	50
2.2	Obtenção e análise dos dados.....	51
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4	CONCLUSÕES.....	58
	REFERÊNCIAS.....	59

NOVAIS, Danilo Brito. **Estimativas de riscos de incêndio florestais em uma série temporal no Estado da Paraíba**. 2017. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. CSTR/UFCG, Patos - PB. 2017. 59 p.:il.

RESUMO

As florestas plantadas e nativas sofrem frequentemente grandes danos provocados pelos incêndios florestais. Os incêndios geralmente são de origem antrópica, acidental ou criminosos, destruindo ecossistemas inteiros, refletindo na economia, na vida da população e perdas ambientais incalculáveis. A ocorrência e propagação do fogo está diretamente relacionada com as condições climáticas, além da quantidade de material combustível disponível para a queima. As FMA e FMA⁺ são importantes índices de perigo de incêndio que servem como ferramenta para prevenção e combate aos incêndios florestais. É importante também o estudo dos focos de calor registrados para que assim se comece a entender melhor o comportamento do fogo em determinada região. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar o desempenho das FMA e FMA⁺ e também quantificar os focos de calor por meio de imagens de satélite em seis municípios do Estado da Paraíba. No primeiro estudo, com base nos dados meteorológicos do INMET, foram calculados os graus de perigo de incêndios pelas duas fórmulas (FMA e FMA⁺) em cada município, obedecendo-se aos intervalos originais dos graus de perigo e, posteriormente, realizou-se o ajuste dos intervalos, seguindo-se o princípio da proporcionalidade entre os graus de perigo com a frequência dos incêndios. Para o município de João Pessoa, a FMA não se adequou ao proposto, seguindo a tendência da improporcionalidade. A variável meteorológica, precipitação pluviométrica, interferiu diretamente com a ocorrência dos graus de perigo de incêndios. No segundo estudo, os dados de focos de calor oriundos do banco de dados no INPE foram separados por meses e anos para os seis municípios selecionados nas quatro mesorregiões do Estado. Observou-se que houve anos com grande incidência de registros de focos de calor, possivelmente por algum fenômeno natural ou antrópico, sendo a mesorregião Sertão Paraibano a que registra os maiores focos de calor.

Palavras-chave: Focos de incêndios florestais. Fórmula de Monte Alegre. Semiárido brasileiro.

NOVAIS, Danilo Brito. **Estimates of forest fire risks in a time series in the State of Paraíba.** 2017. Master's Dissertation in Forest Sciences. CSTR / UFCG, Patos - PB. 2017. 59 p.:il.

ABSTRACT

Planted and native forests often suffer great damage from forest fires. Fires are usually of anthropogenic, accidental or criminal origin, destroying entire ecosystems, reflecting on the economy, population life and incalculable environmental losses. The occurrence and spread of fire is directly related to weather conditions, as well as the amount of combustible material available for burning. The FMA and FMA⁺ are important fire hazard indexes that serve as a tool to prevent and combat forest fires. It is also important to study the recorded heat sources so that one begins to understand better the fire behavior in a certain region. The objective of this research was to evaluate the performance of the AMF and AMF + and also to quantify the foci of heat through satellite images in six municipalities in the State of Paraíba. In the first study, based on the INMET meteorological data, the fire hazard levels of the two formulas (FMA and FMA⁺) were calculated in each municipality, following the original intervals of the danger levels, and later the adjustment of the intervals, followed by the principle of proportionality between the degrees of danger and the frequency of fires. For the municipality of João Pessoa, the FMA did not conform to the proposed one, following the trend of improporcionality. The meteorological variable, rainfall, interfered directly with the occurrence of fire hazard degrees. In the second study, data from heat sources from the INPE database were separated by months and years for the six municipalities selected in the four mesoregions of the State. It was observed that there were years with a high incidence of records of heat sources, possibly due to some natural or anthropic phenomena, with the Sertão Paraibano mesoregion registering the largest heat sources.

Keywords: Outbreaks of forest fires. Formula of Monte Alegre. Brazilian semi-arid.

1 INTRODUÇÃO

As formações florestais nativas e implantadas em todo o mundo sofrem grandes impactos causados por incêndios florestais que, de acordo com a intensidade e frequência, promovem alterações no ambiente. O fogo sem controle, proveniente dos incêndios, pode ter sua origem em ações antrópicas, acidentais ou criminosas, que levam à destruição de ecossistemas importantes, com reflexos na economia e na vida da população, causando prejuízos ambientais imensuráveis. White et al. (2013) afirmam que as queimadas são as principais responsáveis pelos danos às formações florestais, além de serem emissoras de CO₂ para a atmosfera.

A ocorrência e a propagação de incêndios florestais estão relacionadas às condições climáticas, com efeito direto na sua velocidade e intensidade de propagação, sendo que a umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura são os principais fatores relacionados à queima (SORIANO et al., 2015), além da quantidade e qualidade do material combustível e inclinação do terreno.

Somando-se a esses fatores, um incêndio pode se alastrar de forma muito rápida e atingir grandes áreas, tornando seu combate muito difícil e as perdas ambientais imensuráveis. Portanto, trabalhos de prevenção são eficazes para o planejamento de ações em condições mais propícias ao fogo (NUNES et al., 2006).

Dentre as ferramentas para medidas de prevenção aos incêndios florestais, o emprego dos índices de risco de incêndio confiáveis é de suma importância, já que possibilitam a adoção de medidas preventivas de combate, tornando-as mais eficazes e econômicas (BATISTA, 2004; SORIANO et al., 2015).

Esses índices são importantes por ser mais vantajoso eliminar os focos antes que causem danos à fauna e à flora, ou riscos econômicos e na saúde das populações, que, muitas vezes, habitam regiões com ameaça frequente de queimadas. Segundo Soriano et al. (2015), essas estimativas evitam ainda os impactos causados pela liberação de gases e aerossóis no ar, que causam mudanças na atmosfera e, provavelmente, no clima do planeta.

Como sugere Soares (1987), a obtenção desses índices pela Fórmula de Monte Alegre (FMA), dá-se de maneira bem simples, utilizando apenas as variáveis meteorológicas umidade relativa do ar e precipitação, podendo ser utilizada em todo território nacional. Na literatura, vários autores comprovaram em suas pesquisas a eficiência desse método em alertar o risco de incêndio em comparação aos outros índices aplicados no mundo, como os Índices de Angström,

Índice Logarítmico de Telecyn e o Índice de Nesterov (DEPPE et al., 2004; RODRIGUEZ et al., 2012; BATISTA et al., 2014; SORIANO et al., 2015).

Entretanto, a Fórmula de Monte Alegre avalia apenas o risco de a ignição ocorrer, desde que haja uma fonte de calor, não levando em consideração a sua propagação pelo vento, variável que possui grande influência na forma como o incêndio se alastra (NUNES et al., 2006; RODRIGUES et al., 2012).

Nesse contexto, Nunes et al. (2006) sugeriram o aprimoramento desse método com a inclusão da variável velocidade do vento nos cálculos de estimativa, a fim de tornar a fórmula mais eficiente, obtendo, a partir disso, a Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA⁺). Essa adaptação também se mostrou bastante eficaz em localidades no Paraná, Estado pioneiro no combate de incêndios florestais, mostrando-se superior até mesmo à fórmula original (RODRIGUEZ et al., 2012).

A escassez de informações sobre a eficiência dos índices de perigo de incêndios florestais, especialmente na região semiárida da Paraíba, que anualmente sofre com as queimadas, devido às condições climáticas, como alta temperatura e baixa precipitação pluviométrica anual, favorecem a ocorrência e propagação do fogo, gerando considerável número de focos de incêndios florestais, que devastam a vegetação nativa já tão fragilizada.

Diante desse cenário, avaliar a eficiência de índices de perigo de incêndios desenvolvidos no Brasil, mas que não foram testados em outras regiões, permite que estudos sejam desenvolvidos de modo a suprir a carência de informações que serão importantes nos programas de proteção e prevenção desses eventos na região.

Juntamente com a utilização dos índices de perigo de incêndios, a detecção dos focos de calor é importante para o monitoramento dos incêndios e assim entendê-los, visto que a ocorrência dos focos de calor não segue um padrão definido, variando entre regiões e meses do ano. De acordo com Cardoso et al. (2013), o Brasil tem investido em tecnologias, facilitando o monitoramento desses focos, contribuindo no combate dos mesmos.

Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre Modificada em municípios da Paraíba, na indicação dos níveis de risco de incêndios florestais, com base em dados meteorológicos dos últimos 20 anos, e analisar a ocorrências de focos de calor no Estado, tomando como base as mesorregiões, nos últimos 15 anos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Incêndios florestais

As florestas compõem um sistema de manutenção da vida na Terra e correspondem a 31% de sua superfície, ocupando mais de 4 bilhões de hectares (FAO, 2010). Os bens e serviços proporcionados por esses complexos ecossistemas são avaliados em bilhões de dólares (RODRIGUEZ et al., 2013).

Para Cardoso et al. (2013), os incêndios florestais são um dos mais relevantes problemas ambientais, econômicos e sociais em nível global. Apesar de serem de suma importância em alguns ecossistemas florestais, atualmente, representam um dos principais fatores de degradação, já que é crescente o número de focos, áreas queimadas e as consequências provenientes delas (ALVES; NOBREGA, 2011; NUNES et al., 2013; RODRIGUEZ et al., 2013).

As ocorrências de incêndios florestais causam grande impacto em todo o planeta, especialmente nas estações mais secas, quando a vegetação se encontra em adiantado Estado de dessecação, marcando seriamente a paisagem por onde se alastram, modificando expressivamente diversos componentes dos ecossistemas naturais onde incidem, provocando efeitos imediatos, como a ausência temporária da cobertura vegetal, ou efeitos a longo prazo, como a qualidade do solo e processos erosivos (LOURENÇO et al., 2012).

O fogo é uma ferramenta rudimentar utilizada no campo, principalmente para a limpeza de terrenos, eliminação de restos das culturas e renovação das pastagens (SANTOS et al., 2015). Entretanto, segundo Rodriguez et al. (2012), com o uso dessa técnica próxima a áreas de florestas sem o emprego de medidas preventivas, o fogo pode se alastrar além das áreas de cultivo para as florestas, perdendo o seu controle.

No entanto, vários são os fatores ligados diretamente à ocorrência dos incêndios, podendo ser de efeito natural, como o favorecimento pelas condições ou material combustível depositado, e, também, pela ação antrópica, devido à prática de incendiários, pescadores, caçadores, soltura de balões, costumando ser uma séria ameaça à biodiversidade e à manutenção dos processos ecológicos (ALVES; NOBREGA, 2011; ASSIS et al., 2014).

Estes incêndios são, sobretudo, mais graves onde os ecossistemas são mais sensíveis ao fogo, com ocorrência de espécies raras ou com risco de extinção, tendo, então, maior probabilidade de comprometerem a continuidade dos indivíduos dessas espécies, já que afetam

a estabilidade dos processos químicos, físicos e biológicos, trazendo riscos à sustentabilidade do meio (ALVES; NOBREGA, 2011; ASSIS et al., 2014).

2.2 Incêndios florestais no Brasil

Há algumas décadas, o Brasil vem recebendo críticas de instituições conservacionistas e governamentais de outros países, devido à falta de preocupação com o fogo em áreas florestais, apesar de serem comuns notícias sobre a imensa quantidade de focos no território nacional (SOARES; SANTOS, 2002).

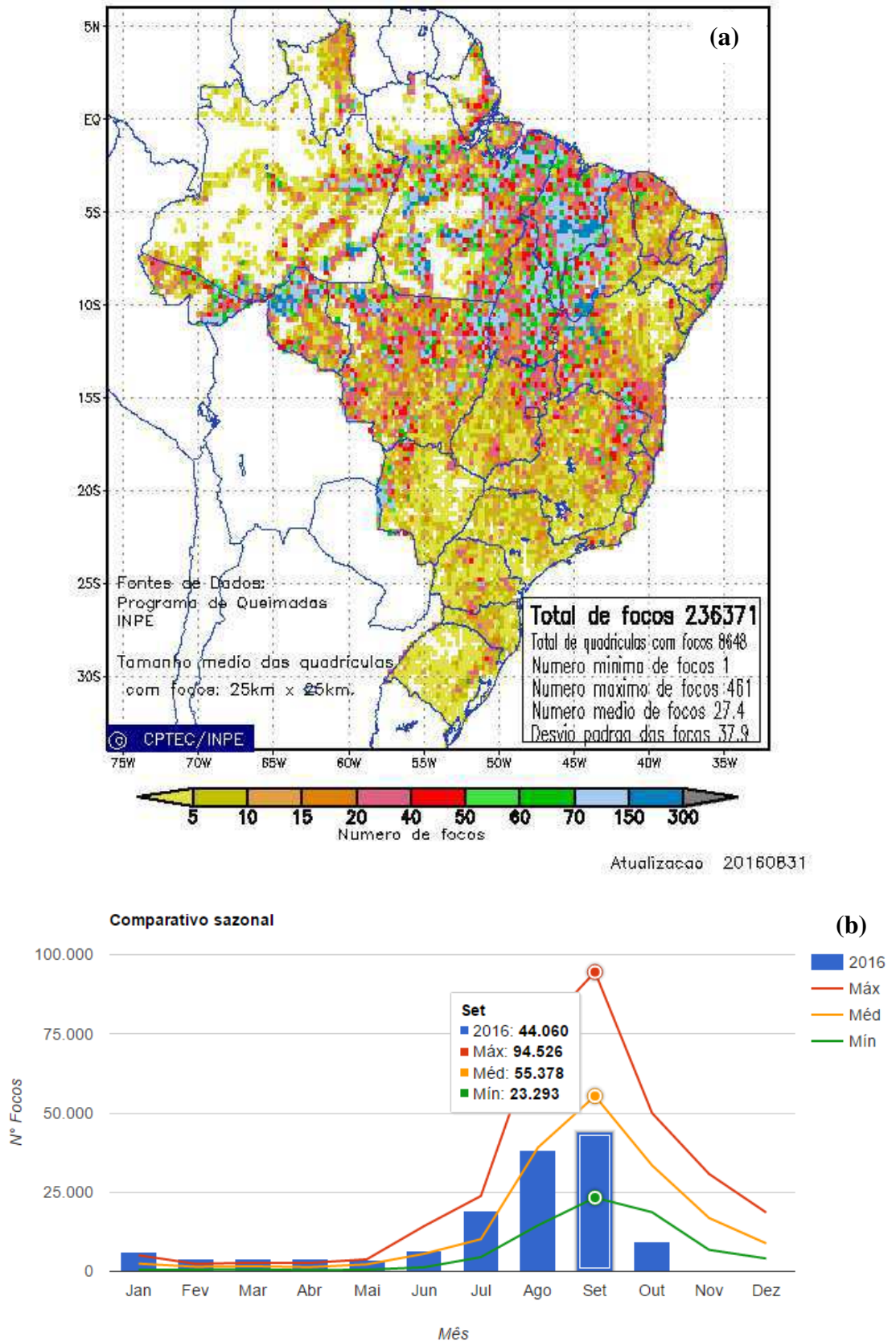
Entretanto, somente em 1963, após um grande incêndio florestal que atingiu o Estado do Paraná, começou-se a preocupação com as consequências desses incêndios, sendo considerado um dos maiores da história, atingindo 10% do território do Estado (2 milhões de hectares), onde apenas 1% foi de pastagens, enquanto os restantes das áreas queimadas eram de florestas primárias e secundárias (SOARES, 1998; TETTO et al., 2012).

Em novembro de 1997, um incêndio acidental em Roraima destruiu aproximadamente 3,3 milhões de hectares, nos quais um milhão eram de floresta tropical, o que representou inestimáveis prejuízos econômicos e ambientais, sendo controlado apenas em março de 1998 (cinco meses depois de seu início), como consequência do início das chuvas, o que mostrou a ineficiência do poder público em relação ao problema (AB'SÁBER, 1998; ALVES et al., 2011).

Em abril de 1989, foi sancionado o Decreto nº 97.635 pelo Governo Federal, o qual estabeleceu a criação do Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (Prevfogo), sendo revogado no decreto nº 2.661 do mesmo ano, que regulamenta o artigo 7º do Código Florestal (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, 2016).

Desde 2001, o Centro Nacional de Prevenção e Combate aos incêndios visa consolidar o controle sobre os incêndios florestais com o uso de inúmeras estratégias. A missão atual do programa é a promoção, apoio, coordenação e execução de atividades educacionais, monitoramento, controle de queimadas e pesquisas de prevenção e combate aos incêndios florestais no Brasil, podendo, assim, avaliar seus efeitos aos ecossistemas, saúde da população e atmosfera (IBAMA, 2016). Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2016), apenas durante o ano de 2015, foram registrados 236.371 focos de queima no Brasil, mais concentrados nas regiões Norte e Nordeste, onde o mês de setembro é o de maior ocorrência de focos (Figura 1).

Figura 1 - Focos de Calor acumulados durante o ano de 2015 no Brasil (a). Comparativo mensal dos focos de calor entre os anos de 1998 e outubro de 2016 (b).



Fonte / INPE, (2017).

2.3 Incêndios florestais no Bioma Caatinga

Da região Nordeste do Brasil, a Caatinga é considerado o principal bioma, ocupando cerca de 54,53% de seu território, com relevante importância econômica, social e ambiental. A região é caracterizada por baixa pluviosidade, elevados índices de insolação e evapotranspiração, onde a composição florística assume papel fundamental à sua caracterização (SANTANA; SOUTO, 2011; IBGE, 2005).

Um fato alarmante é que de acordo Santana et al. (2011), a cada ano, os incêndios no bioma são mais intensos, tendo como consequência o aumento da área queimada. Visto isso, esses autores determinaram os períodos críticos de ocorrência de incêndios florestais na Estação Ecológica do Seridó, Serra Negra, RN, uma das poucas áreas de preservação da Caatinga, concluindo que os meses de agosto a novembro são os de maior potencialidade de risco de incêndios florestais na Estação Ecológica; em contrapartida, os meses entre janeiro e abril são os com menores índices de incêndios florestais.

Dentre as características que propiciam os elevados números de focos de calor, estão as condições climáticas, ou seja, a irregularidade na distribuição temporal das chuvas, que associada às altas temperaturas, comuns, ao longo do ano, nas regiões semiáridas, além da agricultura familiar de forma intensa, contribuem demasiadamente para o surgimento de incêndios florestais (MENDOZA, 2002; ASSIS et al., 2014).

No Estado da Paraíba, Pereira e Silva (2016) realizaram estudo sobre as queimadas a partir da detecção de focos de calor no ano de 2014, registrando 432 focos em 100 municípios, ocorridos em todas as quatro mesorregiões do Estado, principalmente no Seridó onde se concentraram 304 focos (69%), destacando o clima seco para ocorrência do fenômeno.

Em outro estudo, Assis et al. (2014) utilizaram geotecnologias para seleção de locais adequados à instalação de torres de observação contra incêndios florestais e sua quantidade ideal para maior alcance da área na microbracia do Saco, município de Santa Luzia, PB, possibilitando que a metodologia empregada pudesse ser replicada em outras regiões com características fisiográficas semelhantes.

Porém, ainda há uma escassez de informações referentes aos incêndios florestais nas regiões semiáridas, o que, de acordo Rodriguez et al. (2013), proporciona gastos excessivos em proteção, acima do necessário, ou economia de recursos, colocando em perigo os ecossistemas florestais.

Com isso, a agilidade em detectar e monitorar os incêndios florestais é de suma importância no controle do fogo, redução de custos operacionais e formulação de estratégias

adequadas de combate e, assim, atenuação dos danos (ALVES et al., 2011; TETTO et al., 2012), o que mostra a importância de ferramentas que atinjam esse objetivo.

2.4 Índices de risco de incêndios FMA e FMA⁺

Em virtude da redução exacerbada dos habitats naturais, consequentes de contínuos incêndios, estimulou-se a criação de novas técnicas visando à elaboração de ferramentas para prevenção, controle e combate do fogo (ALVES et al., 2011). E, a partir disso, foi observado que os incêndios florestais demonstram regularidades espaço-temporais no que se diz respeito ao seu surgimento e propagação, imposta pelo material combustível, topografia, condições meteorológicas (RODRIGUEZ et al., 2013).

A detecção de forma rápida e eficiente, além do monitoramento dos incêndios florestais, são indispensáveis para viabilização ao controle do fogo, mitigação dos custos operacionais de combate e redução dos danos (ALVES et al., 2011). E uma forma de reduzir esses impactos é através do conhecimento do grau de perigo, que pondera a possibilidade de ocorrência de incêndio considerando fatores ambientais (TETTO et al., 2012)

No Brasil, as primeiras pesquisas que visaram à análise de um risco de incêndio florestal foram desenvolvidas por Soares (1972), com base em um índice acumulativo, gerando a Formula de Monte Alegre (FMA), nome referente à Fazenda onde foram coletados os dados, no Estado do Paraná, determinando as correlações entre as variáveis meteorológicas, a ocorrência do incêndio e a área devastada pelo fogo (ALVES et al., 2011).

Baseado em sua eficiência, no comparativo a outros índices de perigo de incêndio, Soares (1987) concluiu que a FMA, para o município de Rio Branco do Sul, PR, obteve precisão de 82% nas ocorrências, indicando o seu uso para a região. Nunes et al. (2006) reformularam a FMA, adicionando uma variável que seria responsável pela propagação, assim, em tese, a Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA⁺) torna-se uma metodologia mais efetiva à prevenção e combate a incêndios florestais.

Nunes et al. (2009), ao avaliarem a FMA⁺ para todo o Estado do Paraná, concluíram que ela apresentou resultados de desempenho significativos, o que permitiria sua utilização de forma segura em todo o Estado. Soriano et al. (2015), comparando o desempenho de índices de risco de incêndio no Pantanal Sul-Mato-Grossense, afirmaram que a velocidade do vento sendo é variável meteorológica que exprime relevante correlação quanto ao número de focos de calor; entretanto, a FMA se mostrou mais eficiente em relação à FMA⁺ nas condições de estudo.

No Estado da Paraíba, Santos et al. (2015) estimaram os riscos de ocorrência de incêndios florestais no Parque Estadual Pico do Jabre pela FMA, com o intuito de elaborar medidas preventivas e alertar sobre o nível de perigo na área estudada, constatando que, entre setembro e dezembro, a possibilidade de ocorrência de incêndios é mais elevada.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. Roraima: os paradoxos de um grande incêndio ao fim do milênio. **Estudos Avançados**, São Paulo n. 12, v. 33, 1998.
- ALVES, K. M. A. S.; NÓBREGA, R. S. Uso de dados climáticos para análise espacial de risco de incêndio florestal. **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 22, p. 209-219, 2011.
- ASSIS, F. R. V.; MENDONÇA, I. F. C.; SILVA, J. E. R.; LIMA, J. R. Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido nordestino. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 133-142, 2014.
- BATISTA, A.C. Detecção de Incêndios Florestais por Satélites. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p. 237-241, 2004.
- BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; DEPPE, F.; GRODZKI, L.; GRASSI, J. T. Análise dos impactos das mudanças climáticas sobre o risco de incêndios florestais no Estado do Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 1, p. 491-501, 2014.
- CARDOSO, V. C.; SOUZA, S. A.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G. Focos de calor na região Centro-Oeste no período de 2006 até 2012. **IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Salvador/BA. 2013.
- DEPPE, F.; PAULA, E. V.; MENEGHETTE, C. R.; VOSGERAU, J. Comparação de índices de risco de incêndios com focos de calor no Estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p. 119-126, 2004.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Incêndios Florestais**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/prevfogo/historico>>. Acesso em: 06 out. 2016.
- IBGE 2005. Mapa de Biomas e de Vegetação. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home>>. Acesso em: 06 out 2016.
- INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Programa Queimadas**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/>>. Acesso em: 03 jan 2017.
- LOURENÇO, L.; FERNANDES, S.; BENTO-GONÇALVES, A.; CASTRO, A.; NUNES, A.; VIEIRA, ANTÓNIO. Causas de incêndios florestais em Portugal continental. Análise estatística da investigação efetuada no último quinquênio (1996 a 2010). **Cadernos de Geografia**, Coimbra, n. 30/31, p. 61-80, 2012.
- KAESLIN, E.; WILLIAMSON, D. Forest, people and wildlife: challenges for a common future. **Revista Unasylna**, Roma, v. 61, n. 3, p. 3-10, 2010.
- MENDOZA, E. R. H. **Susceptibilidade da floresta primária ao fogo em 1998 e 1999: estudo de caso no Acre, Amazônia Sul - Ocidental, Brasil**. 2002. 40 p. Dissertação (Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) - Universidade Federal do Acre. 2002.

NUNES, A.; LOURENÇO, L.; BENTO-GOLÇALVES, A.; VIEIRA, A. Três décadas de incêndios florestais em Portugal: incidência regional e principais fatores responsáveis. **Cadernos de Geografia**, Belo Horizonte, n. 32, p. 133-143, 2013.

NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Análise da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺) para o Estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 473-484, 2009.

NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. FMA⁺ - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o Estado do Paraná, Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 75-91, 2006.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO (FAO). **Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010**: informe principal. Roma: FAO, 2010, 381 p.

PEREIRA, J. A. V.; SILVA, J. B. Detecção de focos de calor no Estado da Paraíba: um estudo sobre queimadas. **Revista Geografia Acadêmica**, Boa Vista, v. 10, n. 1, p. 05-16, 2016.

RODRIGUES, M P. R.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C; TETTO, A. F.; BECERRA, L. W. M. Comparação entre o perfil dos incêndios florestais de Monte Alegre, Brasil, e de Pinar Del Rio, Cuba. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 2, p. 231-240, 2013.

RODRIGEZ, M. P. R.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; SIERRA, C. A. M.; RODRIGUES, Y. C. Ajuste e desempenho dos índices de perigo de incêndios Nesterov, FMA e FMA⁺ na empresa florestal Macurije Cuba. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 4, p. 651-600, 2012.

SANTANA, J. A. S.; ARAUJO, I. M. M.; SENA, C. M.; PIMENTA, A. S.; FONSECA, F. C. E. Determinação dos períodos críticos de ocorrência de incêndios florestais na Estação Ecológica do Seridó, Serra Nega do Norte - RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 43-47, 2011.

SANTANA, J. A. S.; SOUTO, J. S. Produção de serrapilheira na Caatinga da região semi-árida do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista IDESIA**, Arica v.29, p.87-94, 2011.

SANTOS, W. S.; SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; MENDONÇA, I. F. C.; SOUTO, L. S.; MARACAJÁ, P. B. Estimativa dos riscos de ocorrência de incêndios florestais no Parque Estadual Pico do Jabre, na Paraíba. **Agropecuária Científica do Semiárido**, Patos, v. 11, n. 1, p. 80-84, 2015.

SOARES, R. V. Desempenho da “Fórmula de Monte Alegre” índice brasileiro de perigo de incêndio. **Cerne**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 87-99, 1998.

SOARES, R. V. Comparação entre quatro índices na determinação do grau de perigo de incêndios no Município de Rio Branco do Sul-PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 17, n. 12, p. 31-35, 1987.

SOARES, R. V. **Determinação de um índice de perigo de incêndio para a região centro paranaense, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro Tropical de Ensino e Investigação, Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas OEA, Turrialba, Costa Rica, 72 p. 1972.

SORIANO, B. M. A.; DANIEL, O.; SANTOS, S. A. Eficiência de índices de risco de incêndios para o pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 809-816, 2015.

TETTO, A. F.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Ocorrência de incêndios florestais no Estado do Paraná, no período de 2005 a 2010. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 391-398, 2012.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T.; FERNANDES, P. A. M. Development of a fire danger index for eucalypt plantations in the Northern Coast of Bahia, Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 4, p.601-610, 2013.

CAPÍTULO 1

**ÍNDICES DE RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM MESORREGIÕES DA
PARAÍBA**

ÍNDICES DE RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM MESORREGIÕES DA PARAÍBA

RISK INDICES OF FOREST FIRES IN MESOREGIONS OF PARAÍBA

RESUMO

Os incêndios florestais são agentes causadores de danos à biodiversidade em variados ecossistemas. É importante que existam formas de se prevenir o surgimento dos incêndios ou que alertem para as épocas mais susceptíveis às ocorrências. O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência das fórmulas FMA e FMA⁺ em municípios da Paraíba em uma série temporal de 20 anos. Foram selecionados seis municípios, distribuídos entre as quatro mesorregiões do Estado, onde se encontravam as estações meteorológicas do INMET. Para os cálculos dos índices, foram utilizados dados meteorológicos diários, registrados entre 1996 e 2015. Inicialmente, foram utilizados os intervalos originais dos graus de perigo de incêndios de ambas as fórmulas, mas, posteriormente, realizaram-se os ajustes de acordo com o princípio da proporcionalidade entre os graus de perigo de incêndios e suas frequências. Por fim, realizaram-se os comparativos entre os graus de perigo ajustados com os dados meteorológicos. O ajuste nos intervalos dos graus de perigo foi para que as fórmulas se adequassem. Porém, o município de João Pessoa, possivelmente pelas condições meteorológicas, não se enquadrava nos intervalos propostos na FMA, sendo necessário ajustar de acordo a improporcionalidade. Os ajustes tiveram uma boa relação com a variável meteorológica precipitação pluviométrica e constatou-se que, nos meses mais chuvosos, os graus de perigo Alto e Muito Alto reduziram consideravelmente. Conclui-se que as fórmulas FMA e FMA⁺ podem ser adotadas nos municípios do semiárido brasileiro a partir dos ajustes e que, em geral, os municípios estudados são vulneráveis o ano todo aos incêndios florestais.

Palavras-chave: Fogo na Caatinga. Índices FMA e FMA⁺. Monitoramento do Fogo.

ABSTRACT

Forest fires are agents that cause damage to biodiversity in a variety of ecosystems. It is important that there be ways to prevent the occurrence of fires or to alert to the times most susceptible to occurrences. The objective of this work was to evaluate the efficiency of the FMA and FMA⁺ formulas in municipalities of Paraíba in a 20 year time series. Six municipalities were selected, distributed among the four mesoregions of the State, where the INMET meteorological stations were located. For the calculations of the indices, daily meteorological data recorded between 1996 and 2015 were used. Initially, the original fire hazard grades of both formulas were used, but adjustments were subsequently made in accordance with the principle Proportionality between the fire hazard levels and their frequencies. Finally, comparisons were made between the degrees of danger adjusted with the meteorological data. The adjustment in the intervals of degrees of danger was for the formulas to fit. However, the municipality of João Pessoa, possibly due to the meteorological conditions, did not fit within the intervals proposed in the FMA, and it is necessary to adjust according to the non-proportionality. The adjustments had a good relation with the meteorological variable rainfall precipitation and it was found that, in the rainiest months, the High and Very High degrees of danger reduced considerably. It can be concluded that the FMA and FMA⁺ formulas

can be adopted in the municipalities of the Brazilian semi-arid region from the adjustments and that, in general, the municipalities studied are vulnerable to forest fires throughout the year.

Keywords: Fire in the Caatinga. Indexes FMA and FMA⁺. Fire Monitoring.

1 INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são um dos principais agentes causadores de danos à biodiversidade em diversos ecossistemas, visto que as chamas podem se alastrar por grandes áreas, ocasionando sérios prejuízos ambientais. Por vezes, a ação antrópica não tem como finalidade a destruição das florestas pelos incêndios, mas, ao se colocar fogo em um local o mesmo sai do controle, atingindo áreas no entorno. De acordo Santos et al. (2015), um incêndio se inicia quando as chamas começam a se espalhar pelos vários materiais combustíveis encontrados nos solos das florestas, como folhas secas, galhos e cascas das árvores.

Anualmente, são observados diversos focos de incêndios no Estado da Paraíba, sejam eles por meio de satélites ou por relatos dos órgãos competentes. Esse fenômeno é mais evidenciado nos meses mais secos do ano, quando a baixa pluviosidade e umidade do ar, combinadas com as altas temperaturas, facilitam a ocorrência e a propagação dos incêndios florestais, evidenciando que estes estão diretamente ligados aos fatores climáticos (NUNES et al., 2006; LOURENÇO et al., 2012; SORIANO et al., 2015).

Com base nesse conhecimento, é importante que existam formas de se prevenir o surgimento dos focos de calor ou, então, atentar-se para as épocas mais susceptíveis ao surgimento dos incêndios, permitindo a adoção de práticas preventivas e técnicas de combate focadas em determinados períodos do ano. Servindo a esse propósito existem vários índices de perigo de incêndios confiáveis, dentre eles, a Fórmula de Monte Alegre (FMA) e a Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA⁺).

Essas fórmulas são acumulativas, e requerem valores diários de umidade relativa do ar e precipitação do dia, com o acréscimo da variável velocidade do vento para o cálculo de FMA⁺. Diversos estudos já demonstraram a eficiência dessas fórmulas na previsão de dias de ocorrência de incêndio (SOARES, 1998; TORRES; RIBEIRO, 2008; NUNES et al., 2010; ALVARES et al., 2014).

Contudo, não existem trabalhos direcionados aos municípios da Paraíba, principalmente porque o Estado não possui tradição na prevenção e combate a incêndios florestais. No bioma Caatinga, vegetação predominante no Estado, os incêndios florestais vêm, a cada ano, tornando-se mais intensos, aumentando gradativamente a área devastada pelo fogo e os prejuízos socioambientais (SANTANA et al., 2011).

Essa pesquisa é relevante porque está relacionada às características climáticas dos municípios do Estado da Paraíba, levando em consideração suas distribuições pelas quatro mesorregiões, que apresentam variações climáticas com consequentes alterações nos

desempenhos dos índices de perigo de incêndios, sendo necessária a realização de algumas adequações às condições locais.

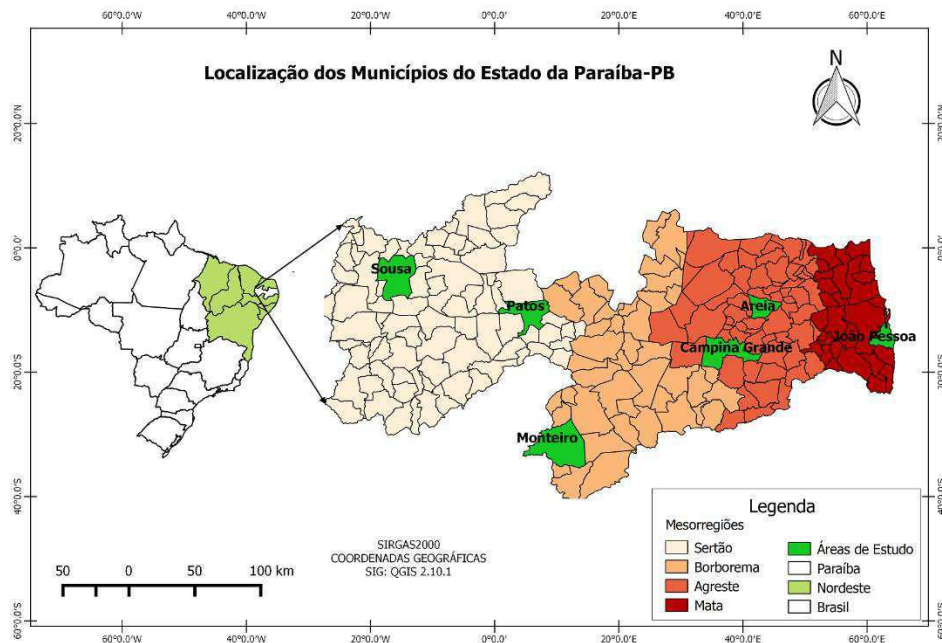
Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e da Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA⁺) em municípios da Paraíba, tomando como bases dados meteorológicos dos últimos 20 anos, o que permitirá constatar quais meses do ano cada município se apresenta vulnerável à ocorrência dos incêndios florestais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Áreas de estudo

O estudo foi desenvolvido em seis municípios, distribuídos nas quatro mesorregiões geográficas da Paraíba (Figura 1), de modo a representar os riscos de incêndios florestais em todos os domínios fitogeográficos do Estado.

Figura 1 – Municípios selecionados para realização de estudo sobre risco de incêndios florestais no Estado da Paraíba



Fonte / AESA (Adaptado pelo autor)

As áreas foram selecionadas de acordo as características climáticas, vegetação, importância econômica e a existência de estações meteorológicas do Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET), que acompanham e registram os dados climatológicos diariamente (Tabela 1) e apresentam dados meteorológicos históricos das mesorregiões.

Tabela 1 – Municípios selecionados para avaliação do risco de incêndios florestais na Paraíba

Dados	Areia (Agreste)	Campina Grande (Agreste)	João Pessoa (Zona da Mata)
Coordenadas	06°57'46'' S 35°41'31'' W	7°13'20''S 35°52'24''W	7°07'10''S 34°50'41''W
População (hab)	23.829	385.213	723.515
Área (km ²)	266,569	584,182	211,475
Altitude (m)	623	511	43
Clima	As	BSh	As
Vegetação	Mata Atlântica	Caatinga	Mata Atlântica
	Monteiro (Borborema)	Patos (Sertão)	Sousa (Sertão)
Coordenadas	07°53'20''S 37°07'12'' W	7°01'05''S 7°15'15''W	06°45'30'' S 38°13'51'' W
População (hab.)	39.330	100.674	68.434
Área (km ²)	986,370	473,056	738,547
Altitude (m)	599	249	220
Clima	BSh	BSh	As
Vegetação	Caatinga	Caatinga	Caatinga

2.2 Obtenção dos dados

Para realizar os cálculos e determinar o grau e o período crítico de risco de incêndio nos municípios selecionados foi utilizada uma série temporal de 20 anos (01/01/1996 a 31/12/2015), sendo para isso pesquisados os dados diários de precipitação pluvial (mm), temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), às 13:00 horas e a velocidade do vento (m/s). Esses dados foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), onde estão disponibilizadas séries de dados históricos em estações convencionais. De posse dos dados climáticos, foram feitas sistematizações em planilhas Excel para posterior cálculo dos índices por meio das seguintes equações:

2.3 Fórmula de Monte Alegre (FMA)

Trata-se de um índice acumulativo que necessita de valores diários de umidade relativa do ar e precipitação, além dos dias sem chuva, para realização dos cálculos (SOARES, 1998), empregando a seguinte equação:

$$FMA = \sum_{i=1}^n \left(\frac{100}{H_i} \right)$$

Sendo:

H = umidade relativa do ar (%), medida às 13:00 horas

n = número de dias sem chuva maior que 12,9 mm

FMA é uma fórmula acumulativa, ou seja, quanto maior for o número de dias com baixa umidade e sem precipitação, maior será o risco de ocorrência de incêndio (SANTOS et al., 2015). A quantidade de precipitação acumulada diariamente reduz o valor do índice, seguindo uma tabela de restrição (Tabela 2)

Tabela 2 – Restrição ao somatório de FMA e FMA⁺, proposta por Soares (1998)

Chuva/dia (mm)	Alteração no cálculo
≤ 2,4	Nenhuma
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia, ou seja, $FMA_{hoje} = 0,7 * FMA_{ontem} + FMA_{hoje}$
5,0 a 9,9	Abater 60% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia, ou seja, $FMA_{hoje} = 0,4 * FMA_{ontem} + FMA_{hoje}$
10 a 12,9	Abater 80% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia, ou seja, $FMA_{hoje} = 0,2 * FMA_{ontem} + FMA_{hoje}$
>12,9	Interromper o cálculo (FMA=0) e recomeçar o cálculo no dia seguinte ou quando a precipitação for ≤ 2,4

Conforme Santana et al. (2011), o perigo de incêndio diário é indicado de acordo a Tabela 3, tomando como base uma escala com cinco níveis. O índice será calculado mensalmente, a partir da somatória dos valores diários em cada mês ao longo dos anos, sendo posteriormente classificados conforme a escala de risco de incêndio (TETTO et al., 2010; SANTANA et al., 2011; ALVARES et al., 2014).

Tabela 3 – Grau diário de perigo de ocorrência de fogo no dia de acordo com os cálculos de FMA.

Valor FMA	Grau de Perigo
1,0	Nulo
1,1 - 3,0	Baixo
3,1 - 8,0	Médio
8,1 – 20	Alto
> 20	Muito Alto

2.4 Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA⁺)

Esse cálculo também é acumulativo e segue a projeção da FMA conforme a Tabela 2, porém são adicionados ao cálculo os valores da velocidade do vento, relacionado à propagação do fogo, tendo a seguinte representação (NUNES et al., 2005):

$$FMA^+ = \sum_{i=1}^n \left(\frac{100}{H_i} \right) e^{0,04v}$$

Sendo:

H = umidade relativa do ar (%), medida às 13:00 horas

n = número de dias sem chuva maior que 12,9 mm

v = velocidade do vento em m/s, medida às 13:00 horas

e = base dos logaritmos naturais (2,718282)

Os índices foram calculados em concordância com a metodologia para os cálculos de FMA⁺ e classificados em base conforme a escala para a formula modificada (NUNES et al., 2006; NUNES et al., 2010), como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 – Grau diário de perigo de ocorrência de fogo no dia de acordo com os cálculos de FMA⁺

Valor FMA ⁺	Grau de Perigo
≤ 3,0	Nulo
3,1 - 8,0	Baixo
8,1 - 14,0	Médio
14,1 - 24,0	Alto
> 24	Muito Alto

2.5 Correlação da umidade relativa do ar (UR)

Inicialmente foi estimada a UR, às 13:00 horas, para assim, poder aplicar a FMA e a FMA⁺, uma vez que esses dados são coletados pelas estações do INMET às 15:00 horas. Com esse intuito, foi empregada a equação proposta por Nunes et al. (2006):

$$UR_{13} = 2,451510 \cdot UR_{15}^{0,796072} \quad (R^2 = 0,8639)$$

Sendo:

UR₁₃ = umidade relativa do ar (%), estimada às 13:00 horas

UR₁₅ = umidade relativa do ar (%), medida às 15:00 horas

R² = coeficiente de determinação

2.6 Análise dos dados

Para que fosse possível definir os novos intervalos para os graus de perigo de incêndios, em ambas as fórmulas utilizaram-se os números previstos por classes, sendo posteriormente ajustados, partindo-se do princípio de que os dias previstos devem ter uma relação diretamente proporcional com grau de risco, ou seja, quanto maior o grau, mais dias estaria dentro dele, ajustando os intervalos até que o coeficiente de determinação (R²) atingisse valores superiores a 60%, ou seja, nos melhores ajustes, o R² aproximou-se de 1 .

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ajuste das fórmulas

Inicialmente se obtiveram os números de dias previstos por cada classe para os graus originais de FMA e FMA⁺, evidenciados nas tabelas 3 e 4, respectivamente, sendo os resultados apresentados na Tabela 5.

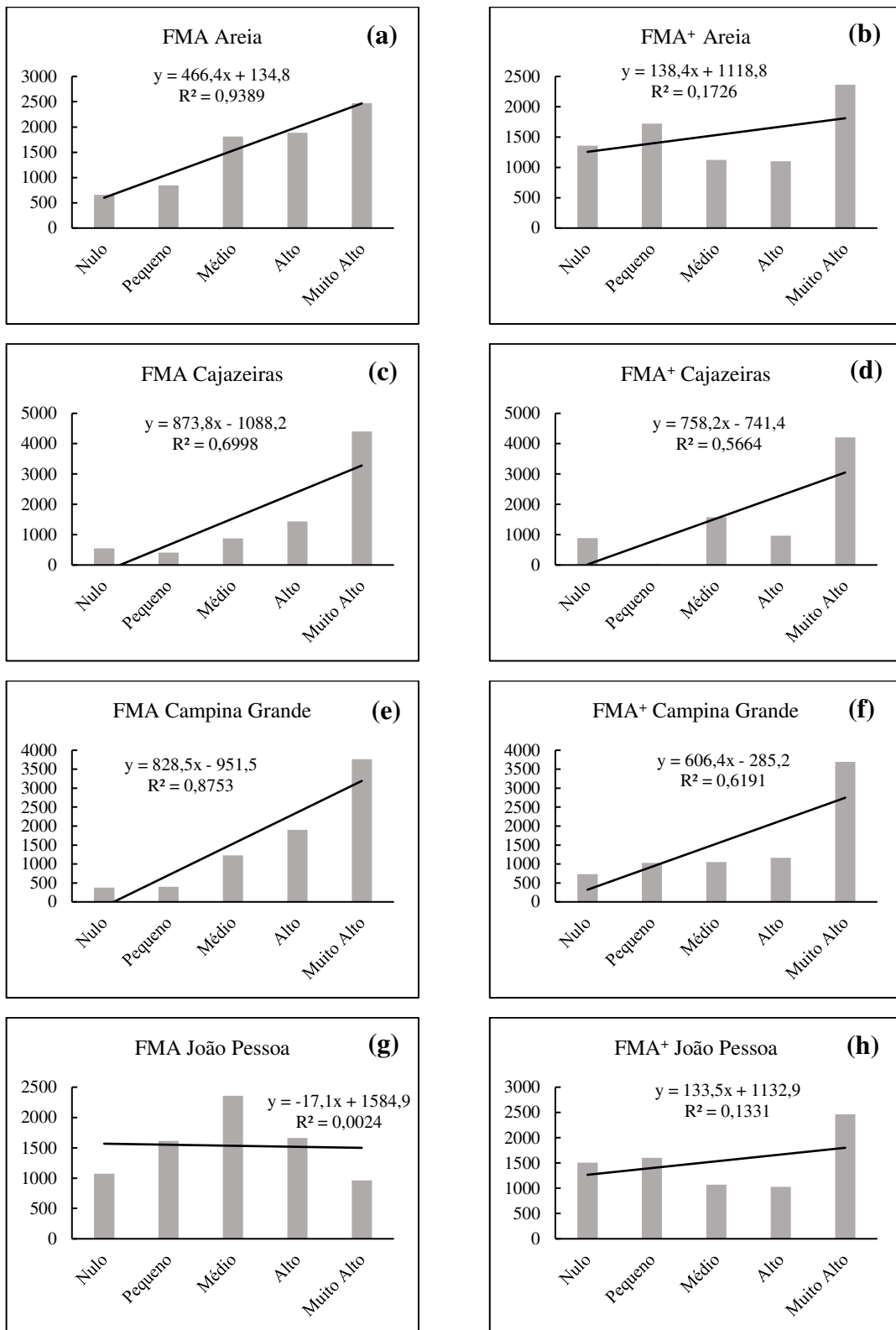
TABELA 5 – Números de dias previstos por grau de perigo de incêndio pelas FMA e FMA⁺ originais para os municípios estudados

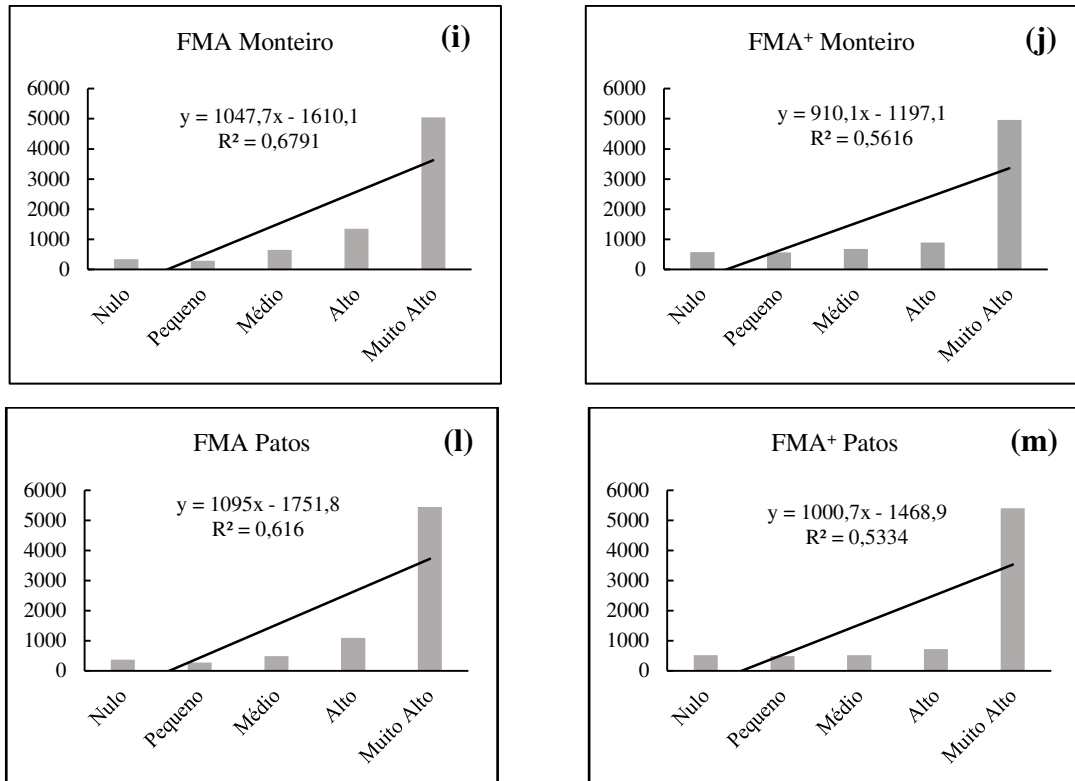
Municípios	FMA											
	Dias previstos no período											
	Nulo		Pequeno		Médio		Alto		Muito Alto		Total	
n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	
Areia	585	8,01	773	10,58	1737	23,78	1813	24,82	2397	32,81	7305	100
Cajazeiras	472	6,46	337	4,61	802	10,98	1361	18,63	4333	59,32	7305	100
Campina Grande	302	4,13	326	4,46	1155	15,81	1829	25,04	3693	50,55	7305	100
João Pessoa	1000	13,69	1540	21,08	2284	31,27	1589	21,75	892	12,21	7305	100
Monteiro	265	3,63	217	2,97	570	7,80	1272	17,41	4981	68,19	7305	100
Patos	299	4,09	200	2,74	419	5,74	1018	13,94	5369	73,50	7305	100

Municípios	FMA +											
	Dias previstos no período											
	Nulo		Pequeno		Médio		Alto		Muito Alto		Total	
n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	
Areia	1287	17,62	1650	22,59	1050	14,37	1028	14,07	2290	31,35	7305	100
Cajazeiras	810	11,09	30	0,41	1508	20,64	893	12,22	4064	55,63	7305	100
Campina Grande	659	9,02	955	13,07	976	13,36	1093	14,96	3622	49,58	7305	100
João Pessoa	1435	19,64	1527	20,90	997	13,65	954	13,06	2392	32,74	7305	100
Monteiro	504	6,90	487	6,67	601	8,23	822	11,25	4891	66,95	7305	100
Patos	445	6,09	421	5,76	449	6,15	654	8,95	5336	73,05	7305	100

Ao se calcular o grau de perigo de incêndios florestais usando-se a FMA, observou-se que os municípios de Cajazeiras (2c), João Pessoa (2g), Monteiro (2i) e Patos (2l) não se adequaram aos critérios propostos, da improporcionalidade e do R². Quando se utilizou a FMA⁺, nenhum dos seis municípios selecionados para o estudo se ajustou ao novo modelo, o que indica um desempenho não satisfatório das fórmulas (Figura 2), havendo necessidade de se realizarem ajustes.

Figura 2 – Quantidade de dias previstos (eixo y) em cada grau de perigo de incêndio (eixo x) utilizando as FMA e FMA⁺





Em trabalho semelhante, envolvendo municípios do Paraná, Nunes et al. (2009) realizaram ajustes dos graus de perigo de incêndio na Fórmula de Monte Alegre Modificada; entretanto, eles propuseram que a ocorrência dos graus deveria ser inversamente proporcional, ou seja, quanto maior o grau de perigo, menor deveria ser a ocorrência, sendo necessário realizar três ajustes diferentes para a adequação dos dados.

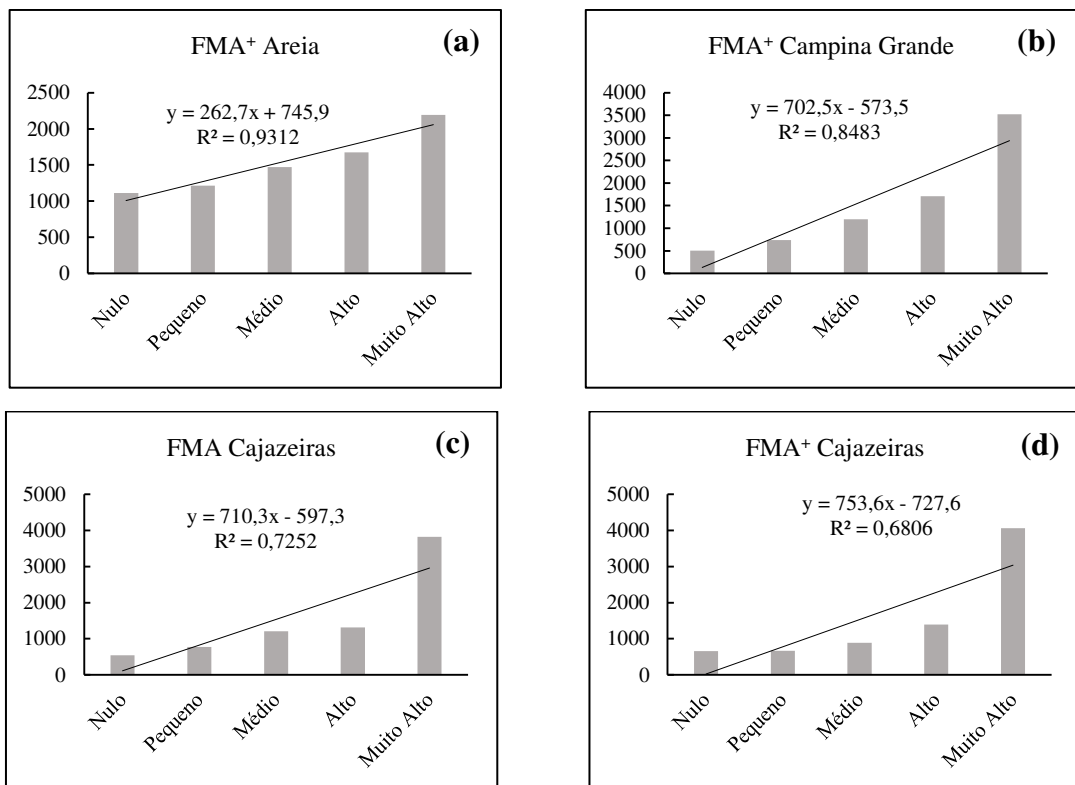
A diferença entre os métodos propostos é justificada pelas distintas condições climáticas entre a região Sul e Nordeste do país. Como, no Nordeste, a maior parte do ano é de baixa precipitação, não é aceitável o grau Nulo aparecer com tanta frequência na região semiárida.

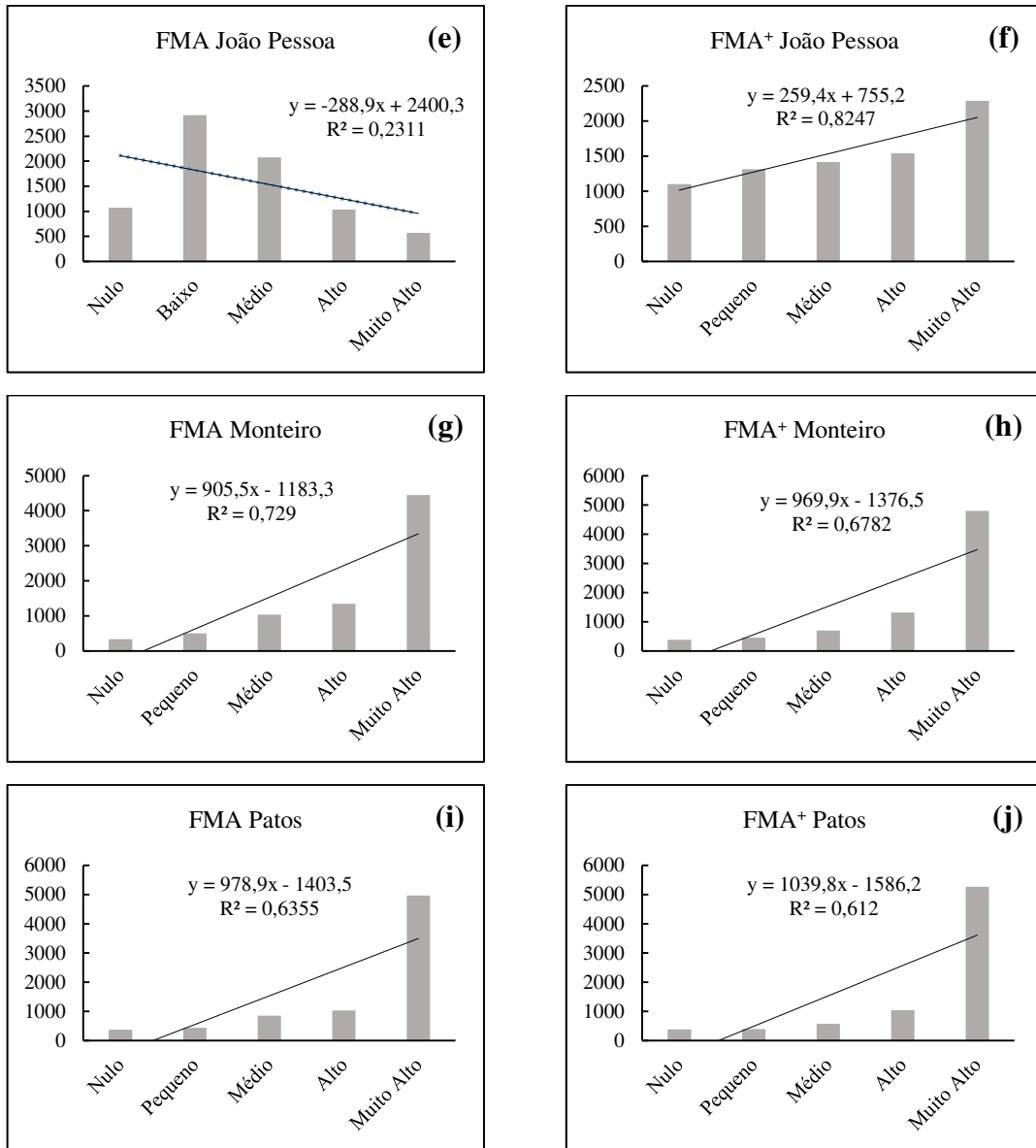
Com o objetivo de se adequar à nova premissa e, assim, obtêm-se resultados adequados, os graus de perigo foram ajustados para que os índices pudessem ser confiáveis para essas regiões. Assim, foram realizadas alterações nos intervalos de cada classe, a partir dos intervalos originais, sendo estes apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Ajustes dos graus de perigo de FMA e FMA⁺ para mesorregiões da Paraíba.

Grau de Perigo	FMA	FMA ⁺
Nulo	≤ 1	≤ 3
Baixo	1,1 – 5	2,1 - 5,5
Médio	5,1 – 13	5,6 - 11,5
Alto	13,1 – 27	11,6 – 26
Muito Alto	> 27	> 26

Com o novo intervalo de grau de perigo de incêndios, todos os municípios selecionados para o estudo se adequaram às fórmulas ajustadas, seguindo a premissa de que o grau de perigo de incêndio deve ser diretamente proporcional a sua ocorrência (Figura 3).

Figura 3 – Quantidade de dias previstos (eixo y) em cada grau de perigo de incêndio (eixo x) para as FMA e FMA⁺ / Ajuste 1

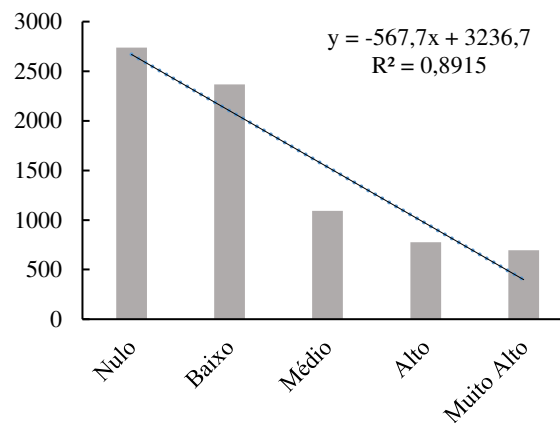


No caso de João Pessoa (3e), os dados não se ajustaram para FMA, ocorrendo o ajuste dos dados quando se utilizou FMA⁺. João Pessoa, por se encontrar no litoral do Estado da Paraíba, apresenta altos níveis pluviométricos, chovendo regularmente, condição essa semelhante às relatadas por Nunes et al. (2009) para o Estado do Paraná. Para os autores supracitados, os graus de perigo de incêndio são inversamente proporcionais às ocorrências. Diante desse fato, fez-se necessária a adequação dos intervalos da FMA para João Pessoa, que são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Ajuste do grau de perigo de FMA / Ajuste 2 para o município de João Pessoa - PB

Grau de Perigo	FMA
Nulo	≤ 3
Baixo	3,1 – 8
Médio	8,1 – 14
Alto	14,1 - 24
Muito Alto	> 24

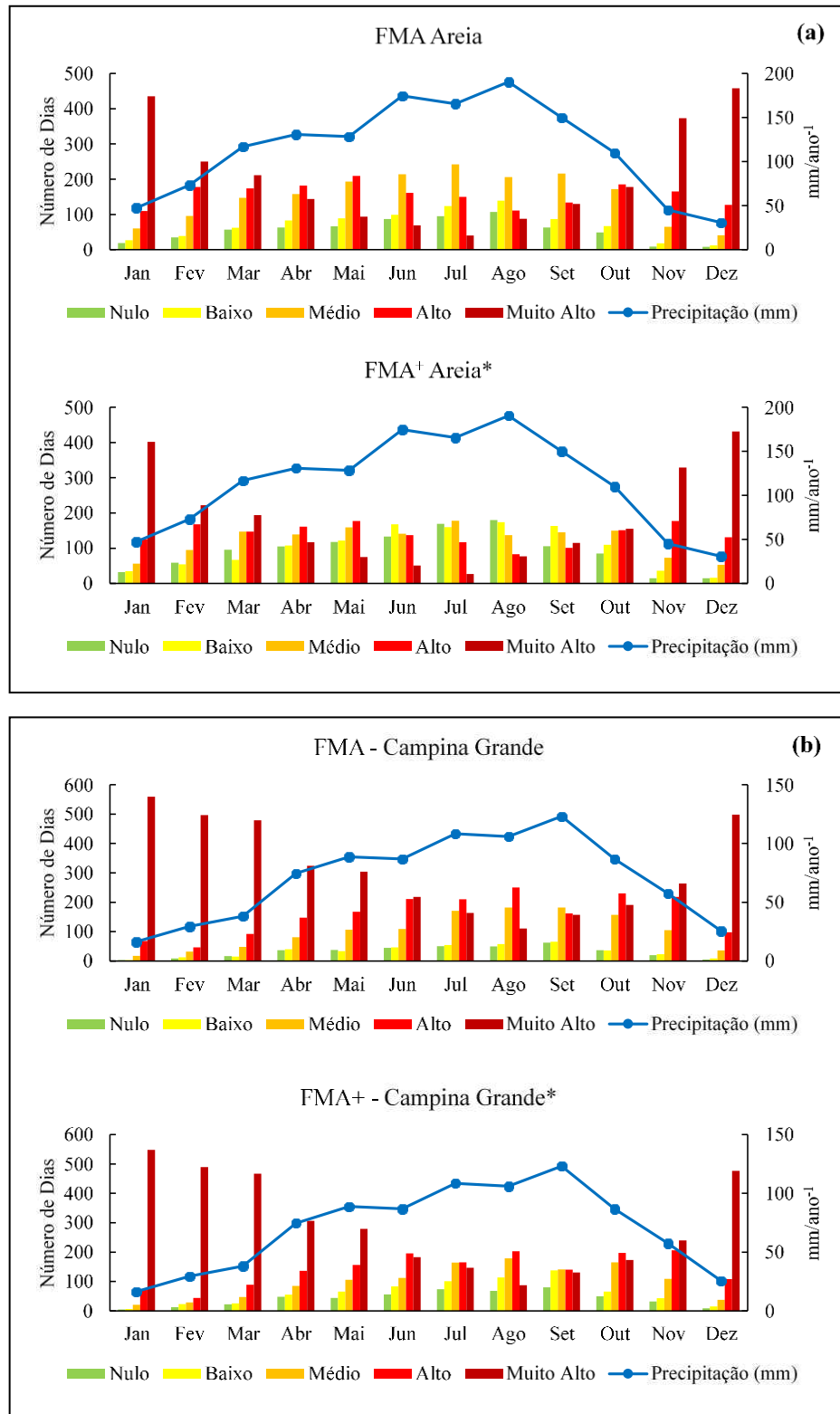
Ao se utilizar a FMA com o segundo ajuste, os resultados refletiram a realidade dos fatos (Figura 4). Ressalta-se que a utilização de índices é uma ferramenta importante, porém, em alguns casos, será necessária a realização do ajuste dos intervalos de grau de perigo de incêndios, indicando assim que as fórmulas FMA e FMA⁺ originais não devem ser aplicadas para todas as condições. Caso os dados não reflitam a realidade, há necessidade de se fazerem os ajustes.

Figura 4 – Quantidade de dias previstos (eixo y) em cada grau de perigo de incêndio (eixo x) para FMA / Ajuste 2 para João Pessoa - PB

3.2 Comparativo dos ajustes com variáveis meteorológicas

Com o intuito de demonstrar que os ajustes permitiram resultados satisfatórios com os graus de perigo de incêndios, foi realizado um comparativo com suas ocorrências ao longo do ano, em conjunto com as variáveis utilizadas nas FMA e FMA⁺ (Figura 5).

Figura 5 – Comparação dos graus de perigo de incêndio das FMA e FMA⁺ com a precipitação pluviométrica para os municípios de Areia (a) e Campina Grande (b), na Paraíba. (*Gráficos com os intervalos dos graus de perigo ajustados)



As variáveis meteorológicas interferem diretamente na ocorrência dos graus de perigo de incêndio, o que demonstra a relação existente entre eles. Segundo Soares (1987), a precipitação pluviométrica é de fundamental importância sobre a caracterização do clima, fator esse comprova que os registros de focos estão sempre associados aos períodos de estiagem. Há intensa correlação entre longos períodos de seca e os grandes incêndios (SORIANO et al., 2015).

Já as variáveis umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura médias, apesar de fazerem parte dos cálculos de FMA e FMA⁺, não mostram influência quanto à frequência com que cada grau de perigo de incêndio ocorre. Isso seria explicado por essas variáveis terem valores médios estáveis ao longo do ano, não variando ao ponto de alterar os graus de perigo. Entretanto, a combinação desses fatores é crucial para o surgimento de focos de calor. Ao avaliarem a eficiência de índices de riscos de incêndios Soriano et al. (2015) constataram que a velocidade do vento e a umidade relativa do ar são as variáveis meteorológicas que expressam maior correlação com o número de focos decretados pelo estudo.

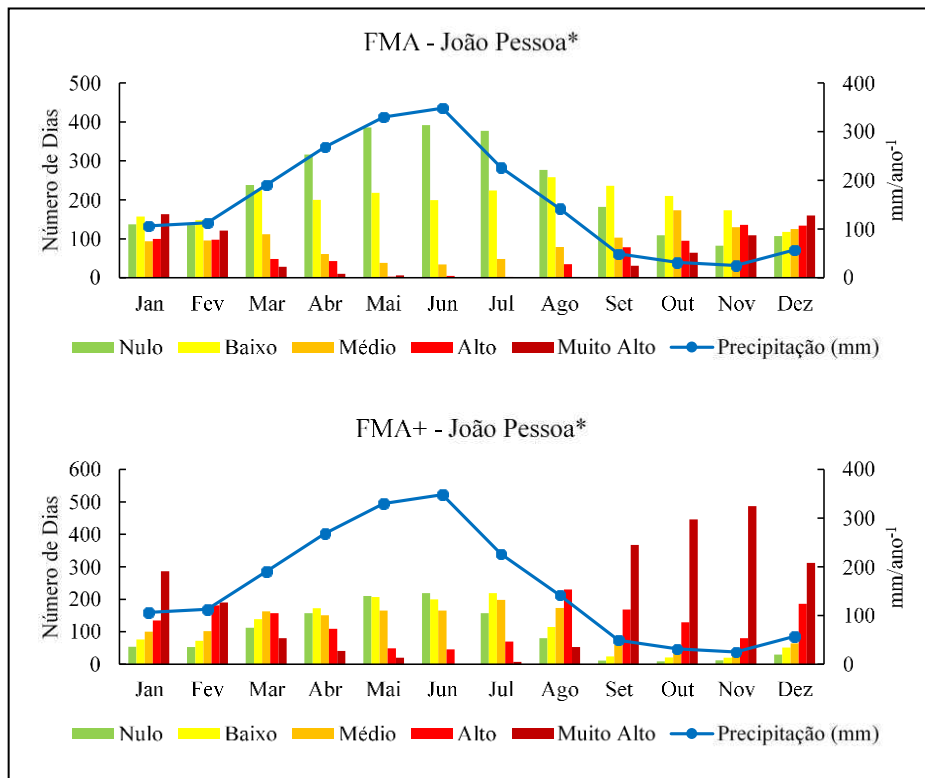
No município de Areia (5a), localizado na mesorregião do Agreste, as chuvas são bem distribuídas ao longo dos anos, com média de 1.338 mm/ano⁻¹. Consequentemente, poucos são os dias em que os graus de perigo de incêndio Alto e Muito Alto aparecem, representando 56,8% e 50,5% para FMA e FMA⁺, respectivamente. Isso pode ser explicado pelo município se encontrar em brejo de altitude, pois mesmo localizado em regiões semiáridas, possui temperaturas mais amenas e maiores índices pluviométricos. Theulen (2004) e Santos et al. (2016) definem essas regiões como resquícios de Mata Atlântica, com clima úmido e vegetação privilegiada, ao comparar com as formações florestais circundantes.

A município de Campina Grande (5b), apesar de também estar situado no Agreste, não possui as características de brejo de altitude, com a precipitação anual média de 816 mm/ano⁻¹, e o período chuvoso concentrado entre 6 meses do ano, de maio a outubro. Nesse intervalo, o risco de incêndios é baixo, contudo, nos meses subsequentes, concentra 73,9% de Alto e Muito Alto, para FMA, e 68,3% para os mesmos graus de perigo de incêndios em FMA⁺.

Em estudo avaliando a incidência dos índices de grau de perigo ao longo do ano, no município de Piracicaba - SP, Álvares et al. (2014) observaram a distribuição dos graus variando ao longo dos meses, sendo que os meses de maio a setembro foram os que mais vezes apresentaram dias com os graus Alto e Muito Alto, e o grau Nulo foi mais evidente entre dezembro e fevereiro. Ainda segundo esses autores, 86% dos focos de calor registrados no período de estudo ocorreram em 6 meses do ano.

No caso de João Pessoa, o município se encontra na mesorregião da Zona da Mata, no litoral do Estado da Paraíba. O período mais chuvoso vai de março a agosto, com a maior precipitação dentre os municípios avaliados, com média de $1.830 \text{ mm ano}^{-1}$ (Figura 6). Em relação ao comportamento dos graus de perigo, esse município se difere das demais na FMA, como já exposto (Figura 4), e o ajuste da fórmula foi feito com base na improporcionalidade entre o grau de perigo de incêndio e sua frequência. Neste cenário, a variável Nulo e Baixo foram as mais observadas (65%); apenas nos meses de janeiro e dezembro, a variável Muito Alto foi superior comparada às demais.

Figura 6 – Comparação dos graus de perigo de incêndio das FMA e FMA⁺ com a precipitação pluviométrica para o município de João Pessoa, na Paraíba. (*Gráficos com os intervalos dos graus de perigo ajustados)

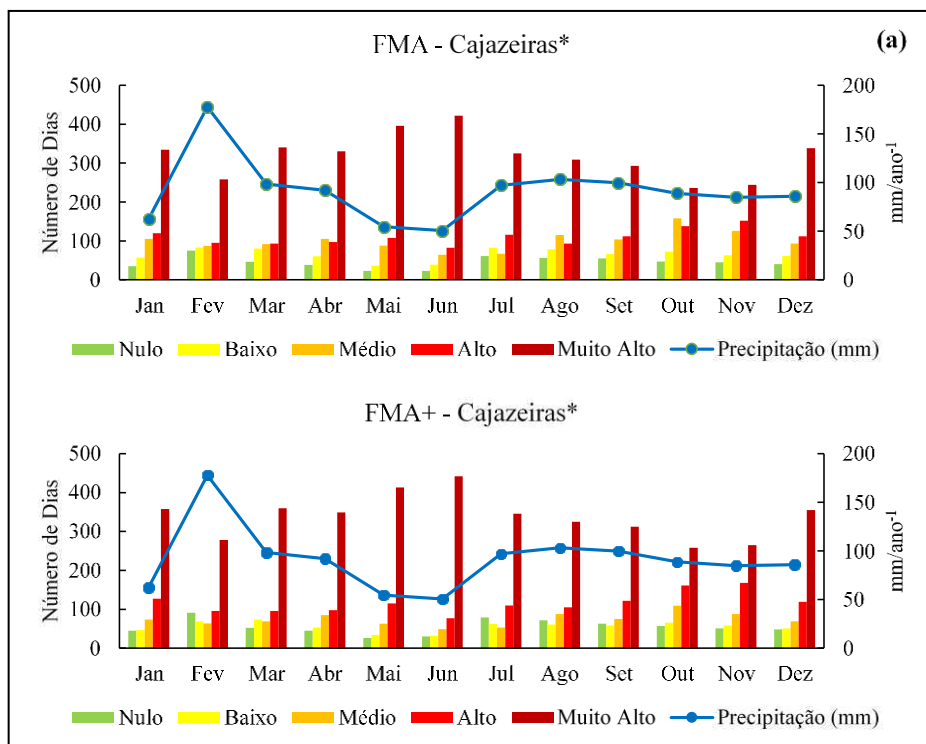


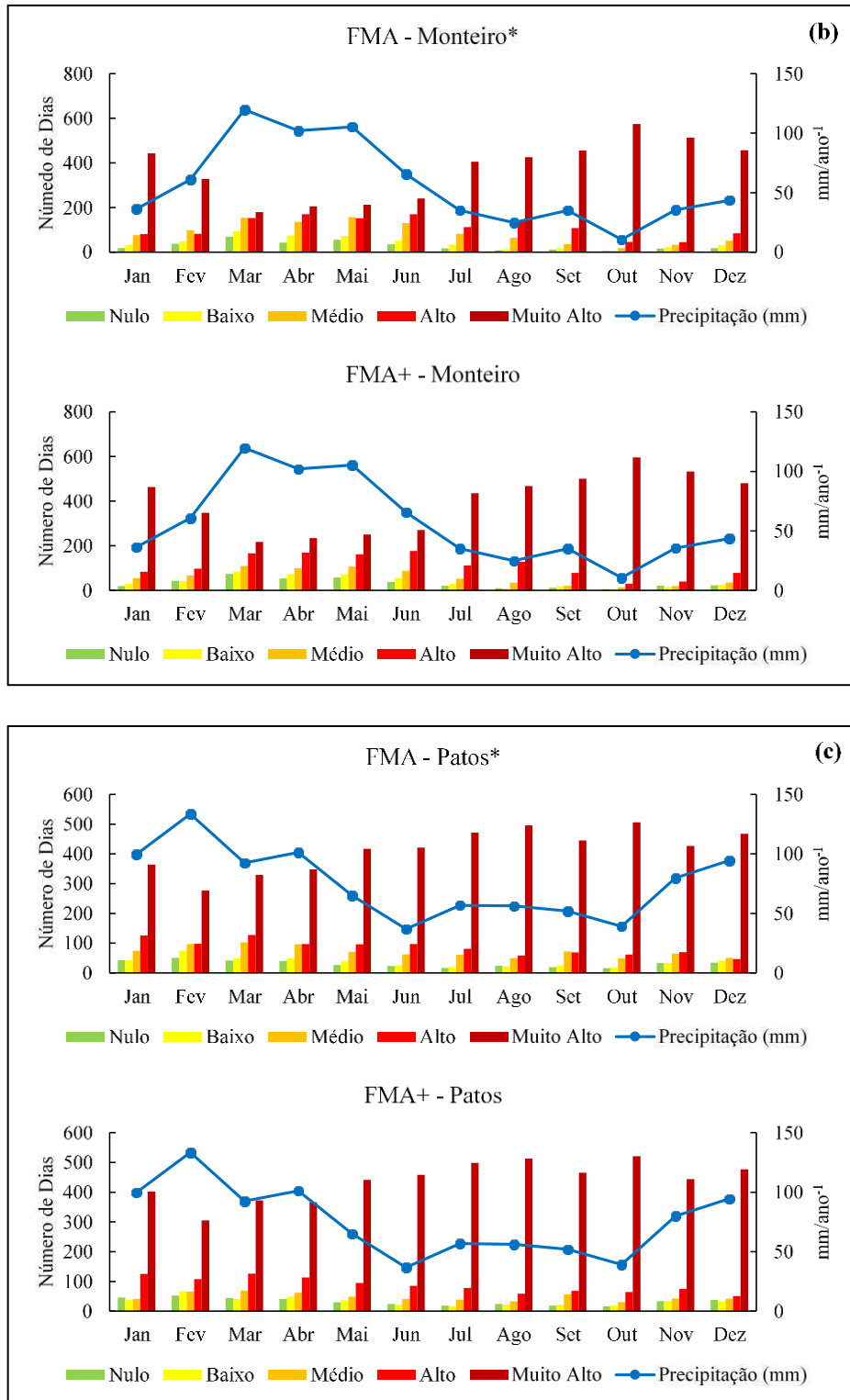
Em FMA⁺, os graus de perigo de incêndio Nulo e Baixo foram mais evidenciados no pico do período chuvoso, de abril a junho; já para os graus Alto e Muito Alto as maiores ocorrências foram de setembro a fevereiro (49,9%). Porém, observou-se um equilíbrio entre a frequência com que os graus de perigo de incêndio apareceram ao longo do ano. Borges et al. (2011), ao trabalharem com índices de perigo de incêndios em plantios de eucalipto, no Norte

do Espírito Santo, observaram tendência de FMA⁺ em concentrar maior percentual nos graus mais altos, atribuindo a isso a velocidade do vento.

Já nos municípios de Cajazeiras, Monteiro e Patos, as chuvas mais intensas ocorrem no início do ano, sendo mais intensas entre os meses de fevereiro e maio, diminuindo a frequência das classes Alta e Muito Alta. Em contrapartida, no restante do ano, esses municípios se encontram vulneráveis à ocorrência de incêndios florestais (Figura 7), sendo necessário o acompanhamento das incidências de focos de calor. Esse efeito é justificado por questões geográficas, já que esses municípios se encontram nas mesorregiões do Sertão (Cajazeiras e Patos) e Borborema (Monteiro), como demonstrando na Figura 7.

Figura 7 – Comparação dos graus de perigo de incêndio das FMA e FMA⁺ com a precipitação pluviométrica para os municípios de Cajazeiras (a), Monteiro (b) e Patos (c), na Paraíba. (*Gráficos com os intervalos dos graus de perigo ajustados)





Apesar de a precipitação pluviométrica nesses municípios ser registrada em todos os meses do ano, os valores medidos não são suficientes para diminuir a maior ocorrência dos graus de perigo de incêndio Alto e Muito Alto, reafirmando a importância do acompanhamento frequente. Em Cajazeiras (7a), por exemplo, as variáveis Alto e Muito Alto apareceram 67,1%, para FMA, e 71,1% para FMA⁺, com uma precipitação de 816 mm ano⁻¹, e os meses mais

críticos foram de março a julho. Já em Monteiro (7b), choveu em média $690,4 \text{ mm/ano}^{-1}$, o menor valor observado dentre os municípios estudados, com a ocorrência de 79,8% de Alto e Muito Alto, para FMA, e 75% de Alto e Muito Alto para FMA⁺. Por fim, no município de Patos (7c), choveu em média $788,5 \text{ mm ano}^{-1}$, e as frequências dos graus de perigo de incêndio Alto e Muito Alto foram de 78,2% e 82,2% para FMA e FMA⁺.

Quanto ao uso de FMA ou FMA⁺, ambas se mostraram eficientes na previsão de períodos mais susceptíveis ao surgimento de focos de incêndio, podendo ser usadas nos municípios estudados. Porém, ao se compararem índices de perigo de incêndio no Pantanal Sul-Mato-Grossense, Soriano et al. (2015) concluíram que a FMA é mais eficaz em relação à FMA⁺ ao que se propõe. Já Borges et al. (2011) relatam que a FMA⁺ foi estatisticamente mais efetiva, recomendando-a para a região a qual estudaram, no Norte do Espírito Santo.

Os resultados deixaram clara a importância de se estudar o uso das fórmulas de índices de perigo de incêndios florestais, permitindo o maior entendimento da realidade local e, o mais importante, adequar a fórmula para cada situação, o que possibilita trabalhos de controle, combate e prevenção de incêndios florestais, porque, além da vulnerabilidade natural a que os municípios estão submetidos ao longo dos meses, existem ainda as práticas rurais de limpeza de terreno com fogo, uma das principais causas de incêndios.

4. CONCLUSÕES

As fórmulas FMA e FMA⁺ podem ser aplicadas aos municípios da Paraíba, porém é necessário realizar os ajustes dos graus de perigo de incêndio para melhor retratar a realidade.

Os seis municípios avaliados estão vulneráveis o ano inteiro ao surgimento de incêndios florestais, principalmente os localizados nas mesorregiões Sertão e Agreste.

A precipitação pluviométrica é responsável pela frequência dos graus de perigo de incêndios, visto que, em meses mais chuvosos, as classes Alto e Muito Alto sofreram redução na frequência de dias.

Sugere-se que haja maior acompanhamento do desempenho das fórmulas e seus ajustes para assim assegurar seu uso adequado aos locais estudados.

REFERÊNCIAS

- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Geo Portal**. Disponível em:
< <http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/mapas.html>>. Acesso em: 06 de out. 2016.
- ALVARES, C. A.; CEGATTA, I. R.; VIEIRA, L. A. A.; PAVANI, R. F.; MATTOS, E. M. SENTELHAS, P. C.; STAPE, J. L.; SOARES, R. V. Perigo de incêndios florestais: aplicação da Fórmula de Monte Alegre e avaliação do histórico de Piracicaba, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 511-522, 2014.
- BORGES, T. S.; FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. R.; LOUREIRO, E. B.; MAFIA, R. G. Desempenho de alguns índices de incêndios em plantios de eucalipto no Norte do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 2, p. 153-159, 2011.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações e Dados**. Disponível em:
< <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 13 de nov de 2016.
- LOURENÇO, L.; FERNANDES, S.; BENTO-GONÇALVES, A.; CASTRO, A.; NUNES, A.; VIEIRA, ANTÓNIO. Causas de incêndios florestais em Portugal continental. Análise estatística da investigação efetuada no último quinquênio (1996 a 2010). **Cadernos de Geografia**, Coimbra, n. 30/31, p. 61-80, 2012.
- NUNES, J. R. S.; FIER, I. S. N.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Desempenho da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺) no Distrito Florestal de Monte Alegre. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 2, p. 319-326, 2010.
- NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. FMA⁺ - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o Estado do Paraná, Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 75-91, 2006.
- SANTANA, J. A. S.; ARAUJO, I. M. M.; SENA, C. M.; PIMENTA, A. S.; FONSECA, F. C. E. Determinação dos períodos críticos de ocorrência de incêndios florestais na estação ecológica do Seridó, Serra Negra do Norte - RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 43-47, 2011
- SANTOS, V. M.; LÜCKING, R. CÁCERES, M. E. SILVA. Líquens foliícolas (*Ascomycota*) em Brejos de Altitude: novos registros para o Nordeste e para o Brasil. **Iheringa Série Botânica**, Porto Alegre, v. 71, n. 3, p. 368-376, 2016.
- SANTOS, W. S.; SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; MENDONÇA, I. F. C.; SOUTO, L. S.; MARACAJÁ, P. B. Estimativa dos riscos de ocorrência de incêndios florestais no Parque Estadual Pico do Jabre, na Paraíba. **Agropecuária Científica do Semiárido**, Patos, v. 11, n. 1, p. 80-84, 2015.
- SOARES, R. V. Desempenho da “Fórmula de Monte Alegre” índice brasileiro de perigo de incêndio. **Cerne**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 87-99, 1998.

SOARES, R. V. Comparação entre quatro índices na determinação do grau de perigo de incêndios no Município de Rio Branco do Sul-PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 17, n. 12, p. 31-35, 1987.

SORIANO, B. M. A.; DANIEL, O.; SANTOS, S. A. Eficiência de índices de risco de incêndios para o pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 809-816, 2015.

TETTO, A. F.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V.; NUNES, J. R. S.; Comportamento e ajuste da fórmula de Monte Alegre na Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 409-417, 2010.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A. Índices de risco de incêndios florestais em Juiz de Fora/MG. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 15, n. 2, p. 24-34, 2008.

THEULEN, V. Conservação dos Brejos de Altitude no Estado de Pernambuco. **In Brejos de Altitude em Paraíba e Pernambuco: História Natural, Ecologia e conservação**. Ministério do Meio ambiente, Brasília. 2004. 324 p.

CAPÍTULO II

SÉRIE TEMPORAL DE FOCOS DE CALOR EM MESORREGIÕES DA PARAÍBA

SÉRIE TEMPORAL DE FOCOS DE CALOR EM MESORREGIÕES DA PARAÍBA

TIME SERIES OF HEAT SOURCES IN MESOREGIONS OF PARAÍBA

RESUMO

O manejo do fogo é um conjunto de decisões direcionadas a práticas de prevenção, constatação e controle desse agente modificador da paisagem. O sensoriamento remoto auxilia no entendimento dos fenômenos que ocorrem na superfície da terra. Este trabalho teve como objetivo identificar as ocorrências dos focos de calor registrados por satélites no Estado da Paraíba. Foram selecionados seis municípios, distribuídos nas quatro mesorregiões do Estado. Os dados analisados foram obtidos de uma série temporal de 15 anos (2000 a 2015). As ocorrências dos focos de calor foram selecionadas por meses do ano, possibilitando visualizar a frequência dos focos de calor em distintas localidades. Os anos com maior número de focos de calor na Paraíba foram 2003, 2004 e 2009. Nos seis municípios estudados foram registrados 3.712 focos de calor, sendo o município de Cajazeiras o que obteve o maior número de registros (2.253 ocorrências). Conclui-se que a mesorregião Sertão Paraibano foi a de maior incidência dos focos de calor, sendo a mais atingida pelo fogo. Recomenda-se a implantação de programas de conscientização que informem o cidadão das zonas rural e urbana sobre a importância do adequado manejo do fogo, de modo a reduzir os focos dos incêndios florestais na região.

Palavras-chave: Incêndio Florestal. Precipitação Pluviométrica. Semiárido Paraibano.

ABSTRACT

Fire management is a set of decisions directed to practices of prevention, verification and control of this agent that modifies the landscape. Remote sensing helps in understanding the phenomena that occur on the earth's surface. This work aimed to identify the occurrences of heat sources recorded by satellites in the State of Paraíba. Six municipalities were selected, distributed in the four mesoregions of the State. The data analyzed were obtained from a time series of 15 years (2000 to 2015). The occurrences of heat sources were selected for months of the year, making it possible to visualize the frequency of heat sources in different locations. The years with the highest number of heat sources in Paraíba were 2003, 2004 and 2009. In the six municipalities studied, 3,712 hot spots were recorded, with Cajazeiras municipality having the highest number of records (2,253 occurrences). It is concluded that the Sertão Paraibano mesoregion was the one with the highest incidence of hot spots, being the most affected by fire. It is recommended to implement awareness programs that inform the citizen of rural and urban areas about the importance of adequate fire management in order to reduce the outbreaks of forest fires in the region.

Keywords: Forest Fire. Precipitation Rainfall. Semi-arid Paraibano.

1 INTRODUÇÃO

O manejo do fogo é visto por Ramos et al. (2016) como uma série de decisões voltadas a práticas de prevenção, constatação e controle e, através dele, manipulação da paisagem de acordo o objetivo distinto. Por isso, fogo é um importante agente modificador da paisagem, muitas vezes necessário em processos ecológicos, porém, em grande parte dos casos, ele foge do controle e promove imensuráveis prejuízos aos ecossistemas terrestres.

Todos os anos, os incêndios extinguem florestas em todo o mundo. Somente no Brasil, nos anos de 2005 a 2016, foram registrados, ao todo, 4,31 milhões de focos de calor, queimando-se uma área de 5,58 milhões de km², onde os biomas Cerrado, Amazônia e Caatinga, respectivamente, representaram 91,2% de toda área queimada no País (INPE, 2017).

Além da inexistência de conhecimentos sobre a Caatinga, que já é devastada pelo avanço agropecuário e extração de lenha para energia, os incêndios florestais vão se tornando mais intensos a cada ano nesse bioma pouco estudado, complexo e frágil, o que pode provocar irreversíveis danos de degradação (SANTANA; SOUTO, 2006; SANTANA et al., 2011). Então, é de suma importância a criação de estratégias de monitoramento para que se possa acompanhar e posteriormente remediar o avanço do surgimento de incêndios florestais, preservando assim um bioma tão rico.

Nesse sentido, o sensoriamento remoto se mostra como uma valiosa ferramenta na prevenção constante, por permitir interpretar os fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, através do espectro de cada alvo, detectando e localizando focos de calor em tempo real, isso é possível pelos investimentos que o Brasil faz em tecnologia, que facilitam o monitoramento dos focos de calor em tempo recorde, auxiliando muito no combate aos incêndios florestais (GRANEMANN; CARNEIRO, 2009; CARDOSO et al., 2013).

Desde 1980, o INPE vem aperfeiçoando a detecção das queimadas por meio de sensores instalados em satélites, captando focos de calor, que são pontos constatados na superfície terrestre que emitem temperaturas superiores a 47 °C, em uma área de ao menos 900 m² (GONTIJO et al., 2011; RODRIGUES et al., 2014). Atualmente o INPE utiliza diversos satélites que possuem sensores ópticos, gerando imagens a cada hora, que são processadas para a detecção de focos de calor, entretanto, para compor o banco de dados e formar uma série temporal que permite a comparação das incidências ao longo dos anos, são empregados satélites de referência, sendo eles o NOAA-12 (junho de 1998 a julho de 2002) e, desde então, o AQUA_M-T.

Como os focos de calor não ocorrem homoganeamente, além de identifica-los, é necessário também conhecer os períodos em que eles mais ocorrem, considerando as características de cada região, meses do ano e períodos com alterações climáticas, como por exemplo, o El Niño, que provoca maiores períodos de estiagem e, conseqüentemente, o surgimento de queimadas mais intensas no Norte e Nordeste do Brasil (PEREIRA; SILVA, 2016).

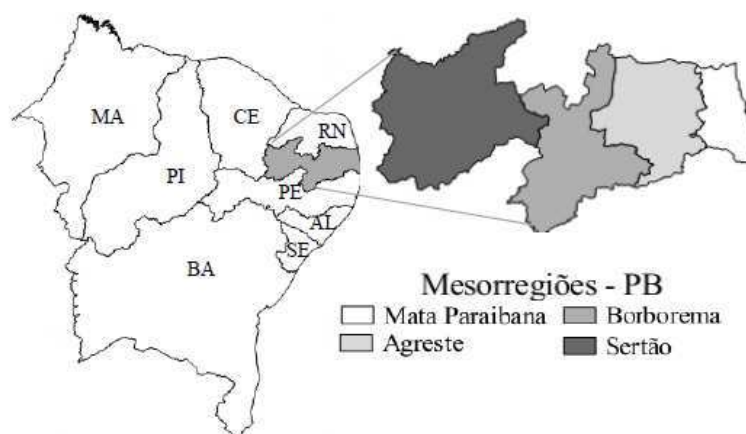
Assim sendo, este trabalho teve como objetivo interpretar as ocorrências de focos de calor registrados por satélites para o Estado da Paraíba nos últimos 15 anos, de modo a fornecer informações que irão auxiliar na prevenção e combate dos incêndios florestais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Áreas de estudo

O Estado da Paraíba se encontra dentro do Bioma Caatinga, tendo como capital o município de João Pessoa, cuja população, estimada em 2016, é de 3,99 milhões de habitantes. Como Estado ocupa uma área de 56,47 mil km² distribuídos, em 223 municípios (IBGE, 2017), localizado entre as coordenadas 6°02'12" / 8°19'18"S e 34°45'45"O (Figura 1), sendo este um dos menores Estados do Brasil, porém com grande diversidade de paisagens e mesorregiões, divididas, conforme a SUDEMA (2004), em Mata Paraibana, Agreste, Borborema e Sertão (Figura 1).

Figura 1 – Localização do Estado da Paraíba, com delimitação das mesorregiões e municípios onde foi realizado o estudo



Fonte / Soares et al. (2016)

2.2 Obtenção e análise dos dados

Para realização do presente estudo, foram obtidos dados referentes aos focos de calor ocorrentes no Estado da Paraíba em uma série temporal de 15 anos (2000 a 2015), sendo registrados pelos satélites do INPE. Foram selecionados seis municípios distribuídos em todas as mesorregiões e que possuem estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que acompanha, armazena e disponibiliza dados meteorológicos diariamente (Tabela 1).

Tabela 1 - Focos de calor detectados pelos satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em um período de 15 anos, em seis municípios da Paraíba.

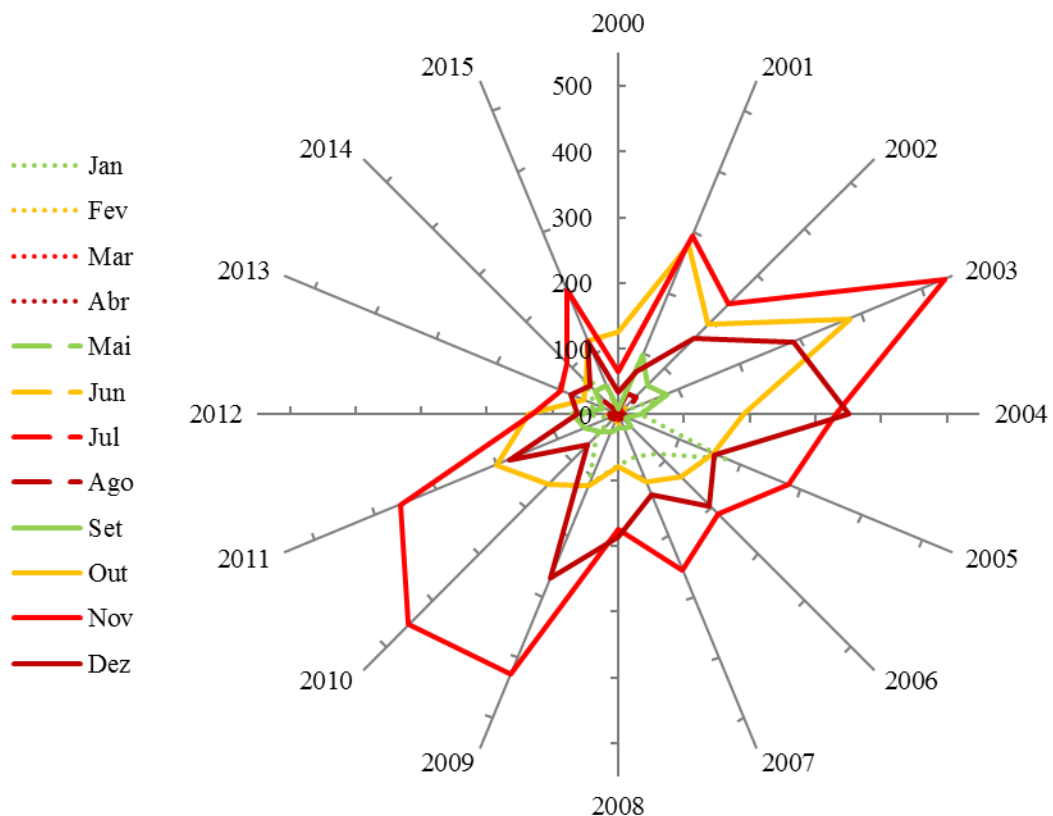
Ano	Mesorregiões					
	Mata	Agreste		Borborema	Sertão	
	João Pessoa	Areia	Campina Grande	Monteiro	Cajazeiras	Patos
2000	0	0	0	26	22	4
2001	1	1	5	21	56	4
2002	3	1	4	38	214	6
2003	3	0	10	117	441	42
2004	1	3	22	98	298	10
2005	2	5	6	84	175	9
2006	8	4	5	77	299	17
2007	0	0	5	57	78	12
2008	6	1	1	85	180	1
2009	6	5	0	64	124	15
2010	0	3	0	58	73	7
2011	2	0	0	121	56	4
2012	5	2	7	53	76	71
2013	4	3	2	56	35	20
2014	2	1	0	44	47	1
2015	8	9	9	51	79	21
Total	51	38	76	1.050	2.253	244

Com base nisso, foi possível separar a ocorrência dos focos de calor pelos meses do ano, o que possibilitou visualizar a frequência dos mesmos nas diferentes localidades. Os dados relativos à pesquisa foram avaliados por meio do editor de planilhas Excel. Em seguida, foram calculadas as médias e elaborados gráficos de focos de calor nas mesorregiões.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos possibilitaram averiguar que, em 15 anos, registraram-se 11.307 focos de calor na Paraíba, com maior frequência entre setembro e dezembro (80,4%), havendo anos com maior número de focos, especificamente em 2003, 2004 e 2009 (Figura 2).

Figura 2 – Focos de calor no Estado da Paraíba (eixo primário) detectados pelos satélites referência do INPE, entre os anos de 2000 a 2015



Como esses valores foram provenientes apenas do banco de dados dos satélites de referência, eles não expressam com exatidão a real quantidade dos focos ocorridos, pois só detectam os focos maiores. Contudo, esses dados servem para se ter uma ideia do cenário no Estado, onde anos com maiores incidências de focos de calor florestais podem estar ligadas às condições meteorológicas, com anos chuvosos seguidos de grandes estiagens.

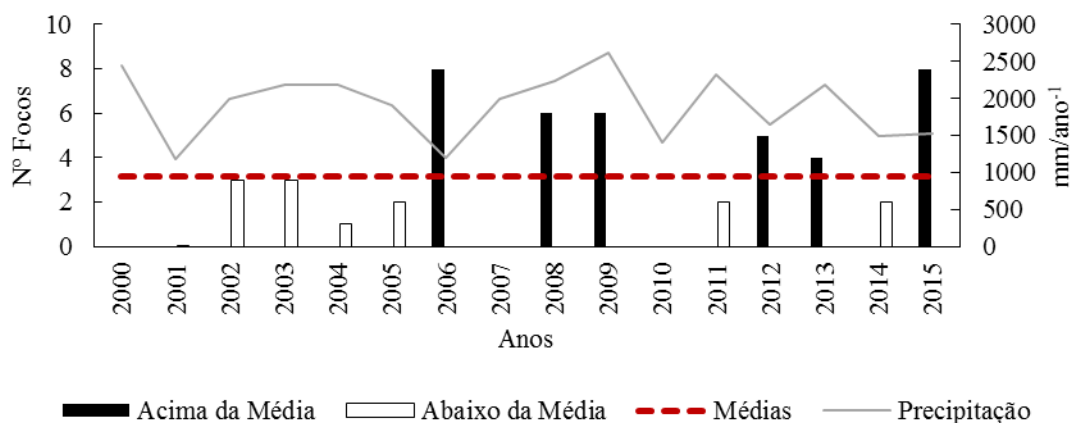
Quantidades elevadas de chuvas aumentam a produção de biomassa vegetal, que, ao ser depositada no solo, seca e constitui material combustível para o fogo. Tetto et al. (2012), ao realizarem trabalho semelhante na Fazenda Monte Alegre, no Sul do Brasil, observaram maior ocorrência em um período de 10 anos, em que os focos de calor foram mais frequentes, e atribuíram o fato à ação antrópica, com ocupação de terras e o manejo das mesmas.

Soares et al. (2006), ao avaliarem a evolução dos incêndios florestais em áreas protegidas do Brasil, constataram que a temporada de incêndios foi mais intensa entre junho e novembro, com picos em agosto e setembro, sendo as florestas plantadas de eucalipto as mais afetadas pelo fogo, seguidos pelas formações naturais. Porém, esse período de maior ocorrência de incêndios, destacada pelos autores, diverge do observado para o Estado da Paraíba no presente estudo.

Ao se analisarem os municípios individualmente, separando-os nas respectivas mesorregiões, onde foram utilizados os dados de focos de calor de todos os satélites disponíveis nos arquivos do INPE, foi possível escolher as informações dos satélites de referência, que são dados mais completos. Assim, foi registrado um total de 3.712 focos de calor (Tabela 1).

No município de João Pessoa, registrou-se uma média anual de 3,18 focos de calor, com a maior ocorrência de oito focos nos anos de 2006 e 2015, o que equivale a 31,2% dos registros (Figura 3), totalizando 51 focos de calor em 15 anos (Tabela 1). Como se trata de um município litorâneo, as chuvas que ocorrem com frequência e a umidade constante, vinda do oceano, podem ser fatores que impossibilitam as condições propícias para ocorrência e propagação do fogo.

Figura 3 – Focos de calor em João Pessoa-PB, mesorregião Mata Paraibana, detectados pelos satélites do INPE, entre os anos de 2000 a 2015

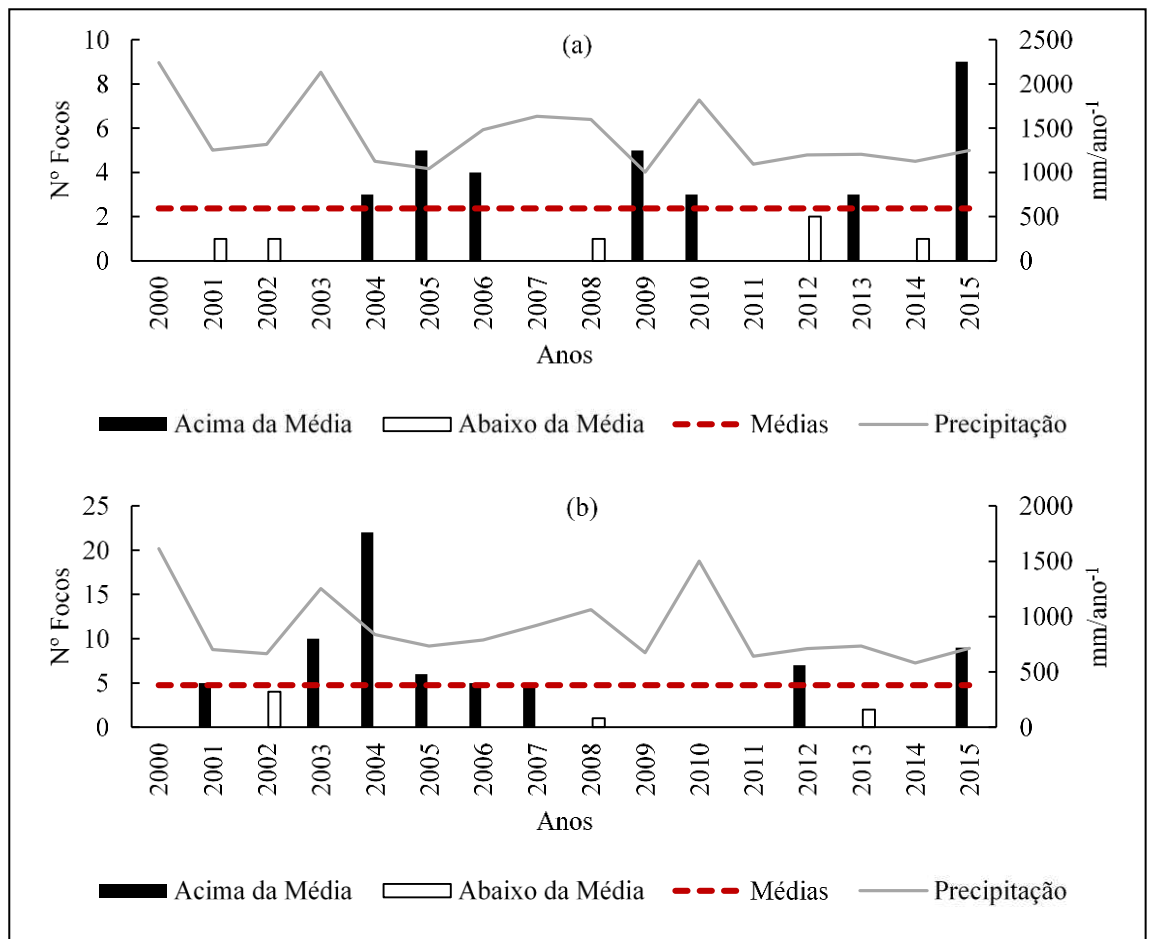


Os focos de calor registrados estariam ligados às atividades agrícolas, em que, no manejo da cana-de-açúcar, ainda é usada a prática primitiva da queima da palha para facilitar o corte na colheita. Analisando-se a distribuição temporal dos incêndios, foi observada a relação com os meses de safra da cana-de-açúcar e redução na entressafra, prejudicando principalmente

os ecossistemas da Mata Atlântica e os mangues (MACHADO; SILVA, 2009; PEREIRA; SILVA, 2016).

Nos municípios localizados na mesorregião do Agreste Paraibano, foram registrados 114 focos de calor (Tabela 1), com uma média, entre os quinze anos avaliados, de 2,37 e 4,75 focos registrados em Areia e Campina Grande (Figura 4), respectivamente. Foi possível observar que, apesar das divergências, nos dois municípios, nos anos de 2004, 2005, 2006 e 2015, os focos de calor foram acima da média para os municípios. Os resultados indicam que as características climáticas de cada mesorregião têm influência sobre os focos de calor.

Figura 4 – Focos de calor nos municípios de Areia (a) e Campina Grande (b), mesorregião Agreste, detectados pelos satélites do INPE, entre os anos de 2000 a 2015



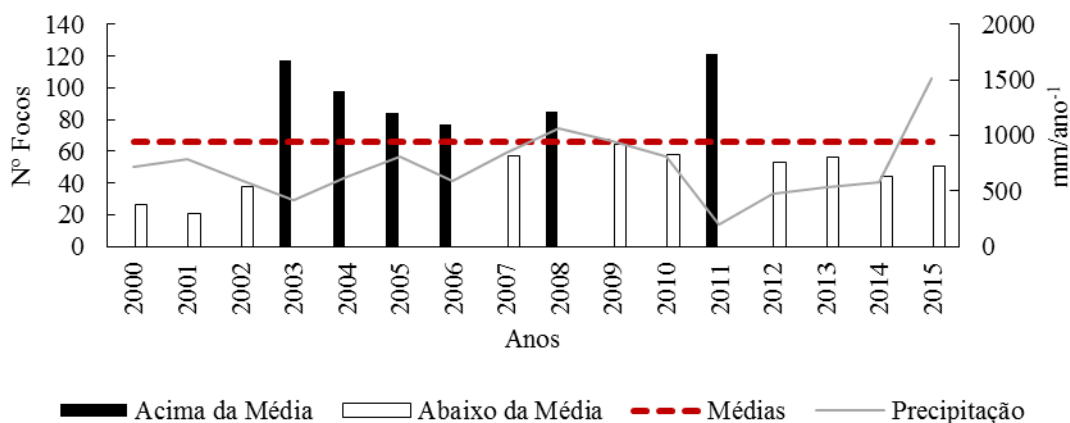
A discordância entre os municípios é motivada pelas características de relevo e clima inerentes a cada uma, sendo que o município de Areia (5a), por exemplo, encontra inserido em brejo de altitude, o que propicia temperaturas mais amenas, maior umidade e maiores índices pluviométricos. Já no município de Campina Grande (5b), os índices pluviométricos são

menores e as chuvas mais irregulares do que em Areia, o que a deixa mais vulnerável à incidência de focos de calor.

Conforme Santos et al. (2015), essa mesorregião é intensamente individualizada, no ao que se refere à heterogeneidade ambiental, tanto quanto ao espaço temporal e, principalmente, aos parâmetros meteorológicos. Ainda de acordo os autores supracitados, as condições ambientais, associadas à transição entre o litoral e o sertão do Estado, favorecem a presença de uma vegetação altamente diversificada, como, por exemplo, Campina Grande, que, por se localizar próxima à mesorregião da Borborema, possui uma Caatinga hiperxerófila.

Dentre os municípios estudados, Monteiro foi o que apresentou o segundo maior número de focos de calor em 15 anos, com 28,28% dos registros, com a média de 65,62 focos por ano (Figura 5). Observou-se também que, nos anos de 2003 e 2004, Monteiro acompanhou a tendência da Paraíba nos anos de maiores incidências de focos de calor (Figura 2); em contrapartida, 2011 foi o ano com maior registro de focos de calor (121), divergindo dos resultados para o Estado.

Figura 5 – Focos de calor em Monteiro, mesorregião da Borborema, detectados pelos satélites do INPE, entre os anos de 2000 a 2015

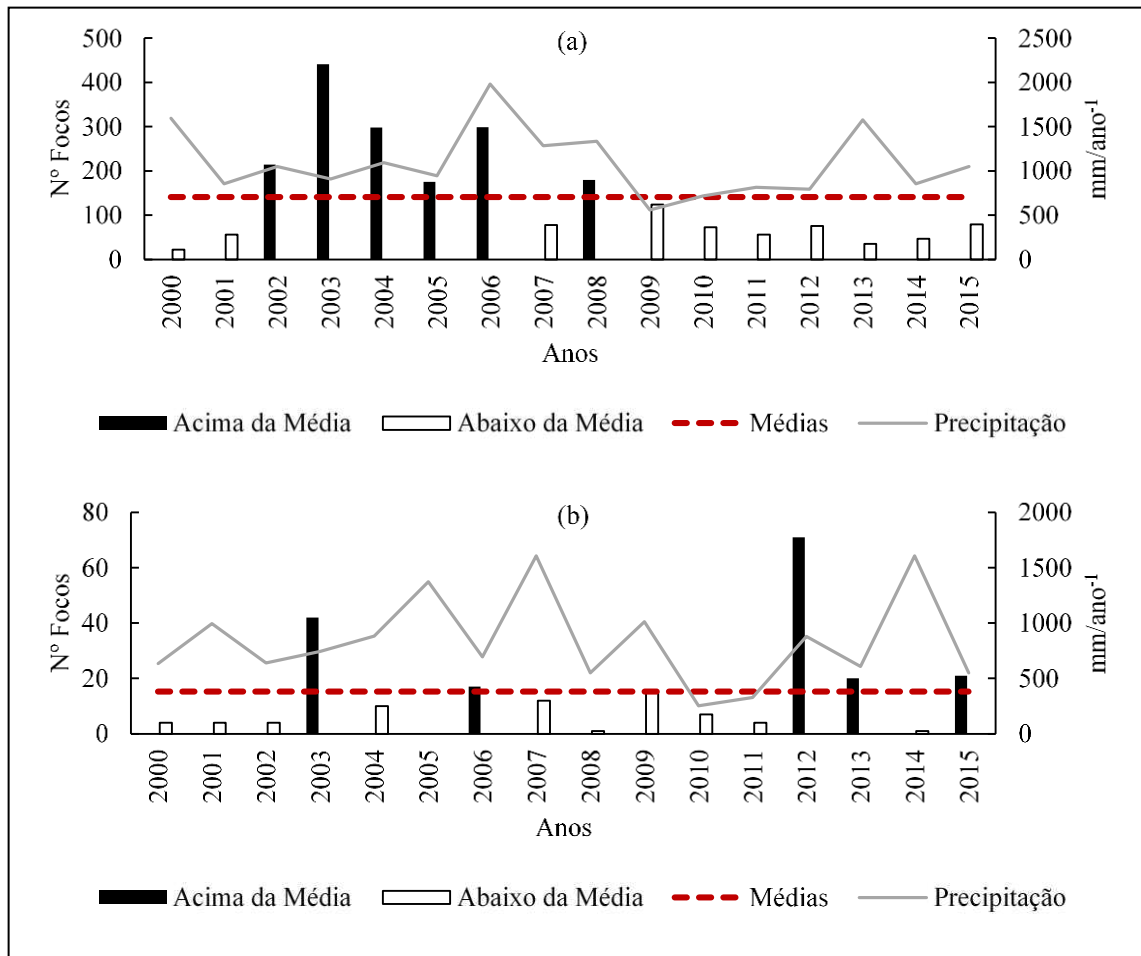


O município de Monteiro está situado na mesorregião da Borborema, região caracterizada por baixa precipitação pluviométrica e de um longo período de estiagem. Segundo Pereira e Silva (2016), essas condições meteorológicas são ideais para o princípio de incêndios, provocados, principalmente, pela pecuária de pequeno porte e agricultura de subsistência, práticas muito comuns nessa mesorregião, que empregam o fogo em seu manejo anualmente, quase sempre sem controle.

Na mesorregião do Sertão, foram analisados os municípios de Cajazeiras e Patos (Figura 6), sendo registrados, nos 15 anos, em Cajazeiras, (6a) 2.253 focos de calor, representando

60,70% do total (Tabela 1). Com uma média de 140,81 focos de calor por ano, Cajazeiras teve um período consecutivo, entre 2002 a 2006, de focos de calor acima da média, atingindo o maior valor em 2003 (441 focos). Já no período entre 2009 a 2015, foram identificados focos de calor abaixo da média, indicando que, provavelmente, houve algum evento de natureza antrópica ou natural que provocou esse comportamento.

Figura 6 – Focos de calor nos municípios de Cajazeiras (a) e Patos (b), mesorregião Sertão paraibano, detectados pelos satélites do INPE, entre os anos de 2000 a 2015



Por fim, no município de Patos (6b), foram detectados 244 focos de calor (Tabela 1), com média de 16,20 focos por ano. Este município, apesar do alto número focos de calor teve apenas cinco anos de registros acima da média (Figura 6), com destaque para o ano de 2012.

O Sertão Paraibano foi a mesorregião com o maior número de focos de calor, totalizando 2.487 entre os anos de 2000 a 2015, correspondendo 67,28% do total. Os dados indicam que essa mesorregião é vulnerável ao fogo e que necessita, com urgência, de estratégias de modo a amenizar essa realidade, sejam elas programas de conscientização do homem do campo,

práticas preventivas ou capacitação de pessoal para combate eficiente nos períodos críticos. Pereira e Silva (2016), ao estudaram os focos de calor em todos os municípios da Paraíba, no ano de 2014, concluíram que, no Sertão, houve 33,7% dos focos dentre as quatro mesorregiões, provavelmente ligados às características do semiárido.

4 CONCLUSÕES

Os dados detectados pelos satélites permitem observar a incidência dos focos de calor nos seis municípios selecionados para o estudo.

A ocorrência dos focos de calor não é um fenômeno regular na Paraíba, variando entre os anos, mesorregiões e municípios.

A mesorregião Sertão Paraibano é a que registra o maior número de focos de calor no Estado da Paraíba.

É necessária a implantação de programas de sensibilização por meio das autoridades locais que levem ao cidadão das zonas rural e urbana informações sobre a importância do adequado manejo do fogo, de modo a reduzir os focos dos incêndios florestais na região.

Há escassez de estudos na literatura sobre o tema no Brasil e sugere-se a realização de outros estudos, levando em consideração as particularidades de cada município, de modo a obter resultados mais precisos.

REFERÊNCIAS

- CARDOSO, V. C.; SOUZA, S. A.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G. Focos de calor na região Centro-Oeste no período de 2006 até 2012. **IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Salvador/BA. 2013.
- GONTIJO, G. A. B.; PEREIRA, A. A.; OLIVEIRA, E. D. S. DE; JÚNIOR, F. W. A. **Deteção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p. 7966.
- GRANEMANN, D. C.; CARNEIRO, G. L. Monitoramento de focos de incêndios e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 1, n. 1, p. 55-62, 2009.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estados. Disponível em: <[Http://www.ibge.gov.br/Estadosat/perfil.php?sigla=pb](http://www.ibge.gov.br/Estadosat/perfil.php?sigla=pb)>. Acesso em: 10 fev 2017.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Programa Queimadas**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/>>. Acesso em: 03 jan. 2017.
- MACHADO, M. R. I. M.; SILVA, J. J. P. da. A Mesorregião da Mata Pernambucana e os Impactos Socioambientais Gerados em Função do Monocultivo da Cana-de-açúcar. In: X Encontro Regional de Estudos Geográficos, 2009, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: 2009.
- PEREIRA, J. A. V.; SILVA, J. B. Deteção de focos de calor no Estado da Paraíba: Um estudo sobre as queimadas. **Revista Geografia Acadêmica**, Boa Vista, v. 10, n. 1, p. 5-16, 2016.
- RAMOS, R. M.; FONSECA, R. L.; MORELLO, T. F. Unidades de conservação e proteção contra incêndios florestais: Relação entre foco de calor e ações articuladas pelas brigadas contratadas. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, v. 6, n. 2, p. 135-148, 2016.
- RODRIGUES, N. S.; SILVA, L. C. M.; OLIVEIRA, A. F.; PINILLOS, A. C. M. SOUZA, C. A. Análise da distribuição espaço-temporal e quantificação de focos de calor, na área fisiogeográfica do Pantanal Mato-Grossense. **Enciclopédia Biosfera**, Curitiba, v. 10, n. 19, p. 2951-2964, 2014.
- SANTANA, J. A. S.; ARAUJO, I. M. M.; SENA, C. M.; PIMETA, A. S.; FONSECA, F. C. E. Determinação dos períodos críticos de ocorrência de incêndios florestais na Estação Ecológica do Seridó, Serra Negra do Norte-RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 43-47, 2011.
- SANTANA, J. A. S.; SOUTO, J. S. Diversidade e estrutura fitossociológica da Caatinga na Estação Ecológica do Seridó-RN. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 232-242, 2006.

SANTOS, W. S.; SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; MENDONÇA, I. F. C.; SOUTO, L. S.; MARACAJÁ, P. B. Estimativa dos riscos de ocorrência de incêndios florestais no Parque Estadual Pico do Jabre, na Paraíba. **Agropecuária Científica do Semiárido**, Patos, v. 11, n. 1, p. 80-84, 2015.

SOARES, A. S. D.; PAZ, A. R.; PICCILLI, D. G. A. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 288-299.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; SANTOS, J. F. Evolution of forest fire statistics in brazilian protected lands in the last 20 years. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOREST FIRE RESEARCH, 5, 2006, Portugal. **Anais...** Portugal, 2016.

SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE (SUDEMA). **Atualização do diagnóstico florestal do Estado da Paraíba**. João Pessoa: SUDEMA, 2004. 268p.

TETTO, A. F.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Ocorrência de incêndios florestais no Estado do Paraná, no período de 2005 a 2010. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 391-398, 2012.