



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**TENDÊNCIAS DOS FOCOS DE CALOR OBTIDOS POR SATÉLITES
METEOROLÓGICOS E A SUA RELAÇÃO COM O USO E OCUPAÇÃO DO
SOLO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

RODRIGO HOTTZ CAÚLA

**Sob a orientação do Professor Doutor
JOSÉ FRANCISCO DE OLIVEIRA JÚNIOR**

Seropédica, Rio de Janeiro
Novembro – 2014



RODRIGO HOTTZ CAÚLA

**TENDÊNCIAS DOS FOCOS DE CALOR OBTIDOS POR SATÉLITES
METEOROLÓGICOS E A SUA RELAÇÃO COM O USO E OCUPAÇÃO DO
SOLO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

**Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Florestal, como requisito
parcial para obtenção do Título de
Engenheiro Florestal, Instituto de
Florestas da Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro.**

Sob a orientação do Professor Doutor

JOSÉ FRANCISCO DE OLIVEIRA JÚNIOR

Seropédica, Rio de Janeiro
Novembro – 2014



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL D RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**TENDÊNCIAS DOS FOCOS DE CALOR OBTIDOS POR SATÉLITES
METEOROLÓGICOS E A SUA RELAÇÃO COM O USO E OCUPAÇÃO DO
SOLO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Monografia aprovada em 20 de novembro de 2014

Banca examinadora:

Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior
UFRRJ/IF/DCA
Orientador

Prof. Dr. Rafael Coll Delgado
UFRRJ/IF/DCA
Membro

Prof. Dr. Luiz Cláudio Gomes Pimentel
IGEO/UFRRJ
Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a esta energia vital que, apesar de diversos nomes, sempre nos guia e nos ajuda nos caminhos mais sinuosos desta vida, dando-nos força para aprender e nos tornando mais fortes e determinados.

Agradeço, imensamente, à minha mãe por seu amor incondicional e luta para que esse momento pudesse ser realizado. Suas “brincas”, com certeza, me ajudaram a chegar até aqui. Também sou extremamente grato por ela sempre ter acreditado em mim e ter influenciado o meu hábito de leitura. Ao meu pai, cujo trabalho e inteligência sempre me surpreenderam, agradeço por sua batalha e sacrifício em me ajudar a concluir a graduação. À minha querida avó Zaly, um símbolo de amor à família e também de superação, obrigado por fazer parte desta jornada.

Agradeço do fundo do meu coração aos meus tios, tias e primas por seu amor e carinho. À minha tia Cláudia que me incentiva a trilhar o meu próprio caminho e que se preocupa no meu aperfeiçoamento profissional.

À minha querida, especial e amada Chris, que me proporciona momentos de felicidade extrema, além do seu amor, carinho e companheirismo interminável. Sempre estive perto nos momentos mais tortuosos deste caminho e com conselhos para me recompor e me incentivando a seguir em frente sempre que necessário. Saiba que é uma parte gigantesca neste sucesso.

À Família Trevas Futebol Clube, obrigado pela amizade e companheirismo, que me fizeram crescer pessoal e profissionalmente. Em especial, à Angelo Masullo, por ser um bom “freguês” no PES e por sua amizade plena e verdadeira. Ao meu amigo Daniel Hainfellner, que vivenciou praticamente toda a minha graduação, me dando suporte e amizade em todos os momentos. Aos meus amigos João Paulo e Pedro Planeta por serem amigos que sempre poderei contar. Às minhas amigas Maiza Benace e Rebeca Monteiro pelo carinho e amizade.

Aos meus amigos de graduação, Latino e Flávio, que sempre me ajudaram quando precisei.

Uma salva especialíssima às minhas amigas Tamíres Partelli e Renata Sistons que me ajudaram a ver o mundo de outro jeito e contribuíram demais à minha formação pessoal e profissional, graças ao seu companheirismo e cumplicidade.

Aos queridos funcionários do IF, Greycon e Lili, que sempre estão dispostos a ajudar os discentes.

Um muitíssimo obrigado aos meus mestres e orientadores, não só da graduação, mas de vida. Ao meu orientador, que fez esse trabalho ser possível, obrigado por ter acreditado em mim, pela paciência, pelas palavras de saber, amizade e ideias sempre inovadoras. Ao professor Ednaldo Oliveira, pelas oportunidades de trabalho e companheirismo. Ao professor Gustavo Lyra, pelas palavras sábias e amizade. Ao professor Rafael Coll Delgado, cujo TRABALHO sempre me motivou a querer mais e produzir mais. Ao professor Paulo Leles, que sempre se preocupou com as aulas práticas dos futuros engenheiros florestais, pela cumplicidade e pelo ensino sempre pontual e didático.

Ao Doutorando Givanildo “Giva” de Gois, pelas certeiras explicações estatísticas, pela paciência, ensino, e divulgação das notícias UOL.

E aos professores que sempre se preocuparam com o ensinamento aos discentes, tendo como frutos a melhoria da didática e o comprometimento da presença em sala de aula.

Em especial, *in memoriam*, às minhas amadas, Tia Zilda e avó Ruth pelo amor absoluto e verdadeiro.

Além dos professores, outra parte fundamental do aprendizado são os livros. Não só didáticos e técnicos, mas também os de cunho pessoal. Assim, posso citar dois que sem dúvida foram muito importantes para a minha vida, “Meu 1º Golpe de Estado”, de John Dramani Mahama, que me fez crer que podemos ser o diferencial no mundo e, mesmo que não saibamos do nosso caminho, há sempre algo de bom reservado; e “Primavera Silenciosa”, de Rachel Carson, que me fez perceber que como o mundo está interligado em uma cadeia de relacionamento, cada pequena mudança causa grandes transformações.

“Não se contente em trilhar um caminho pré-estabelecido. Ao contrário, vá por onde não há caminho algum e deixe seu rastro.”

Johnie Walker

“Não adianta olhar pro céu com muita fé e pouca luta (...)

(...) Muda, que quando a gente muda o mundo muda com a gente.

A gente muda o mundo na mudança da mente.

E quando a mente muda a gente anda pra frente.

E quando a gente manda ninguém manda na gente.

Na mudança de atitude não há mal que não se mude nem doença sem cura.

Na mudança de postura a gente fica mais seguro, na mudança do presente a gente molda o futuro!”

Gabriel, O Pensador, Itaal Shur e Tiago Mocotó

RESUMO

Foram avaliadas a distribuição, percentual e os grupos homogêneos por meses e por anos dos focos de calor ocorridos no Estado do Rio de Janeiro, incluindo o número de focos por regiões do Governo e suas variações sazonais e mensais, com ênfase na avaliação das suas tendências por testes estatísticos e análise multivariada e no uso e ocupação do solo. A série de focos de calor foi obtida dos satélites meteorológicos da base de dados do BDQueimadas (www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo composta pela série de 2000 a 2012 e os anos de 2001 e 2013. Mapas e tabelas foram construídos para melhorar e simplificar a análise e avaliação dos resultados. Os mapas representam as diferentes classes temáticas do uso e ocupação do solo via produto MCD12Q1, derivado do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). Para a avaliação das tendências de crescimento e decaimento dos focos de calor usou-se os testes não paramétricos (Mann-Kendall e Pettitt), seguido da Análise de Agrupamento (Método de Ward) na identificação dos grupos homogêneos e aplicação da distribuição de Weibull na série temporal. Os satélites meteorológicos com melhor desempenho foram AQUA-MT, TERRA-MT e NOAA-12. A distribuição de Weibull representa as principais categorias máximas, cujos valores da distribuição cumulativa de focos de calor anuais no Estado do Rio de Janeiro foram da ordem de 72% na 1ª classe (municípios com até 346 focos), seguido de 15% na 2ª classe (municípios com 346 a 690 focos), 4% na 3ª classe (municípios com 690 a 1034 focos). O teste de Mann-Kendall se mostrou significativo para o ano de 2001, com tendências de 0,1940 e 0,0750 (Mann-Kendall) de crescimento dos focos para os anos de 2001 e 2013, seguido do aumento no valor de 0,0455 e 0,0182 por ano, respectivamente. O teste de Pettitt mostrou que para o ano de 2001 praticamente 70% dos municípios esteve acima do limite crítico, o que não ocorreu para o ano de 2013. O município que apresenta o maior percentual de focos de calor é Campos dos Goytacazes em comparação aos demais. A classe pastagem via produto MCD12Q1, foi a que teve maiores focos de calor com 354 focos (56,64%) para o ano de 2001 e 564 focos (42,28%) para o ano de 2013, sendo a maior quantidade na região Norte do estado. Recomenda-se a análise de mais anos para corroborar os resultados obtidos.

Palavras-chaves: sensoriamento remoto, produto MCD12Q1, incêndios, queimadas, ferramentas estatísticas, ações antrópicas.

ABSTRACT

This study evaluated the total distribution, percentage distribution, and the homogeneous regions by month and years of heat foci in the State of Rio de Janeiro in the years of 2001 and 2013, including the number of foci per government regions and their seasonal and monthly variations, emphasizing the evaluation of their tendencies through statistical methods. The data on focus fires was obtained from the meteorological satellites of the BDQueimadas (www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas), developed by the National Institute of Spatial Research (INPE). This data was composed of focus fires from 2000 to 2012 and the years 2001 and 2013. Maps and tables were developed to improve and simplify the analysis and evaluation of results. The maps represent the different thematic classes' uses and occupation by the MCD12Q1 product, derived from the sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). To evaluate growth trends and decay of heat sources, the nonparametric tests (Mann-Kendall and Pettitt) were utilized, followed by Cluster Analysis (Ward method) to identify homogeneous groups and application of the Weibull distribution in time series. The weather satellites with the best performance were AQUA-MT, MT-EARTH and NOAA-12. The Weibull distribution is the main maximal categories, the values of the annual cumulative distribution hotspots in the state of Rio de Janeiro were the order of 72% in the first class (municipalities with up to 346 outbreaks), followed by 15% in the second class (municipalities with 346-690 foci), 4% in the third class (municipalities 690-1034 foci). The Mann-Kendall test was significant for the year 2001, with trends of 0,1940 and 0,0750 (Mann-Kendall) outbreaks of growth for the years 2001 and 2013 with increased 0,0455 e 0,0182 per year, respectively. The Pettitt test showed that for the year 2001, almost 70% of the studied municipalities were above the critical threshold, which has not occurred for the year 2013. Compared to others, the city with the highest percentage of hotspots was Campos dos Goytacazes. The Pasturage class via MCD12Q1 product had the biggest number of heat foci with 354 foci (56,64%) in 2001 e 564 foci (42,28%) in 2013, and the largest amount in the North of the state. It is recommended the analysis of more years to corroborate the results obtained.

Keywords: remote sensing, product MCD12Q1, burned, fires, statistical methods, human actions.

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO	1
2.0	OBJETIVOS	3
2.1	Geral	3
2.2	Específicos	3
3.0	REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1	Classificação dos Usos e Coberturas do Solo do Estado do Rio de Janeiro	4
3.1.1	Agricultura	4
3.1.2	Pastagem	5
3.1.3	Floresta	5
3.1.4	Área Urbana	6
3.2	Produto MCD12Q1	6
3.3	Sensoriamento Remoto	6
3.4	Ferramentas Estatísticas Aplicadas em Dados de Focos de Calor	10
4.0	MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1	Características e Localização da Área de Estudo	10
4.2	Série Temporal dos Dados de Focos de Calor	10
4.3	Uso e Ocupação do solo	11
4.4	Satélites e seus Sensores	12
4.5	Análise Estatística dos Focos de Calor	15
4.6	Teste Man-Kendall e Pettit	15
5.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5.1	Estatística Descritiva dos Focos de Calor	17
5.2	Teste Man-Kendall e Pettit na Série Temporal dos Focos de Calor	25
5.3	Distribuição de Weibull Aplicado na Série Temporal dos Focos de Calor	37
5.4	Análise de Agrupamento na Série Temporal dos Focos de Calor	38
5.5	Relação entre Uso e Ocupação do Solo versus dos Focos de Calor	40
6.0	CONCLUSÕES	42

7.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
8.0	ANEXOS	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área total (ha) produzida pela lavoura permanente no Estado do Rio de Janeiro nos anos 2008-2012.	4
Figura 2. Área total (ha) produzida pela lavoura temporária no Estado do Rio de Janeiro nos anos 2008-2012.	5
Figura 3. Estado do Rio de Janeiro subdividido em suas oito regiões do governo.	10
Figura 4. Fluxograma com as etapas de obtenção do número de focos de calor com o uso e cobertura do solo e a confecção dos mapas.....	12
Figura 5. Distribuição total anual e percentual (%) de focos de incêndios (a) e densidade de focos de calor por unidade de área (km ²) (b) no período de 2000-2012.	18
Figura 6. Totais dos focos de incêndios e percentual (%) das regiões do Governo ((a) Norte, (b) Noroeste, (c) Serrana e (d) Centro-Sul) do estado do Rio de Janeiro no período de 2001 e 2013.	20
Figura 7. Totais dos focos de incêndios e percentual (%) das regiões do Governo ((a) Baixadas, (b) Metropolitana, (c) Médio Paraíba e (d) Costa Verde) do estado do Rio de Janeiro no período de 2001 e 2013.....	23
Figura 8. Comparação do número de focos de calor por municípios do Estado do Rio de Janeiro pelo teste de Pettitt a nível de significância α de 5% nos anos 2001 (a) e 2013 (b)	26
Figura 9. Comparação do número de focos de calor <i>versus</i> Municípios por Regiões do Governo ((a) Norte, (b) Noroeste, (c) Serrana, (d) Centro-Sul, (e) Baixadas, (f) Metropolitana, (g) Médio Paraíba e (h) Costa Verde) do Estado do Rio de Janeiro pelo teste de Pettitt a nível de significância α de 5% no ano 2001.....	33
Figura 10. Comparação do número de focos de calor <i>versus</i> municípios por Regiões do Governo ((a) Norte, (b) Noroeste, (c) Serrana, (d) Centro-Sul, (e) Baixadas, (f) Metropolitana, (g) Médio Paraíba e (h) Costa Verde) do Estado do Rio de Janeiro pelo teste de Pettitt a nível de significância α de 5% no ano 2013.....	34
Figura 11. Função de densidade de probabilidade das frequências dos focos de incêndios do Rio de Janeiro no período de 2000-2012.	38
Figura 12. Grupos homogêneos de focos de calor mensal (a) e anual (b) no estado do Rio de Janeiro no período de 2001 e 2012.	39

Figura 13. Distribuição espacial dos focos de calor <i>versus</i> as classes de uso e cobertura da terra para o ano de 2001.....	40
Figura 14. Distribuição espacial dos focos de calor <i>versus</i> as classes de uso e cobertura da terra para o ano de 2013.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes temáticas de Cobertura da terra identificadas no produto V005 MODIS.	9
Tabela 2. Características dos Satélites e Período de Observação.....	14
Tabela 3. Medidas Estatísticas para os dados de Focos no Estado do RJ nos anos 2001 e 2013.	27
Tabela 4. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Regiões do Governo Norte Fluminense nos anos 2001 e 2013.....	28
Tabela 5. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Regiões do Governo Noroeste Fluminense nos anos 2001 e 2013.....	28
Tabela 6. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Regiões do Governo Serrana nos anos 2001 e 2013.	28
Tabela 7. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Regiões do Governo Baixadas Litorâneas nos anos 2001 e 2013.....	29
Tabela 8. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Regiões do Governo Médio Paraíba nos anos 2001 e 2013.	29
Tabela 9. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Regiões do Governo Metropolitana nos anos 2001 e 2013.....	29
Tabela 10. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Regiões do Governo Centro – Sul Fluminense nos anos 2001 e 2013.....	30
Tabela 11. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Costa Verde nos anos 2001 e 2013.	30
Tabela 12. Número, classe, quantidade e percentual de focos de calor versus o uso e ocupação do solo no ano de 2001.....	40
Tabela 13. Número, classe, quantidade e percentual de focos de calor <i>versus</i> o uso e ocupação do solo para o ano de 2013.	41
Tabela 14. Identificação dos municípios para a análise do Teste de Pettitt.	49
Tabela 15. Identificação dos municípios para a análise do Teste de Pettitt.	51

1.0 INTRODUÇÃO

O aumento dos focos de incêndios florestais e queimadas no Brasil ocorrem em virtude das atividades agropastoris e de incêndios criminosos que, por sua vez, ocasiona na perda de biodiversidade, do aumento dos Gases de Efeito Estufa (GEE), além do aumento da poluição e qualidade do ar (biogênicos e material particulado), conseqüentemente, a ocorrência frequente de doenças respiratórias. A importância da detecção e monitoramento de queimadas está além do problema do desmatamento, implicando também em alterações climáticas, ecológicas e ambientais (GRANEMANN & CARNEIRO, 2009; ARMENTERAS-PASCUAL et al., 2011). Outro aspecto refere-se ao transporte do produto de combustão através da pluma de fumaça, que pode conduzir materiais potencialmente perigosos à saúde humana, sobre vasta área e atingir a população (SETZER & SISMANOGLU, 2011; SILVA DE SOUZA et al., 2012).

Nas últimas duas décadas, o Brasil implantou o sistema de monitoramento de queimadas e incêndios florestais detectados por satélites meteorológicos, e o cálculo e previsão do risco de fogo da vegetação denominado BDQueimadas (www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - (CPTEC, 2013). O sistema ajuda na prevenção e minimização dos impactos ambientais provocadas pelas queimadas e incêndios florestais, sobretudo em Áreas de Preservação Ambiental (APA) e em Unidades de Conservação (UC) existentes no país.

Incêndio florestal é um processo primário que influencia a composição da vegetação e a estrutura de qualquer local, ele também ajuda a moldar a paisagem e influencia diretamente nos ciclos biogeoquímicos. Devido à ocupação agropastoril, o desmatamento modificou sensivelmente a vegetação original do Estado do Rio de Janeiro. As florestas ocupam um décimo do território fluminense, concentrando-se principalmente nas regiões de serras existente no estado. Há grandes extensões de campos produzidos para a pecuária e, no litoral e no fundo das baías, registram-se a presença de manguezais (CASSETI, 1991). As temperaturas elevadas e o aumento da ocorrência de secas severas em muitas regiões do mundo contribuem para o aumento considerável dos incêndios nos mais diversos ecossistemas (SWETNAM & ANDERSON, 2008).

Os combustíveis florestais, que são produto da cobertura vegetal e sua dinâmica, são importantes fatores nos processos de ignição e propagação dos incêndios. O conhecimento das características básicas dos combustíveis, tanto na estimativa do risco como na previsão do comportamento dos incêndios (CHUVIESCO & CONGALTON, 1989). Portanto, a caracterização dos combustíveis florestais e a sua associação com os focos de calor podem aumentar a eficiência na detecção dos incêndios florestais, principalmente no Brasil (BATISTA, 2003).

As características da cobertura vegetal são fatores condicionantes da qualidade e confiabilidade da detecção de focos de calor por meio dos satélites meteorológicos. Geralmente, em alguns ecossistemas como, por exemplo, o cerrado, similar as existentes nas regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil, um incêndio começa e termina em poucas horas e, portanto, pode ser que sua ocorrência seja entre passagens consecutivas dos satélites e, como consequência, o incêndio não será detectado (BATISTA, 2003). A detecção de queimadas por meio dos satélites também pode ser ou não registrada, dependendo da energia térmica emitida e das condições atmosféricas ocorrentes entre a queimada e o sensor do satélite (CHUVIESCO & CONGALTON, 1989).

A aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) (como por exemplo, imagens orbitais) auxilia no diagnóstico e no monitoramento de incêndios florestais e queimadas e

podem ser usadas na identificação de fatores que influenciam as suas ocorrências. Ferramentas de SR são usadas conjuntamente com os Índices de Risco de Incêndio (IRI) para compor sistemas de monitoramento e dar suporte à decisão sobre as áreas vulneráveis (SETZER & SISMANOGLU, 2011).

Existem relações diretas entre o clima, as queimadas e os incêndios florestais, assim suas tendências e distribuição devem ser observadas e consideradas no desenvolvimento de políticas de gestão (BALLING JR. et al., 1992). No entanto, poucos são os estudos que aplicam distribuição de probabilidade e análise estatística multivariada em uma série temporal de focos de calor. O SR destaca-se como uma importante ferramenta, pois possibilita a abrangência de grandes áreas, a periodicidade das informações, a vantagem de se monitorar áreas remotas e de difícil acesso e a espacialização das informações. A distribuição Weibull é usada frequentemente na análise de confiabilidade de dados. Dependendo dos valores dos seus parâmetros, ela pode ser usada para modelar os padrões probabilísticos dos dados. Um aspecto importante da distribuição Weibull refere-se aos parâmetros de forma e de escala que interferem nas características e na confiabilidade da distribuição (MONTGOMERY & RUNGER, 2007).

Um dos sensores mais utilizados no uso e cobertura da terra é o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). As imagens MODIS são georreferenciadas e corrigidas para efeitos atmosféricos como aerossóis e nuvens e são distribuídas gratuitamente. Seus produtos são comumente utilizados para a detecção de mudanças antrópicas e naturais na cobertura do solo e fenologia da cobertura vegetal (ZAHN et al., 2002) e monitoramento da dinâmica espaço-temporal de biomas (ADAMI et al., 2008). Outras aplicações do sensor MODIS incluem a detecção de queimadas (JUSTICE et al., 2002), monitoramento da dinâmica de rios (PAVELSKY et al., 2004); e a estimativa de propriedades biofísicas da superfície terrestre (ZHANG et al., 2003).

Segundo MARCHIORO (2008), na tentativa de ordenar os diversos interesses envolvidos na utilização das terras, o Estado brasileiro vem regulamentando o uso e ocupação do solo por meio da promulgação de leis, decretos e resoluções, desde a década de 30. Mas, foi a partir da Lei do Código Florestal Brasileiro (Lei nº 4.771/1965), atual Lei nº 12.651/2012, que o Estado começou a participar ativamente da regulamentação do uso e ocupação do solo a fim de minimizar a degradação ambiental, a situação de conflito entre o sistema produtivo e a preservação ambiental. A caracterização criteriosa das atividades de uso e ocupação da terra pelo homem, relacionando-as com o potencial de produção de fontes de fogo é fator fundamental para o zoneamento de risco de incêndios (BATISTA, 2003).

Os mapeamentos de ocorrência de incêndios se apresentam como um instrumento de auxílio na análise de vetores de modificação da paisagem do Estado do Rio de Janeiro. Um dos motivadores da realização deste trabalho foi a escassez de estudos (como, por exemplo, o de FERNANDES et al., (2011) e MENEZES (2000)) sobre quantificação, mapeamento e os problemas e causas dos incêndios e queimadas no Estado do Rio de Janeiro na literatura. Baseado no exposto, o trabalho tem por objetivo avaliar a série temporal dos dados de focos de calor obtidos dos satélites meteorológicos a partir de testes não paramétricos e ferramentas estatísticas e relacionar com o uso e ocupação do solo no Estado do Rio de Janeiro.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Geral

- **ANALISAR** a tendência de focos de calor e a sua relação com o uso e ocupação do solo no Estado do Rio de Janeiro.

2.2 Específicos

- **MOSTRAR** a relação entre os focos de calor e uso e ocupação do solo no Estado do Rio de Janeiro;
- **AVALIAR** as tendências de crescimento e decaimento dos focos de calor no estado baseado em testes não paramétricos;
- **APLICAR** a técnica de análise de agrupamento e a distribuição de probabilidade de Weibull à série de focos de calor no Estado do Rio de Janeiro no período de 2000-2012.

3.0 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Classificação dos Usos e Coberturas do Solo do Estado do Rio de Janeiro

3.1.1 Agricultura

A agricultura é uma das atividades com pouca expressão no Estado do Rio de Janeiro, tanto em termos de área quanto em valor da produção, representando apenas 1% do Produto Interno Bruto (PIB) fluminense (FURTADO, 1998). O censo agropecuário de 2006 (IBGE, 2014) estima 604.005 ha de uso para esta atividade no estado, incluindo lavouras permanentes, temporárias e cultivo de flores, inclusive hidroponia e plasticultura, viveiros de mudas, estufas de plantas e casas de vegetação e forrageiras.

A baixada campista concentra quase a totalidade das áreas agrícolas no Estado do Rio de Janeiro, com o predomínio da cana-de-açúcar e, mais recentemente, com a fruticultura, devido aos incentivos e ao mercado existente para o agronegócio. A região serrana do entorno da cidade do Rio de Janeiro, principalmente nos trechos que ligam as cidades de Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo, sendo considerada como polo de produção agrícola do estado, destaca-se pelo cultivo de produtos hortigranjeiros e de fruticultura (OLIVEIRA et al., 1996).

Pelos dados do SIDRA – IBGE (2014) pode-se criar a Figura 1 e 2 com a evolução da área utilizada para a lavoura permanente e temporária:

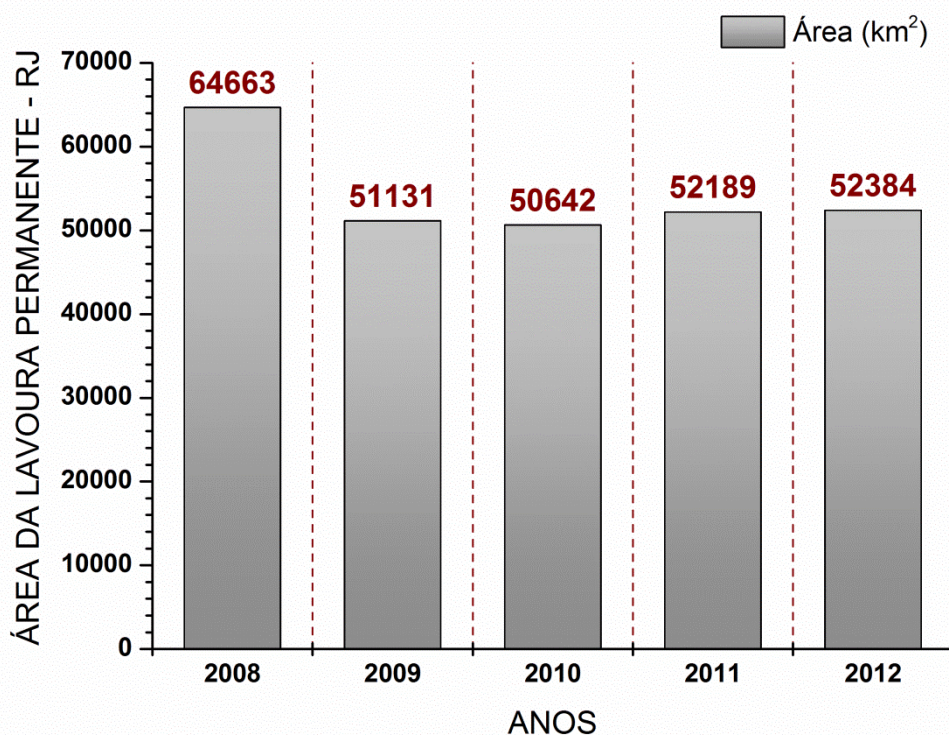


Figura 1. Área total (ha) produzida pela lavoura permanente no Estado do Rio de Janeiro nos anos 2008-2012.

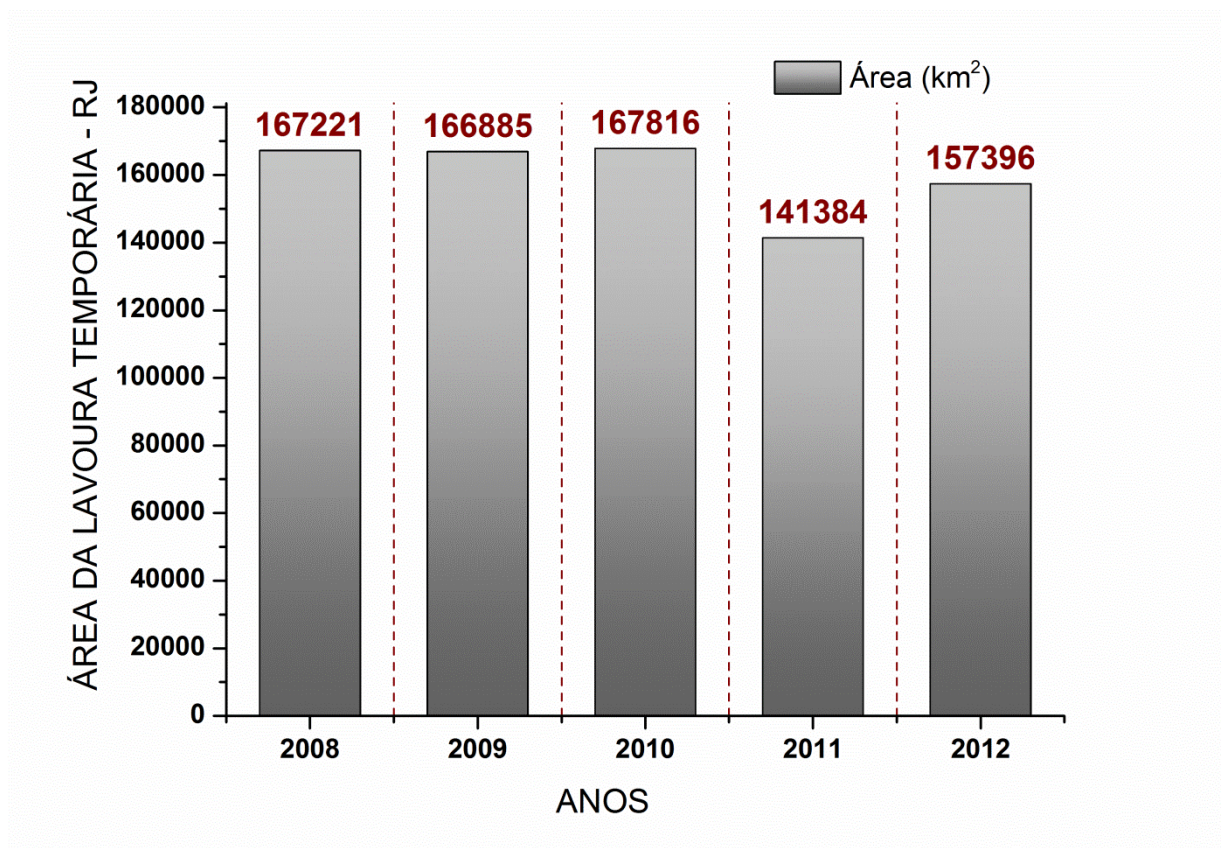


Figura 2. Área total (ha) produzida pela lavoura temporária no Estado do Rio de Janeiro nos anos 2008-2012.

3.1.2 Pastagem

De acordo com o último censo agropecuário (IBGE, 2014) realizado em 2006 pelo IBGE, a pastagem no Estado do Rio de Janeiro possui 1.605.959 ha, sendo pastagens naturais e plantadas (degradadas e em boas condições).

Este tipo de uso da terra corresponde a áreas que sofreram intervenção antrópica, transformando a vegetação natural e/ou áreas agrícolas e outras, em pastagem plantada com gramíneas (braquiária, capim colonião e outros), em geral, com algum tipo de manejo simples. Muitas vezes, ocorre também que esses pastos foram implantados em áreas inaptas que, associadas a um manejo inadequado, formam os conhecidos “pastos degradados”, muito comuns em todo o estado e, principalmente nas regiões Norte e Noroeste (SANTOS et al., 2003). Predomina a espécie braquiária (*Brachiaria* spp), quase sempre de baixa qualidade, devido a práticas inadequadas de manejo e a baixa fertilidade natural dos solos.

3.1.3 Floresta

O Estado do Rio de Janeiro se insere integralmente no bioma Mata Atlântica. De acordo com os dados da (Fundação SOS Mata Atlântica & INPE, 2011) possui apenas 19,61% dos Remanescentes Florestais totais do bioma, sendo as maiores extensões de florestas contínuas e conservadas encontradas nas regiões de Paraty, Angra dos Reis e Mangaratiba e, no interior do estado, na região Serrana, indo desde a Reserva Biológica de Tinguá, passando pelo Parque Nacional de Serra dos Órgãos, Parque Estadual dos Três Picos indo de forma

descontínua até o Parque Estadual do Desengano. As áreas mais críticas encontram-se nas regiões Norte e Noroeste do estado, com grande perda de cobertura florestal no período de 1995 a 2000, alto grau de degradação e manchas de erosão. De forma geral, a redução, degradação e a fragmentação da cobertura vegetal no estado têm como causas diversos fatores (RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA, 2003).

3.1.4 Área Urbana

Compreende áreas em que a vegetação natural foi modificada pelo homem, para fins de construção. Nesta classe, destaca-se a área urbana residencial, a área urbana comercial e de serviços, a área urbana industrial, os complexos industriais e comerciais, as áreas urbanas de uso misto e as áreas periurbanas consolidadas e em consolidação (favelas) (MENDONÇA-SANTOS et al., 2003).

Vale ressaltar que a detecção das áreas urbanas foi limitada pela resolução espacial das imagens (500m). Ocupa aproximadamente 1.479,919 km² (EMBRAPA, 2014), o que representa cerca de 3,37 % da área total do estado. A maior concentração urbana localiza-se na região metropolitana do Rio de Janeiro.

3.2 Produto MCD12Q1

O produto *Land Cover Yearly* L3 Global 500 m do MODIS (produto MCD12Q1) inclui vários esquemas de classificação que descrevem as propriedades da cobertura do solo resultantes do processamento de dados observados pelo sensor MODIS-TERRA e MODIS-AQUA (FRIEDL et al., 2010). O primeiro esquema (Tipo 1) identifica 17 classes diferentes de ocupação do solo com base no *International Geosphere-Biosphere Program* (IGBP). Com base nestas classes, determinaram-se quais os principais tipos de cobertura afetados pelo fogo. O seu algoritmo segue uma metodologia de classificação supervisionada que combina a informação multiespectral e multitemporal fornecida pelo sensor com modelos de alteração de cobertura de forma a determinar, não só o tipo de alteração na cobertura, como também a sua intensidade (STRAHLER et al., 1999; FRIEDL et al., 2002).

O algoritmo de estrutura de árvore de decisão aliado a métricas estatísticas e treinamento automatizado (FREUND, 1995) utiliza 1860 amostras de alta resolução espacial baseada em dados das plataformas LANDSAT TM e ETM⁺. A resolução espacial deste produto é de 500 m (STRAHLER, 1999; ATAÍDE, 2012; LP DACC, 2013). Ele contém cinco tipos de classificação, que descrevem as propriedades da cobertura da superfície derivadas de observações do sensor MODIS a bordo dos satélites AQUA e TERRA durante um ano. O primeiro esquema de cobertura de superfície identifica dezessete classes definidas pelo IGBP, que inclui onze classes de vegetação natural, três classes de lotes urbanizados e três classes de solo não vegetado (ATAÍDE, 2012).

A coleção 3 do produto MCD12Q1 apresenta dados de 1km de resolução espacial e acurácia estimada entre 70 e 85% em escalas continentais e variações entre 52 e 90% nas classes individuais (FRIEDL, s.d.). O produto MCD12Q1 também é utilizado na estimativa do Índice de Área Foliar (LAI). Este produto é distribuído gratuitamente pelo *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC), do *United States Geological Survey* (USGS) *Earth Resources Observation and Science* (EROS) (<http://lpdaac.usgs.gov>).

3.3 Sensoriamento Remoto

As geotecnologias surgem como uma importante ferramenta no auxílio ao monitoramento de focos de calor, que mediante a sua utilização, torna-se possível mapear, quantificar e realizar análises espaciais de ocorrência dos focos. O SR usado para fins de monitoramento e

intervenção em tempo real, também pode ser utilizado em estudos de análise temporal para uma determinada área, fato relevante na identificação das transformações do ambiente por ações antrópicas e naturais (SANTOS et al., 2011).

Um foco indica a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (píxel), que varia de 1 km x 1 km até 5 km x 4 km. Neste píxel pode haver uma ou várias queimadas distintas que a indicação será de um único foco. E se uma queimada for muito extensa, ela será detectada em alguns píxeis vizinhos, ou seja, vários focos estarão associados a uma única grande queimada (INPE, 2014).

Devido à ausência de registros de ocorrência de fogo, recorre-se muitas vezes a dados obtidos por meio dos sensores remotos. ANDERSON et al., (2005) explanaram sobre as formas de monitoramento remoto dos focos de calor. Existem duas linhas de pesquisas relacionadas à detecção e monitoramentos dos eventos de queimadas: a primeira refere-se à detecção dos focos de calor, geralmente associada a fogos ativos, que utiliza as bandas espectrais da região do infravermelho termal (JUSTICE et al., 2002; GIGLIO et al., 2003; PERGOLA et al., 2004; LI et al., 2005).

A segunda linha está relacionada à espacialização das queimadas, geralmente, utilizando bandas espectrais da região do visível e/ou associadas às bandas espectrais da região do infravermelho termal (PEREIRA & SETZER, 1996; DOMENIKIOTIS et al., 2002; ROY et al., 2002; STOPPIANA et al., 2003; GITAS et al., 2004; SILVA et al., 2005).

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

O produto MCD45A1 (dados da coleção 5 – dados com maior acuidade radiométrica) apresenta dois subprodutos, *Burndate* e o *Burn quality assessment*. O produto *Burndate* está relacionado à detecção e delimitação das áreas queimadas, enquanto o *Burn quality assessment* classifica a qualidade das áreas geradas pelo *Burndate*, variando entre 1 a 4, onde 1 valida a área do píxel como queimada, enquanto píxeis com valores 2, 3 e 4, o dado não é totalmente seguro para ser certificado como queimada (ROY et al., 2008; BOSCHETTI et al., 2009).

Uma das fontes de dados remotos relativos a focos de calor (queimadas, incêndios, ou atividades industriais) é o sensor MODIS, utilizado como fonte de dados inclusive pelo INPE. O algoritmo utilizado pelo sensor MODIS é um conjunto de passos e regras lógicas que utilizam fatores como: temperatura e refletância das superfícies para distinguir focos de calor durante o dia (TERRA) e a noite (AQUA). Nuvens e corpos d'água são detectados por uma máscara externa. Os alvos terrestres são detectados por canais de 4 e 11 µm com resolução de 1000 m (denominadas de T₄ e T₁₁), e que considera ainda os valores do píxel candidato e de seus vizinhos (25% do número de píxeis candidatos, considerando um mínimo de 6. Assim quando há 1 candidato, considera-se os 6 vizinhos próximos e a partir de 28 candidatos, considera-se 25% (que equivalem a 7 píxeis)) na constatação de focos de calor.

Utiliza o canal 21 que satura na temperatura de 227° C e o canal 22 que satura a 58° C, para detecção de focos de calor, ambos localizados no comprimento de onda 4µm. Desde que este canal de baixa saturação seja menos ruidoso e possua um erro de quantização menor, a T_4 é definida, sempre que possível, por este. No entanto, quando o canal 22 satura, ou perde os dados, a T_4 passa a ser definido por um canal de saturação mais elevada, o canal 31 (11µm – T_{11}) que satura a 127° C. A banda do infravermelho próximo (0,86 µm) é usada, durante o dia, para identificar superfícies altamente refletivas. Durante a noite, os produtos de focos de calor podem utilizar os canais de 1,65 µm e 2,15 µm, (JUSTICE et al., 2002). Estes recursos minimizam a ocorrência de falsos alarmes. A identificação de focos de incêndios pode ser resumida nos seguintes passos:

{ $T_4 > \text{média}(T_4) + 3\text{desvios_padrões}(T_4)$ ou $T_4 > 57^\circ\text{C}$ } (1) e { $T_4 - T_{11} > \text{mediana}(T_4 - T_{11}) + 3\text{desvios_padrões}(T_4 - T_{11})$ ou $T_4 - T_{11} > -248^\circ\text{C}$ } (2) ou $T_4 > 87^\circ\text{C}$ (3). Para o algoritmo utilizado para os cálculos noturnos, tem-se: { $T_4 > \text{média}(T_4) + 3\text{desvios_padrões}(T_4)$ ou $T_4 > 42^\circ\text{C}$ } (4) e { $T_4 - T_{11} > \text{mediana}(T_4 - T_{11}) + 3\text{desvios_padrões}(T_4 - T_{11})$ ou $T_4 - T_{11} > -263^\circ\text{C}$ } (5) ou $T_4 > 57^\circ\text{C}$ (6) Finalizando, quando ocorrer a possibilidade de falsas detecções para observações durante o dia, o píxel é rejeitado, se os canais de resolução de 250 metros apresentarem uma refletância acima de 30% (JUSTICE et al., 2002b).

Tabela 1. Classes temáticas de Cobertura da terra identificadas no produto V005 MODIS.

Classificação	IGBP (Tipo 1)	UMD (Tipo 2)	IAF/Fpar (Tipo 3)
0	Água	Água	Água
1	Floresta	Floresta	Gramas / Culturas de Cereais
2	Floresta Ombrófila	Floresta Ombrófila	Arbustos
3	Floresta Decídua	Floresta Decídua	Cultura de Folhas Largas
4	Floresta Ombrófila Decídua	Floresta Decídua de Folha Larga	Savana
5	Floresta Mista	Floresta Mista	Floresta de Folhas Largas
6	Mata Densa	Mata Densa	Floresta Decídua de Folha Larga
7	Clareira	Clareira	Floresta de Folha Estreita
8	Savanas Arbóreas	Savanas Arbóreas	Floresta Estacional Decidual
9	Savanas	Savanas	Não Vegetado
10	Gramado	Gramado	Urbano
11	Pântano		
12	Cultivo	Cultivo	
13	Urbano com Construções	Urbano com Construções	
14	Mosaico de Cultivo e Vegetação Natural		
15	Neve e Gelo		
16	Solo Exposto	Solo Exposto	
254	Sem Classificação	Sem Classificação	Sem Classificação
255	Valor Nulo	Valor Nulo	Valor Nulo

Fonte: (LPDAAC-TEAM, 2008).

Vale ressaltar que a classe de número 9, Savana, será considerada como pastagem, visto que no Estado do Rio de Janeiro não existe o bioma savana.

3.4 Ferramentas Estatísticas Aplicadas em Dados de Focos de Calor

A queimada é uma prática agropastoril ou florestal que usa a queima controlada como instrumento de produção e o incêndio florestal é qualquer fogo sem controle que incide sobre a vegetação (FERREIRA et al., 2005).

A expressão “focos de calor” é utilizada para interpretar o registro de calor captado na superfície do solo por sensores espaciais. O sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) capta e registra qualquer temperatura acima de 47°C e a interpreta como sendo um foco de calor. Apesar de a resolução espacial ser baixa (1,1 km), as queimadas com áreas de no mínimo 900 m² podem ser detectadas (ANTUNES & RIBEIRO, 2000).

4.0 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Características e Localização da Área de Estudo

O Estado do Rio de Janeiro localiza-se na região Sudeste do Brasil e sua altitude alcança até 2.787 m. A área do estado é de 43.909,7 km², que corresponde cerca de 0,51% do território do Brasil. Limita-se ao Norte e Noroeste com Minas Gerais, a Sudoeste com São Paulo, ao Leste e Sul com o Oceano Atlântico e a Nordeste com o Espírito Santo. Atualmente, o estado está dividido geopoliticamente em 92 municípios, dividido em oito regiões do Governo: Norte Fluminense (**região 1**), Noroeste Fluminense (**região 2**), Serrana (**região 3**), Centro Sul Fluminense (**região 4**), Baixadas Litorâneas (região 5), Metropolitana (**região 6**), Médio Paraíba (**região 7**) e Costa Verde (**região 8**) (Figura 1) (IBGE, 2014). Neste trabalho será adotada a nomenclatura de regiões para representação das regiões do Governo do estado nas Figuras a seguir.

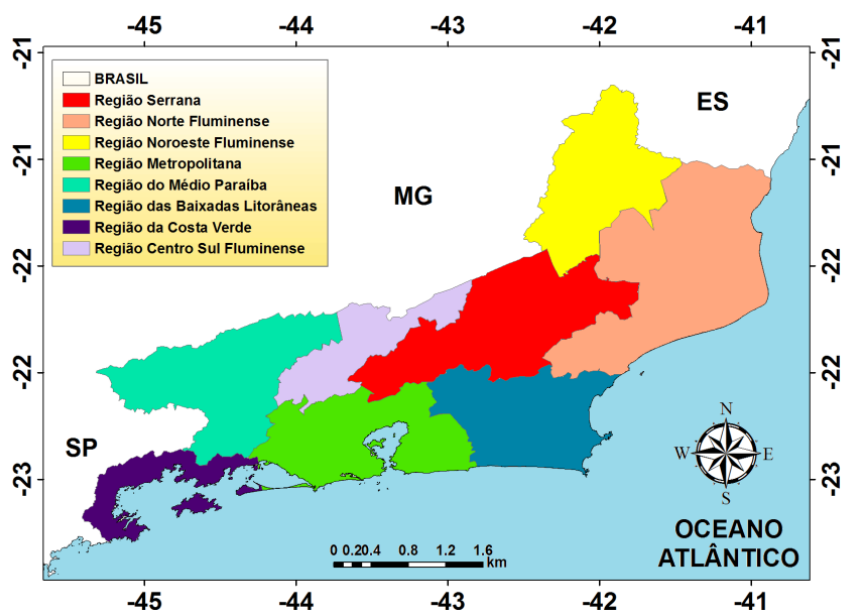


Figura 3. Estado do Rio de Janeiro subdividido em suas oito regiões do governo.

4.2 Série Temporal dos Dados de Focos de Calor

Os dados de focos de incêndios foram obtidos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) - (<http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas>) – (CPTEC, 2013). Atualmente, o CPTEC utiliza vários satélites meteorológicos (Órbita Polar e Geoestacionário) para compor sua rede de observação na América do Sul (AS). Os satélites de órbita polar são

aqueles que se deslocam de polo a polo em uma altitude mais baixa do que os geoestacionários. Estes ficam aparentemente estáticos relativamente a um ponto da Terra, enquanto que o planeta faz o seu ciclo de rotação e translação. As séries de satélites meteorológicos são: NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*), AQUA (EOS PM-1), TERRA (EOS AM-1), METEOSAT (*Geostationary Meteorological Satellite European Space Agency*), ATSR (*Along Track Scanning Radiometer*) e TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*). Esses satélites realizam o imageamento orbital pelo país nos seguintes períodos: manhã, tarde, noite e madrugada. O período de estudo foi de 2001 e 2013 para a questão do Uso e Ocupação do Solo e de 2000 a 2012 para a estatística descritiva e distribuição dos focos de calor.

Foram feitas avaliações totais e regionais dos focos de incêndios, para identificação dos períodos e áreas de maior ocorrência de focos de incêndios no Estado do Rio de Janeiro. Assim, procurou-se avaliar também quais satélites podem ser utilizados no monitoramento e prevenção de incêndios de maneira rotineira no estado. Para isso, foi calculada a densidade de focos de calor por unidade de área em km², cuja fórmula foi:

$$D = \frac{\text{Número de focos}}{\text{Área (Km}^2\text{)}} \quad (1)$$

4.3 Uso e Ocupação do Solo

Para atualizar o uso e cobertura do solo e os parâmetros físicos da vegetação utilizaram-se os produtos provenientes do sensor MODIS. O pré-processamento dos produtos MODIS foi realizado no MRT (*MODIS Reprojection Tool*) com o objetivo de transformá-los do formato HDF (*Hierarchical Data Format*) para GEOTIFF. O MRT também foi utilizado para alterar o sistema de projeção Sinusoidal de UTM (*Universal Transverse Mercator*) para WGS 84 (*World Geodetic System*).

O algoritmo que processa o produto MCD12Q1 (*V005 Global 500 m Land Cover Type Product*) é a árvore de decisão supervisionada. A resolução espacial deste produto é de 500 m (STRAHLER, 1999; ATAÍDE, 2012; LP DAAC, 2013). Ele contém cinco tipos de classificação, que descrevem as propriedades da cobertura da superfície derivadas de observações do sensor MODIS a bordo dos satélites AQUA e TERRA durante um ano. O primeiro esquema de cobertura de superfície identifica dezessete classes definidas pelo Programa Internacional Biosfera - Geosfera (*International Geosphere-Biosphere Programme - IGBP*), que inclui onze classes de vegetação natural, três classes de lotes urbanizados e três classes de solo não vegetado.

Inclui os seguintes classificadores, derivados de um método de classificação conhecido como árvore de decisão supervisionada.

Tipo 1: Esquema de classificação de vegetação global do IGBP;

Tipo 2: Esquema adotado pela Universidade de Maryland (UMD);

Tipo 3: Esquema derivado da razão entre Índice de Área Foliar (IAF) e Radiação fotossinteticamente ativa (FPAR) derivado do sensor MODIS.

Será utilizada a classificação do Tipo 1 porque é a classificação mais completa e de interesse neste trabalho (ATAÍDE, 2012).

O software ArcGIS 10.2 foi utilizado para a organização do banco de dados e confecção dos mapas temáticos. Por meio da ferramenta *Extract by Mask* do software foi elaborado o recorte das imagens do MODIS para o período de estudo, a fim de representar o Estado do Rio de Janeiro. Como a Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço (*National Aeronautics and Space Administration - NASA*) não disponibilizou o mapa do MODIS para o ano de 2013, usou-se o mapa do ano de 2012 com os focos de incêndio para o ano de 2013, já que esta mudança não é abrupta.

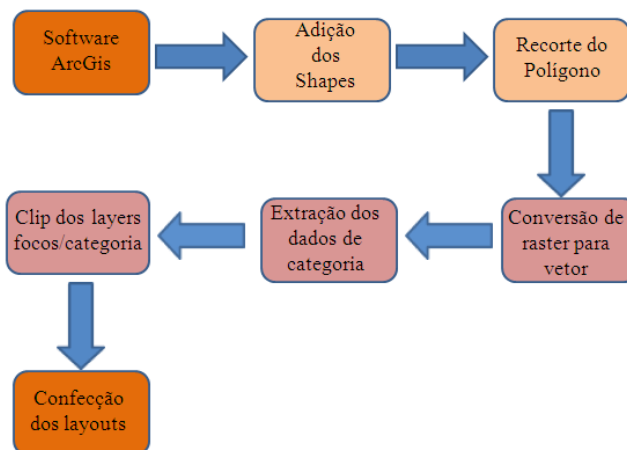


Figura 4. Fluxograma com as etapas de obtenção do número de focos de calor com o uso e cobertura do solo e a confecção dos mapas.

4.4 Satélites e seus Sensores

O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) produz diariamente dados essenciais para a detecção de queimadas (como os focos de calor), riscos de fogo e previsão de chuvas.

Diferentes sensores são utilizados na detecção de focos de calor pelo CPTEC/INPE. São eles: *Geostationary Operational Environmental Satellite - GOES*; *National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA* (que transporta o sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR*); AQUA e TERRA (ambos transportam o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS*) e METEOSAT.

PANTOJA et al., (2005) concluíram que dados de detecção de fogo dos sensores NOAA-12, NOAA-16, GOES-12 e MODIS, quando analisados individualmente, subestimaram entre 92 a 100% os eventos de queimadas observados durante um estudo de caso envolvendo 38 observações no ano de 2004.

Como estes sensores se baseiam em emissões de radiação termal, os eventos de alta emissão desta radiação são chamados de focos de calor, porque nem sempre a fonte desta radiação é uma queimada (PANTOJA & BROWN, 2007). No momento da detecção podem ocorrer incertezas que estão associadas aos erros de omissão e inclusão de queimadas (VASCONCELOS et al., 2005; VASCONCELOS & BROWN, 2007; PANTOJA & BROWN, 2007).

Quando uma área está sendo queimada e muita energia infravermelha sendo emitida, o sensor do satélite gera um píxel georreferenciado com um conjunto de informações. Esse píxel indica a presença de um ou mais focos de calor. No caso do sensor AVHRR do satélite NOAA-12 a resolução espacial é de aproximadamente 1,1 km² no centro da imagem (no nadir). Entretanto, devido a forte energia termal emitida pelas queimadas, até uma frente de fogo com 30 m por 0,5 m é detectada. Desta forma, um foco de calor pode corresponder tanto

uma pequena queimada como várias queimadas dentro de um píxel com cerca de 1 km² no nadir para os satélites NOAA-12, NOAA-16, Terra-Modis e AQUA-MODIS ou dentro um píxel de 16 km² para o satélite GOES-12 (VASCONCELOS et al., 2005).

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) das plataformas TERRA/AQUA possuem órbita polar, ângulo de imageamento de aproximadamente 55°, altitude de 700 km e faixa imageada de 2330 km. O horário de passagem varia sobre um dado ponto da superfície de acordo com a plataforma: enquanto a plataforma TERRA (AM), cujos produtos originados destas recebem a sigla MOD, cruza o Equador em sua órbita descendente às 10h30min e 22h30min; a plataforma AQUA (PM), onde os produtos são denominados de MYD, em sua órbita ascendente, cruza o Equador às 13h30min e 01h30min. Ainda, os produtos originados de informações de ambas as plataformas recebem a sigla MCD (PEREIRA et al., 2013). O MODIS é um dos sensores a bordo dos satélites TERRA e AQUA. A órbita do satélite TERRA está cronometrada de modo que passe do norte ao sul através do Equador de manhã, e o AQUA, do sul ao norte sobre o Equador no período da tarde. Ambos os satélites imageiam a superfície da terra inteira a cada 1 a 2 dias, adquirindo dados em 36 faixas espectrais com resolução espacial de 1 km (EMBRAPA – Monitoramento por Satélites, 2006). Cobre o espectro de 0,4 µm a 14,4 µm, e com resoluções espaciais de 250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas) e 1 km (29 bandas) (COHEN & JUSTICE, 1999; RUNNING et al., 1994; RUNNING et al., 1999).

O EOS/NASA (*Earth Observing System*) pratica uma política de distribuição pública de dados orbitais por meio do LP-DAAC (*Land Processes Distributed Active Archive Center*), que realiza o processamento, arquivamento e distribuição de produtos derivados do sensor MODIS. Uma grande vantagem para o usuário é a disponibilidade de produtos pré-processados, demandando menor necessidade de processamentos para utilização das imagens. Entre os produtos disponibilizados estão os índices de vegetação, muito utilizados nos estudos de séries temporais por ser uma forma de sintetizar a informação contida em imagens multiespectrais. Eles são o resultado de transformações lineares do fator de refletância obtido de duas ou mais bandas espectrais, envolvendo soma, razão, diferença ou qualquer outra relação matemática que possa ser combinada (WIEGAND et al., 1991). Os índices de vegetação apresentam alta correlação com a biomassa e o índice de área foliar da vegetação (DEFRIES & TOWNSHEND, 1994; PRICE, 1993; JUSTICE e HIERNAUX, 1986), sendo utilizados há décadas em estudos envolvendo o monitoramento da vegetação.

Entretanto, ainda que os produtos disponibilizados pelo LP-DAAC sejam pré-processados, a maior parte dos usuários demanda processamentos complementares para transformar o pouco usual formato HDF (*Hierarchical Data Format*) em formatos compatíveis com os pacotes de geoprocessamento. Outra transformação refere-se à mudança da projeção cartográfica sinusoidal (padrão dos produtos LP-DAAC) para projeções mais comuns, como a Geográfica ou a UTM.

A utilização das técnicas de sensoriamento remoto no monitoramento de queimadas no País iniciou-se no INPE através de um sistema operacional de queimadas que utilizam dados do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer/National Oceanic and Atmospheric Administration AVHRR/NOAA* (KRUG et al. 1997).

O GOES possui órbita geoestacionária e é usado operacionalmente para a detecção e o acompanhamento de incêndios em grandes áreas da superfície do globo. Os seus sensores operam em diferentes canais espectrais, de modo que para detecção de queimadas é na região do infravermelho (3,8 a 4,0 µm, 10,2 a 11,2 µm, 11, 5 a 12,5 µm), com resolução espacial de 4 km. Porém, devido à resolução espacial relativamente pequena (de 1 km no canal visível e 4 km nos canais do infravermelho), a extensão de incêndios não pode ser avaliada com exatidão

e nem os ecossistemas queimados, afetados pelo fogo, podem ser identificados por este satélite (FRANÇA & FERREIRA, 2005).

Considera-se queimada qualquer píxel com albedo (refletividade) menor que 3%, com temperatura de brilho no canal 2 maior que 308 K (35°C) e no canal 4 maior que 263 K (-10°C), e com a diferença destas temperaturas maior que 16 K (16°C) (SETZER & YOSHIDA, 2004). A fórmula para o cálculo do albedo é:

$$Q_{oc} = Q_g (1 - \alpha) \quad (2)$$

Em que:

Q_{oc} = radiação solar curta;

Q_g = radiação solar global;

α = albedo

Tabela 2. Características dos Satélites e Período de Observação.

Satélites Meteorológicos	Período	Características dos Satélites
NOAA 15	Manhã	Órbita Polar - Heliosíncrono
NOAA 15	Noite	Órbita Polar - Heliosíncrono
NOAA 12	Manhã	Órbita Polar - Heliosíncrono
NOAA 12	Noite	Órbita Polar - Heliosíncrono
NOAA 18	Manhã	Órbita Polar - Heliosíncrono
NOAA 18	Tarde	Órbita Polar - Heliosíncrono
NOAA 14	Noite	Órbita Polar - Heliosíncrono
NOAA 16	Tarde	Órbita Polar - Heliosíncrono
NOAA 16	Madrugada	Órbita Polar - Heliosíncrono
NOAA 17	Madrugada	Órbita Polar - Heliosíncrono
GOES 08	Noite	Geoestacionário (35.800 km)
GOES 10	Todos	Geoestacionário (35.800 km)
GOES 12	Todos	Geoestacionário (35.800 km)
METEOSAT-02	Todos	Geoestacionário (35.800 km)
AQUA-T	Tarde	Órbita Polar - Heliosíncrono
AQUA-M	Manhã	Órbita Polar - Heliosíncrono
TERRA-M	Manhã	Órbita Polar - Heliosíncrono
TERRA-T	Tarde	Órbita Polar - Heliosíncrono

Fonte: CPTEC (2014) - <http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas>

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS FOCOS

Foi feita a análise da estatística descritiva (máximo, mínimo, média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação) dos dados de focos para os anos 2001 e 2013 associando com o uso e ocupação do solo pelo produto MODIS MCD12Q1.

Foi aplicada a distribuição de probabilidade de Weibull aos focos acumulados anuais de incêndio ocorridos nas regiões do Governo do Estado do Rio de Janeiro, pois dentre todas as outras distribuições calculadas como LogNormal, Normal, Exponencial, Gama e Gumbel, a de Weibull foi a que se mostrou mais adequada já que sua curva se mostrou quase uma exponencial perfeita. Na distribuição de Weibull, a variável aleatória X apresenta a seguinte função densidade de probabilidade:

$$f(x) = \frac{\beta}{\delta} \left(\frac{x}{\delta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta\right], \text{ para } x > 0 \quad (3)$$

Em que, $\beta > 0$ é o parâmetro de forma e $\delta > 0$ é o parâmetro de escala. Os parâmetros de forma e escala foram determinados pelo Método de Máxima Verossimilhança (MMV). Foram aplicados os testes χ^2 e Kolmogorov-Smirnov (KS) na distribuição de Weibull.

4.6 Testes Não Paramétrico de Man-Kendall e Pettit

Para a análise de tendência das séries climáticas da precipitação foram considerados dados totais anuais, sendo estes dados submetidos ao teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall (DELGADO et al., 2012). Estes autores calcularam a pressão de saturação do vapor d'água através da temperatura mínima do ar e analisaram temporalmente de 1990-2010.

O teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória). Considerando uma série temporal de Y_i de n termos ($1 \leq i \leq n$); a estatística de teste é dada por:

$$S = \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(Y_j - Y_i) \quad (4)$$

Em que,

Sinal (x) = 1 para $x > 0$;

Sinal (x) = 0 para $x = 0$;

Sinal (x) = -1 para $x < 0$.

Para séries com grande número de termos (n), sob a hipótese nula (H_0) de ausência de tendência, S apresenta uma distribuição normal com média zero e variância:

$$\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18 \quad (5)$$

Testando a significância estatística de S para a hipótese nula usando um teste bilateral, esta pode ser rejeitada para grandes valores da estatística Z , que é dada por:

$$Z = \begin{cases} S - 1/\text{Var}(S) & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ S + 1/\text{Var}(S) & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Com base na análise da estatística Z é tomada a decisão de aceitar ou rejeitar H_0 , ou seja, pode-se confirmar a hipótese de estabilidade dos dados ou rejeitá-la a favor da hipótese alternativa (de existência de tendência nos dados). O sinal da estatística Z indica se a tendência é crescente ($Z > 0$) ou decrescente ($Z < 0$).

O nível de significância α adotado é de $\alpha = 0,05 = 5\%$ para o teste de Mann-Kendall. Se a probabilidade p do teste de Mann-Kendall for menor que o nível α , $p < \alpha$, uma tendência estatisticamente significativa existe, enquanto, um valor de $p > \alpha$, confirma uma tendência insignificante. Para amostras onde não há tendências, o valor de Z é próximo de zero (MANN, 1945; KENDALL, 1975).

FERRARI et al., (2012) aplicou a análise estatística para identificação das tendências anuais da temperatura e da precipitação na região de Pirassununga, SP, bem como a variabilidade desses elementos climáticos em uma série histórica de 1976 a 2008.

Os dados focos de calor foram submetidos ao teste de Pettitt (PETTITT, 1979), o teste utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney, no qual se verifica se duas amostras X_1, \dots, X_t e X_{t+1}, \dots, X_T são da mesma população. A estatística $U_{t,T}$ faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que o membro da segunda, e pode ser escrita:

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad \text{para } t = 2, \dots, T \quad (7)$$

Em que,

$\text{sgn}(x) = 1$ para $x > 0$; $\text{sgn}(x) = 0$ para $x = 0$; $\text{sgn}(x) = -1$ para $x < 0$.

A estatística $U_{t,T}$ é então calculada para os valores de $1 < t < T$, e a estatística $k(t)$ do teste de Pettitt se escreve:

$$k(t) = \text{MAX}_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}| \quad (8)$$

Esta estatística localiza o ponto onde houve uma mudança brusca na média de uma série temporal, e a sua significância pode ser calculada aproximadamente pela equação:

$$p \cong 2 \exp \left\{ \frac{-6k(t)^2}{(T^3 + T^2)} \right\} \quad (9)$$

O ponto de mudança brusca é o t onde ocorre o máximo de $k(t)$. Os valores críticos de K podem ser calculados pela equação 8:

$$K_{\text{crit}} = \pm \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{p}{2}\right)(T^3 + T^2)}{6}} \quad (10)$$

Para aplicação do teste de Mann-Kendall, utilizou-se o software R 3.1.1. Já o teste de Pettitt foi feito no *Microsoft Office Excel*. Para a consulta dos municípios, ir à Tabela 15 e 16 (Anexo).

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estatística Descritiva dos Focos de Calor

No Estado do Rio de Janeiro, ao longo do período de estudo, ocorreram 17.297 focos de incêndios. Houve grande variabilidade temporal nos totais de focos de incêndios no estado. Os anos com menores ocorrências foram 2000, seguido de 2001, 2008 e 2009 (exceto 2009, os outros anos sofreram a influência de La Niña), enquanto os de maiores ocorrências foram 2002, 2007, 2010 e 2011, os quais apenas 2011 não teve ação de El Niño (Figura 5a).

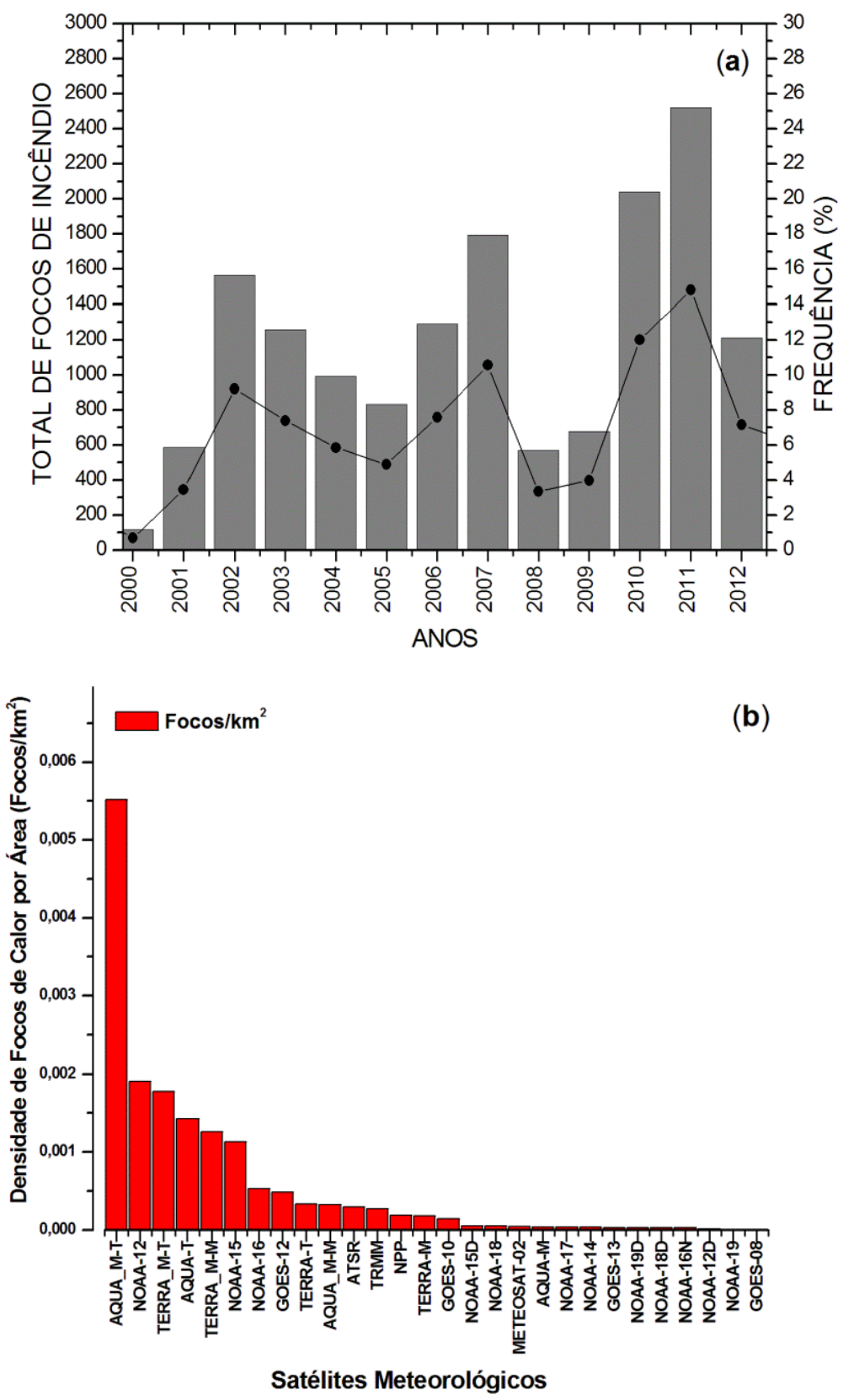
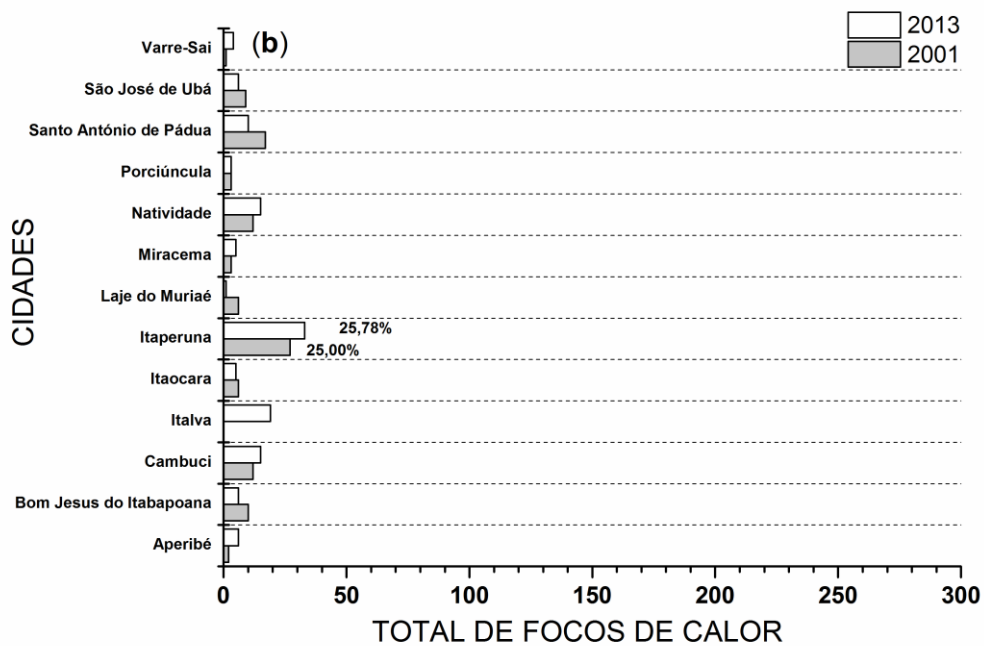
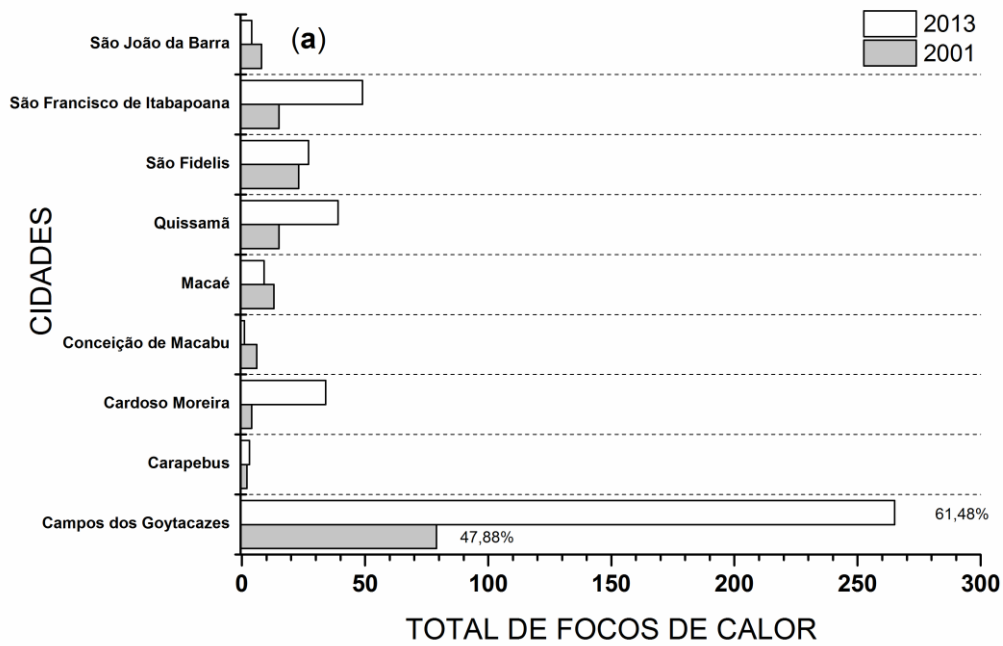


Figura 5. Distribuição total anual e percentual (%) de focos de incêndios (a) e densidade de focos de calor por unidade de área (km²) (b) no período de 2000-2012.

Verificou-se que os satélites meteorológicos AQUA-MT, TERRA-MT e NOAA-12 tiveram maior número de focos identificados em comparação aos satélites GOES 08 e NOAA-19 (Figura 5b). Os satélites de órbita polar tiveram maior êxito na detecção de focos de incêndio em comparação aos satélites geoestacionários. De acordo com KIDD (2001) o péssimo desempenho dos satélites geoestacionários se deve ao fornecimento de apenas um terço da superfície terrestre, além da degradação das imagens nas bordas. Portanto, é necessário ter pelo menos cinco satélites geoestacionários. O AVHRR realiza medidas nas regiões do visível e infravermelho do espectro, com uma resolução espacial de 1 km, resultando em milhares de medidas coletadas diariamente. Enquanto o MODIS, com suas bandas (0.4 μ m e 14.4 μ m) são sensíveis a incêndios e podem distinguir chamas de brasas, consequentemente fornece melhores estimativas da quantidade de aerossóis e gases provenientes dos incêndios dispersos na atmosfera (KIDD, 2001) por isso, o melhor resultado para estes 3 satélites. Vale ressaltar que o satélite NOAA-12 foi adotado como satélite de referência para o monitoramento de focos de incêndios ocorridos no Brasil (GRANEMANN & CARNEIRO, 2009; CPTEC, 2012) em 2007. Atualmente, o satélite referência é o AQUA – MT (CPTEC, 2014).

A região do Governo Norte Fluminense (Figura 6a) apresentou um total de 596 focos (30,35%). Foi a região do Governo com o maior total de focos de incêndios em comparação com as demais regiões do estado. Alguns fatores contribuíram para o número elevado de focos como, por exemplo, o plantio de cana-de-açúcar, agropecuária e a atividade agrícola para atender a indústria, além do clima mais seco e com altas temperaturas (OLIVEIRA, 2003). O processo da colheita da cana-de-açúcar utiliza muito o fogo para a atividade. Se for para a para a implantação dos canaviais, há a queima inicial da vegetação existente. Quando é para colher, ocorrem as queimas destinadas a despalhar a cana, para facilitar a atividade. O município Campos dos Goytacazes apresentou o maior número de focos com um total de 344 focos (57,72% da região do Governo). Enquanto que o município de Arapebus com 5 focos foi o que apresentou o menor número de focos, o que corresponde a 0,84% do total da regiões do Governo. No ano de 2001 aquele município contribuiu com 79 focos (47,88%) e no ano de 2013 dá um salto para 265 focos (61,48%).

Foram contabilizados 236 focos na região do Governo Noroeste Fluminense (12,02%). O município de Itaperuna foi o que mais influenciou nesse total, com 60 focos (25,42%), enquanto que Varre-Sai com 5 focos (2,12%) foi o município com menor número. No ano de 2001, Itaperuna contribuía com 27 focos (25%) e no ano de 2013 aumentou para 33 focos (25,78%) (Figura 6b). Foram contabilizados 152 focos na região Serrana (7,74%). O município de Teresópolis foi o que mais influenciou nesse total, com 29 focos (19,10%), enquanto que Carmo e Duas Barras não contribuíram com focos. No ano de 2001, Teresópolis contribuía com 21 focos (22,64%) e no ano de 2013 caiu para 8 focos (9,09%) (Figura 6c). No Centro – Sul Fluminense foram contabilizados 95 focos (4,84%). O município de Três Rios foi o que mais influenciou nesse total, com 24 focos (25,26%), enquanto que Comendador Levy Gasparian, Engenheiro Paulo de Frontin e Simão Pereira não contribuíram com focos. No ano de 2001, Três Rios contribuiu com 8 focos (20%) e no ano de 2013 aumentou para 16 focos (29,01%) (Figura 6d).



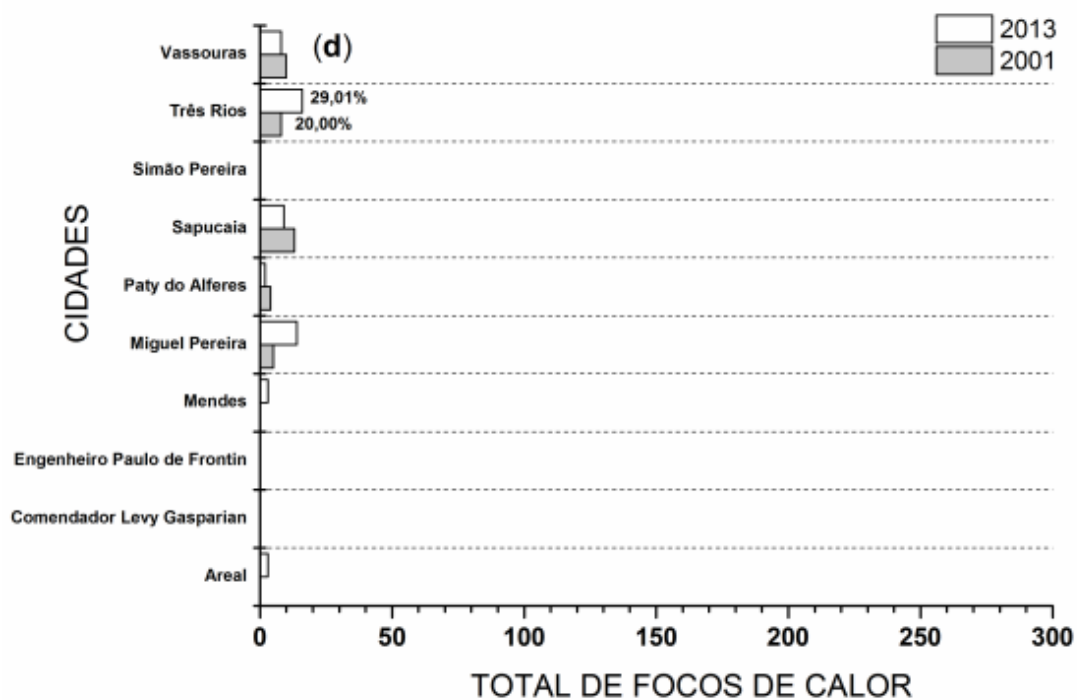
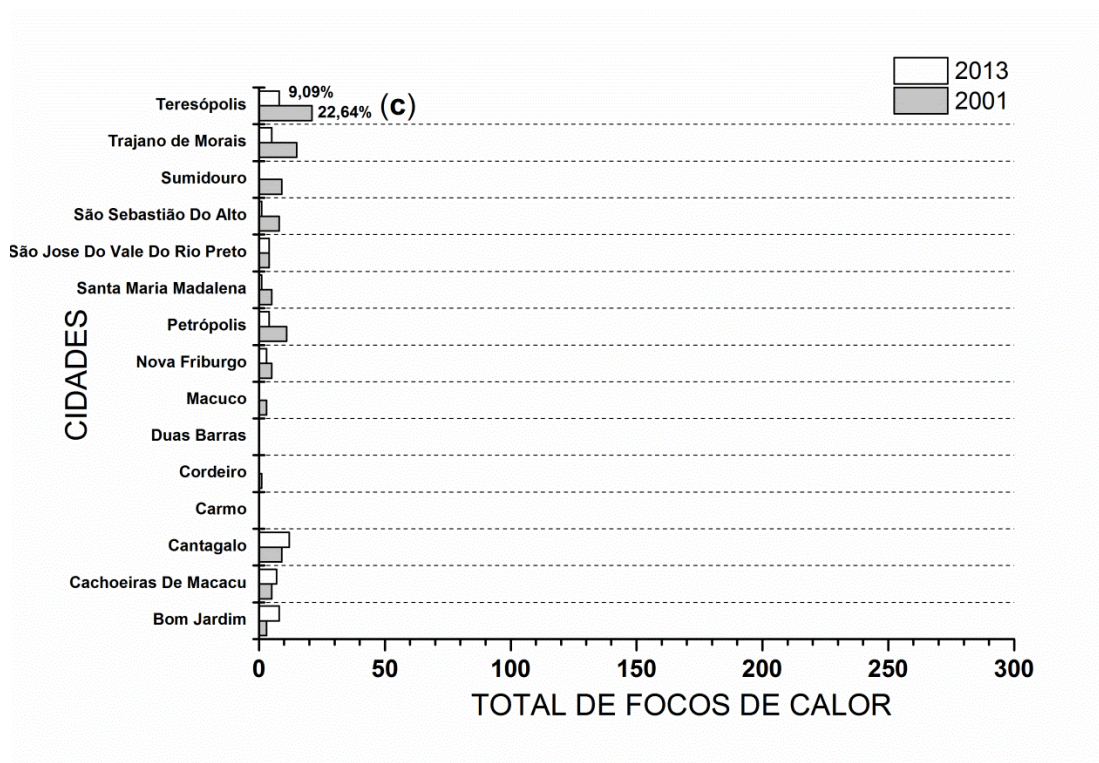
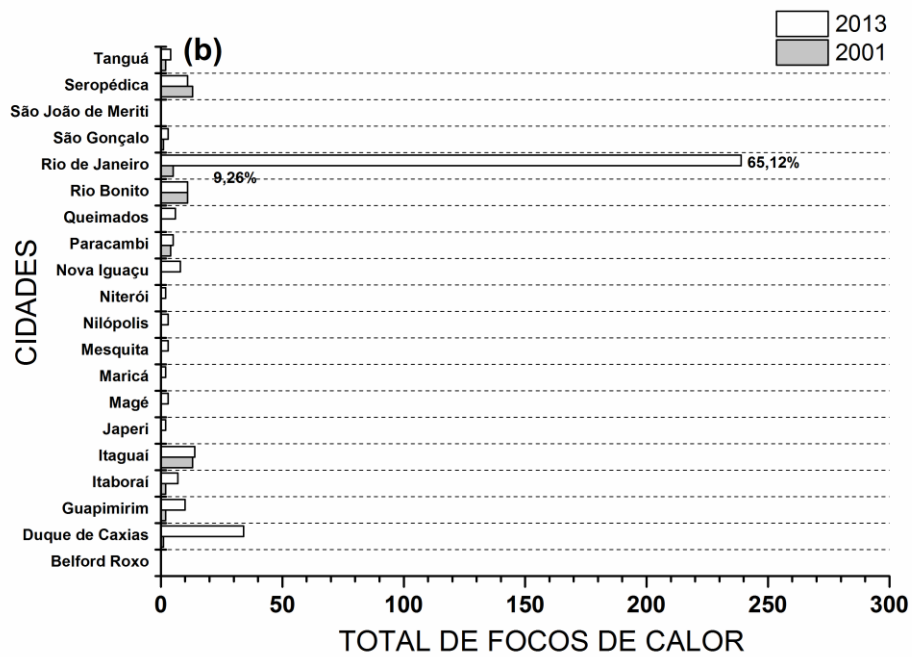
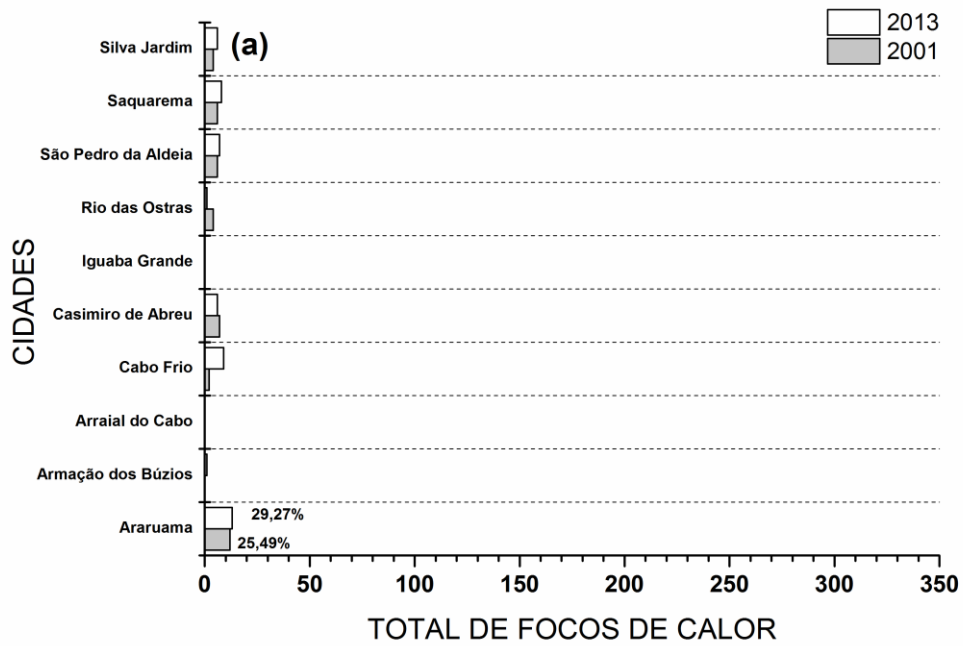


Figura 6. Totais dos focos de incêndios e percentual (%) das regiões do Governo ((a) Norte, (b) Noroeste, (c) Serrana e (d) Centro-Sul) do Estado do Rio de Janeiro no período de 2001 e 2013.

Na região das Baixadas Litorâneas houve 92 focos (4,68%). O município de Araruama foi o que mais influenciou nesse total, com 25 focos (27,17%), enquanto que Arraial do Cabo e

Iguaba não contribuíram com focos. Araruama no ano de 2001 contribuiu com 12 focos (25,49%) e no ano de 2013 houve um aumento no número de focos para 13 (29,27%) (Figura 7a). Foram contabilizados 421 focos na região do Governo Metropolitana (21,43%) (Figura 7b). O município do Rio de Janeiro foi o que mais influenciou nesse total, com 244 focos (57,96%). No ano de 2001, este município teve apenas 5 focos (9,26%) com um aumento para 239 focos (65,12%). Enquanto que Belfort Roxo e São João de Meriti não contribuíram com focos. Já no Médio Paraíba (Figura 7c), contabilizou-se 353 focos (17,97%). O município de Volta Redonda foi o que mais influenciou esse total, com 140 focos (39,66%), enquanto que Porto Real com 4 focos (1,13%) foi o município com menor número. De acordo com (NEIVA, 2007), a regiões do Governo do Médio Paraíba possui atividades agrícolas como o cultivo do café e industriais (Companhia Siderúrgica Nacional – CSN) e a ampliação da Rodovia Presidente Dutra - BR 116 fez com que esta regiões do Governo ganhasse mais visibilidade. Essas atividades antrópicas contribuíram para o aumento dos focos de incêndios. No ano de 2001, Volta Redonda teve 8 focos (6,72%), já no ano de 2013 teve 132 focos (56,41%). Foram contabilizados 19 focos na região do Governo Costa Verde (0,97%) (Figura 8c). O município de Angra do Reis foi o que mais influenciou nesse total, com 11 focos (57,90%), enquanto que Mangaratiba contribuí com 1 foco (5,26%).

A região do Governo que mais teve focos de incêndio foi o Norte Fluminense com uma taxa de 596 focos nestes dois anos de estudo. Em segundo veio a Metropolitana com 421 focos, Logo em seguida, vem a região do Médio Paraíba com 353. Por fim, a Costa Verde com 19 focos foi à região do Governo com o menor número de focos. O estudo indicou que houve um aumento significativo na média dos focos. Isto foi constatado pelas análises da tabela de focos totais 2001 e 2013.



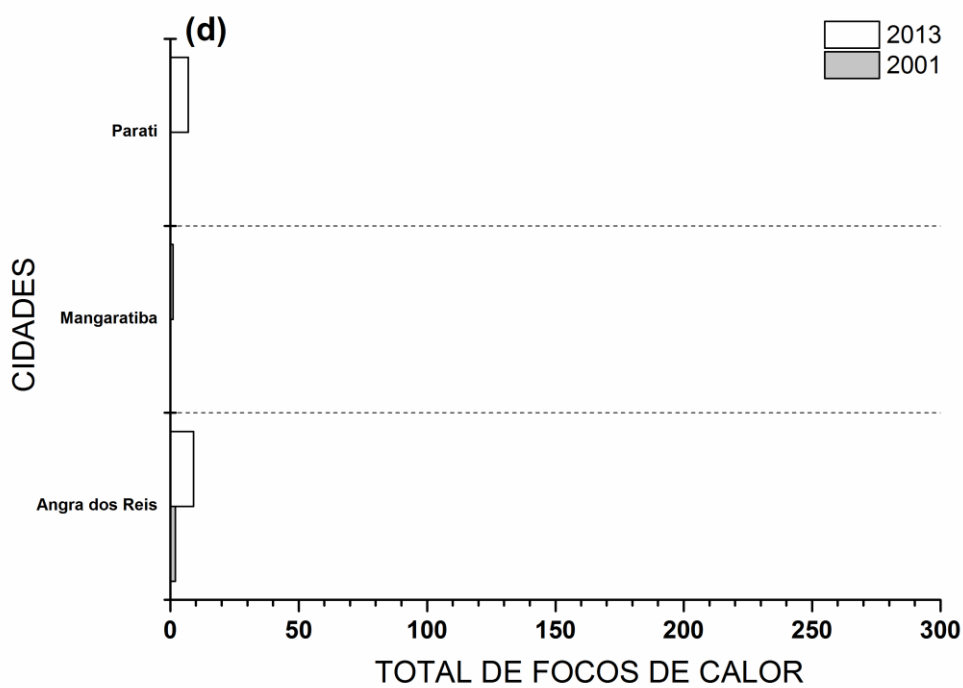
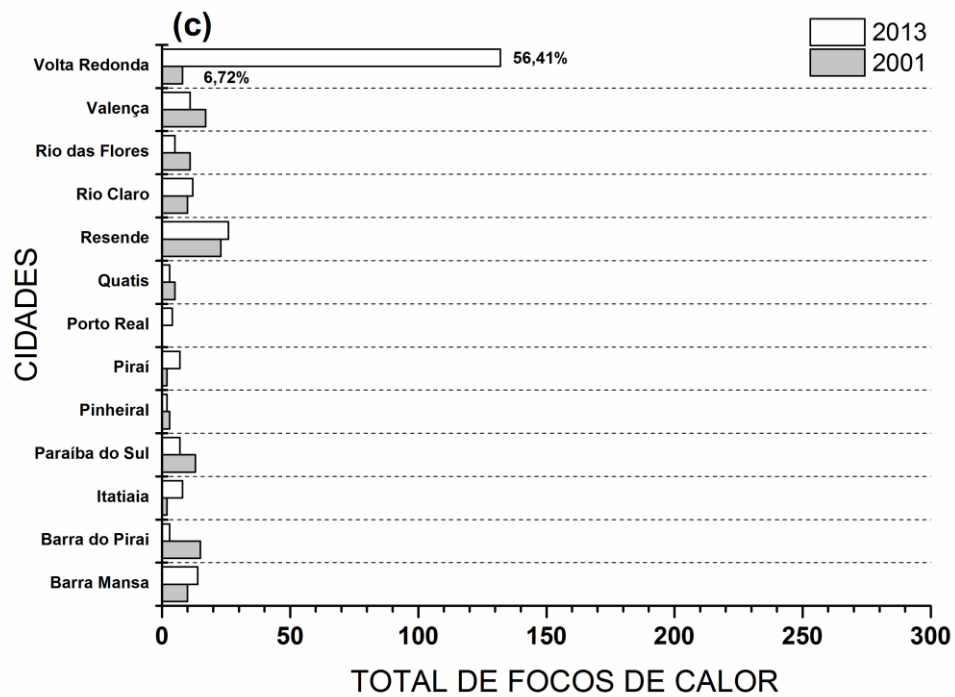


Figura 7. Totais dos focos de incêndios e percentual (%) das regiões do Governo ((a) Baixadas, (b) Metropolitana, (c) Médio Paraíba e (d) Costa Verde) do estado do Rio de Janeiro no período de 2001 e 2013.

5.2 Teste Man-Kendall e Pettit na Série Temporal dos Focos de Calor

O ponto de mudança brusca de $U(j)$ ocorre quando este for maior que o limite crítico estabelecido ($K_{\text{crítico}}$). Para o ano de 2001 (Figura 8a), o teste aplicado à série temporal foi válido, pois a estatística $U(j)$ cruzou um dos limites do intervalo de confiança, e o município de Queimados foi o que se destacou em relação aos demais. Logo, apresenta-se uma tendência de aumento de focos na série. Além disso, o teste é significativo, pois $p (2 \times 10^{-9}) < \alpha (0,05)$. Foram 66 dos 92 (71,74%) municípios que ultrapassaram este limite, todas as regiões do Governo tiveram pelo menos 1 representante. Destacam-se 17 municípios dos 20 (85%) da região Metropolitana (Itaboraí, Itaguaí, Japeri, Magé, Maricá, Nilópolis, Niterói, Mesquita, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, Rio Bonito, Rio de Janeiro, São Gonçalo, São João de Meriti, Seropédica e Tanguá) e 11 municípios dos 13 (84,62%) da região do Médio Paraíba (Itatiaia, Paraíba do Sul, Pinheiral, Piraí, Porto Real, Quatis, Resende, Rio Claro, Rio das Flores, Valença e Volta Redonda). Já as regiões do Governo das Baixadas Litorâneas apresentou 5 dos 10 (50%) municípios (Iguaba Grande, Rio das Ostras, Saquarema, Silva Jardim e São Pedro da Aldeia).

No ano de 2013 (Figura 8b) o teste também foi válido, pois a estatística $U(j)$ cruzou um dos limites do intervalo de confiança, e o município de Quatis se destacou em relação aos demais municípios. Logo, apresenta-se uma tendência de aumento de focos médio nos municípios do estado do Rio de Janeiro. Além disso, o teste é significativo, pois $p (0,0120) < \alpha (0,05)$. Apenas 11 (11,96%) municípios ultrapassaram o limite crítico do teste, sendo eles: Pinheiral, Piraí, Porto Real e Quatis (Médio Paraíba), Sumidouro, Teresópolis e Trajano de Moraes (Serrana), Queimados e Tanguá (Metropolitana), Porciúncula (Noroeste) e Quissamã (Norte).

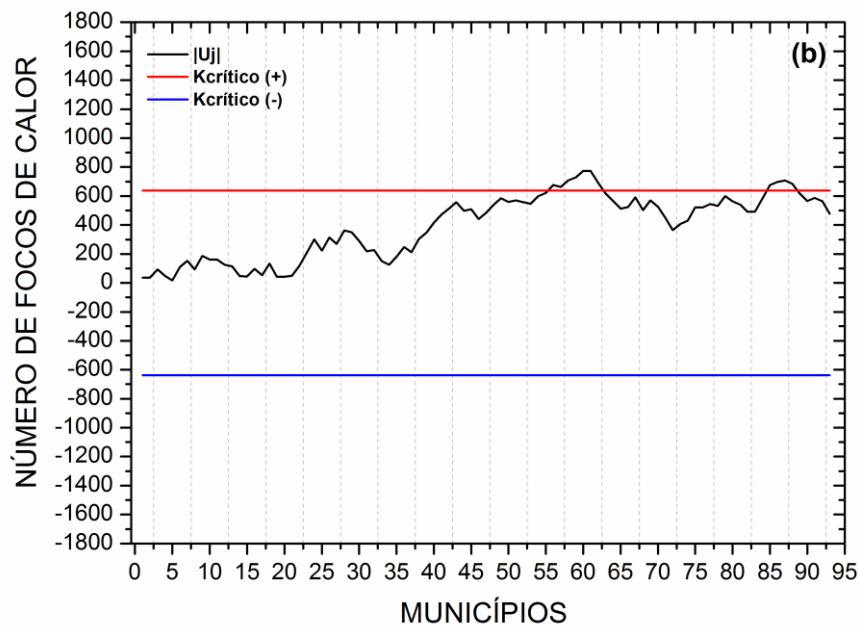
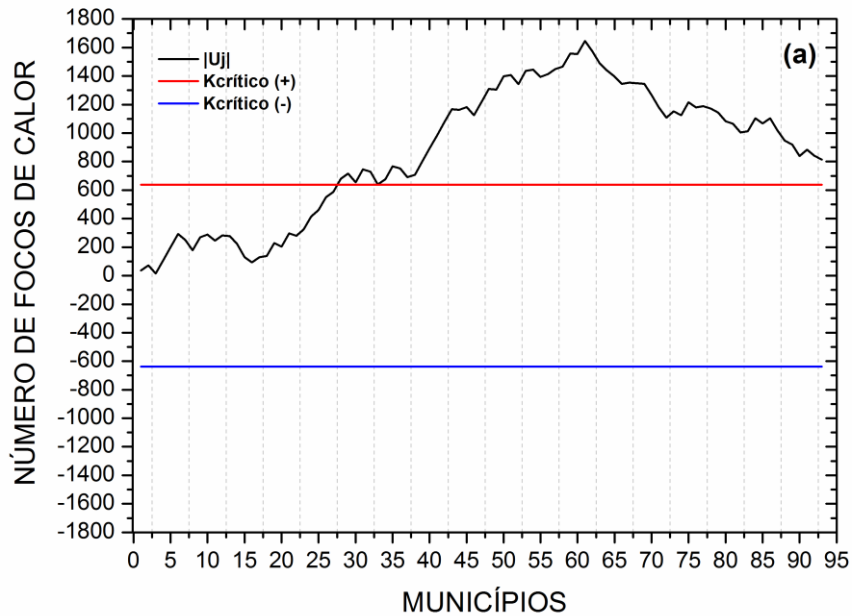


Figura 8. Comparação do número de focos de calor por municípios do Estado do Rio de Janeiro pelo teste de Pettitt a nível de significância α de 5% nos anos 2001 (a) e 2013 (b).

No ano de 2001 não há dados de ação do El Niño. Uma explicação plausível pode ser a ação dos sistemas sinóticos. Efeito contrário para o ano de 2013, no qual apenas 11 municípios ultrapassaram o limite crítico. O censo populacional de 2000 o Estado do Rio de Janeiro tinha uma população de 14.391.282 pessoas, e em 2010 houve um aumento em 11,13%, no qual a população passou a ser de 15.993.583 (IBGE, 2014).

Através dos dados obtidos pelo IBGE (2014), o uso e cobertura do solo no estado foram bastante modificados de 1995 até 2006 (anos dos dois últimos censos) em 1995, a área de lavouras (lavoura permanente somente foi pesquisada a área colhida para os produtos com mais de 50 pés - lavouras permanentes, temporárias e cultivo de flores, inclusive hidroponia e plasticultura, viveiros de mudas, estufas de plantas e casas de vegetação e forrageiras para corte) era de 337.241 ha e passou a ser de 604.005 ha. As pastagens (pastagens naturais, plantadas (degradadas e em boas condições)) eram 1.545.123 ha e passou a ser de 1.605.959 ha em 2006. Matas e florestas (matas e/ou florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal, matas e/ou florestas naturais, florestas com essências florestais e áreas florestais também usadas para lavouras e pastoreio de animais) tiveram um pequeno acréscimo: de 348.986 ha para a 362.531 ha. O teste se mostrou válido para ambos os anos e significativo estatisticamente.

Há uma tendência de 0,1940 e 0,0750 (Mann-Kendall), crescente ou positiva, pois $Z > 0$, sendo significativa para o ano de 2001, pois $p < \alpha$ (0,05) e insignificante para o ano de 2013, pois $p > \alpha$ (0,05), com um aumento de focos de aproximadamente 0,0455 e 0,0182, respectivamente.

Tabela 3. Medidas Estatísticas para os dados de Focos no Estado do Rio de Janeiro nos anos 2001 e 2013.

Análise Estatística das Variáveis de Focos (α 5%)		
Variáveis de Focos - Municípios		
Estatísticas	Focos 2001	Focos 2013
Score Z	2,6460	1,0388
Mann-Kendall	0,1940	0,0750
Curvatura Sen	0,0455	0,0182
Probabilidade (p)	0,0082	0,3004

Há uma tendência de 0,2540 e 0,2 (Mann-Kendall), crescente ou positiva, pois $Z > 0$, sendo insignificante, pois $p > \alpha$ (0,05) e que houve um aumento de focos de aproximadamente 1,4286 para o ano de 2001 e uma diminuição de aproximadamente -0,428571 no ano de 2013 para o Norte Fluminense (Tabela 4). Já para o Noroeste Fluminense (Tabela 5), há uma tendência de 0,0131 e -0,1990 (Mann-Kendall), crescente ou positiva para o ano de 2001, pois $Z > 0$, e decrescente ou negativa para o ano de 2013, pois $Z < 0$ sendo insignificante para ambos os anos, pois $p > \alpha$ (0,05) e que para o ano de 2001 não houve aumento e nem diminuição, aproximadamente e para o ano de 2013 houve uma queda de, aproximadamente, -0,1909.

Tabela 4. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Região do Governo Norte Fluminense nos anos 2001 e 2013.

Análise Estatística das Variáveis de Focos (α 5%)		
Variáveis de Focos - Norte Fluminense		
Estatísticas	Focos 2001	Focos 2013
Escore Z	0,9435	0,0750
Mann-Kendall	0,2540	0,2
Curvat. Sen	1,4286	-0,428571
Prob. (p)	0,4017	1

Tabela 5. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Região do Governo Noroeste Fluminense nos anos 2001 e 2013.

Análise Estatística das Variáveis de Focos (α 5%)		
Variáveis de Focos - Noroeste Fluminense		
Estatísticas	Focos 2001	Focos 2013
Escore Z	0,0614	-0,9249
Mann-Kendall	0,0131	-0,1990
Curvat. Sen	0	-0,1909
Prob. (p)	1	0,3880

Na região Serrana (Tabela 6), há uma tendência de 0,5200 e 0,0203 (Mann-Kendall), crescente ou positiva, pois $Z > 0$, sendo significativa para o ano de 2001, pois $p < \alpha$ (0,05) e insignificante para o ano de 2013, pois $p > \alpha$ (0,05) e que para o ano de 2001 houve o aumento de aproximadamente 1 foco, e para o ano de 2013 não houve um aumento e nem diminuição no número de focos. Há uma tendência de 0,1410 e 0,2 (Mann-Kendall), crescente ou positiva, pois $Z > 0$ para o ano de 2001 e sem tendência para o ano de 2013 pois $Z = 0$, sendo insignificante, pois $p > \alpha$ (0,05) com um aumento de focos de aproximadamente 0,0333 para o ano de 2001 e sem aumento ou diminuição para o ano de 2013 para a regiões do Governo das Baixadas Litorâneas (Tabela 7).

Tabela 6. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Região do Governo Serrana nos anos 2001 e 2013.

Análise Estatística das Variáveis de Focos (α 5%)		
Variáveis de Focos - Região Serrana		
Estatísticas	Focos 2001	Focos 2013
Escore Z	2,6445	0,1014
Mann-Kendall	0,5200	0,0203
Curvat. Sen	1	0
Prob. (p)	0,0095	0,9596

Tabela 7. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Região do Governo Baixadas Litorâneas nos anos 2001 e 2013.

Análise Estatística das Variáveis de Focos (α 5%)		
Variáveis de Focos - Baixadas Litorâneas		
Estatísticas	Focos 2001	Focos 2013
Escore Z	0,5493	0
Mann-Kendall	0,1410	0,2
Curvat. Sen	0,3333	0
Prob. (p)	0,6472	1

Há uma tendência de 0,13 e 0,2080 (Mann-Kendall), crescente ou positiva, pois $Z > 0$, sendo insignificante, pois $p > \alpha$ (0,05) e com um aumento de focos de aproximadamente 0,55 para o ano de 2001 e 0,5357 para o ano de 2013 na região Médio Paraíba (Tabela 8). Há uma tendência de 0,1720 e 0,0488 (Mann-Kendall), crescente ou positiva, pois $Z > 0$, sendo insignificante, pois $p > \alpha$ (0,05) sem aumento ou diminuição para ambos os anos na região Metropolitana (Tabela 9).

Tabela 8. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Região do Governo Médio Paraíba nos anos 2001 e 2013.

Análise Estatística das Variáveis de Focos (α 5%)		
Variáveis de Focos - Médio Paraíba		
Estatísticas	Focos 2001	Focos 2013
Escore Z	0,6124	0,9798
Mann-Kendall	0,13	0,2080
Curvat. Sen	0,55	0,5357
Prob. (p)	0,5815	0,3583

Tabela 9. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Região do Governo Metropolitana nos anos 2001 e 2013.

Análise Estatística das Variáveis de Focos (α 5%)		
Variáveis de Focos - Metropolitana		
Estatísticas	Focos 2001	Focos 2013
Escore Z	0,9782	0,2942
Mann-Kendall	0,1720	0,0488
Curvat. Sen	0	0
Prob. (p)	0,3456	0,7937

Há uma tendência de 0,58 e 0,3030 (Mann-Kendall), crescente ou positiva, pois $Z > 0$, sendo significativa para o ano de 2001, pois $p < \alpha$ (0,05) e insignificante para o ano de 2013, pois $p > \alpha$ (0,05), com um aumento de focos de aproximadamente 1,1429 e 0,8333, respectivamente no Centro-Sul (Tabela 10). Na Costa Verde (Tabela 11), há uma tendência de 0,2 e 0,1830 (Mann-Kendall), sem tendência para o ano de 2001, pois $Z = 0$, e crescente ou

positiva para o ano de 2013, pois $Z > 0$, sendo insignificante, pois $p > \alpha$ (0,05), sem aumento ou diminuição para o ano de 2001 e com um aumento de 1 foco para o ano de 2013.

Tabela 10. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Região do Governo Centro – Sul Fluminense nos anos 2001 e 2013.

Análise Estatística das Variáveis de Focos (α 5%)		
Variáveis de Focos - Centro - Sul Fluminense		
Estatísticas	Focos 2001	Focos 2013
Escore Z	2,2098	1,1851
Mann-Kendall	0,58	0,3030
Curvat. Sen	1,1429	0,8333
Prob. (p)	0,0345	0,2740

Tabela 11. Medidas Estatísticas para os dados de Focos na Região do Governo Costa Verde nos anos 2001 e 2013.

Análise Estatística das Variáveis de Focos (α 5%)		
Variáveis de Focos - Costa Verde		
Estatísticas	Focos 2001	Focos 2013
Escore Z	0	0,3612
Mann-Kendall	0,2	0,1830
Curvat. Sen	0	1
Prob. (p)	1	1

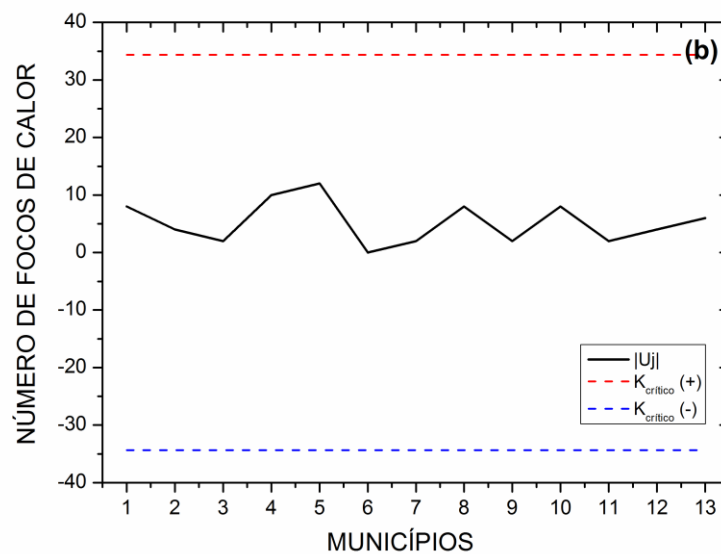
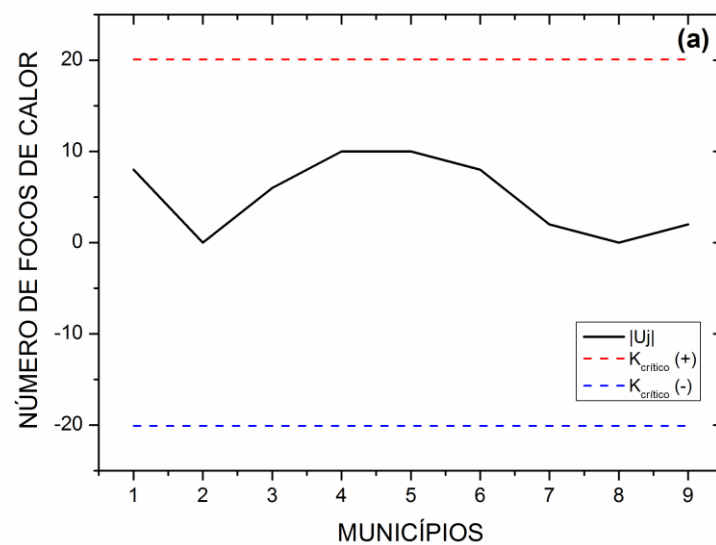
O teste de Mann-Kendall é forte, livre de suposições sobre a forma matemática da tendência ou distribuição de probabilidade dos erros, por isso ele foi aplicado no intuito de verificar se as variáveis de focos estão indicando alguma tendência, seja positiva ou negativa. A estatística de Mann-Kendall e a curvatura de Sen permitem verificar se há alguma tendência de variação dos focos de calor no período estudado. Neste trabalho o teste se mostrou com forte tendência de crescimento dos focos de incêndio não só dentro das regiões do Governo, como para os municípios do estado, apesar dos valores, em sua maioria, serem insignificantes. Faz-se necessário avaliar mais anos pelo Teste de Mann-Kendall para corroborar os resultados.

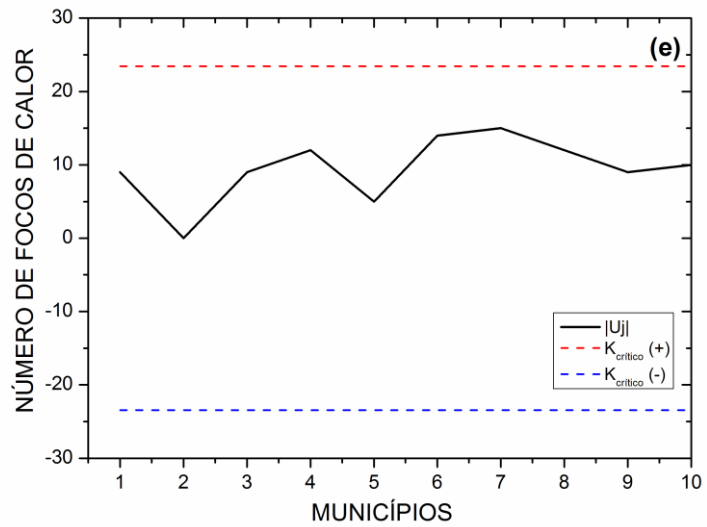
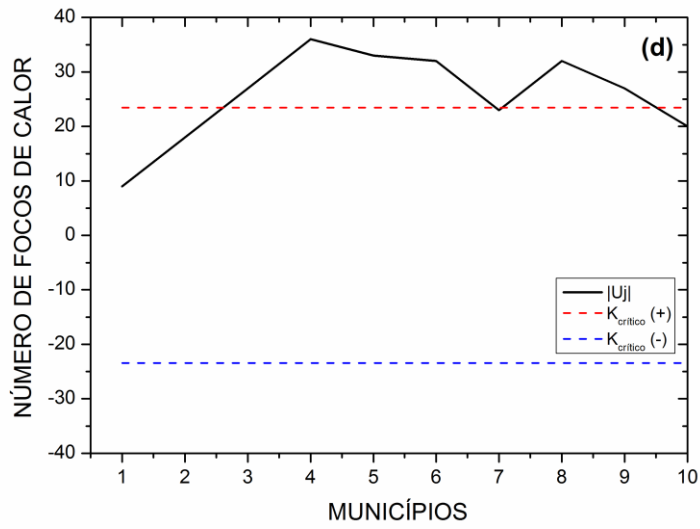
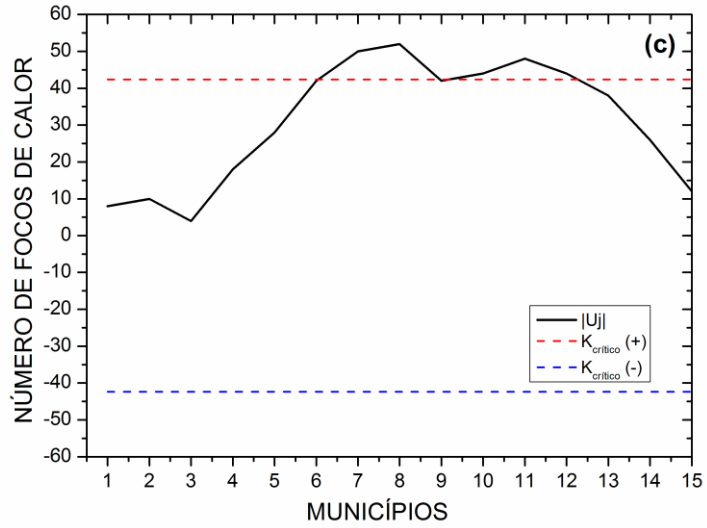
Para as regiões do Governo, o Teste de Pettitt se mostrou inválido, pois a estatística $U(j)$ das regiões do Governo não cruzou um dos limites do intervalo de confiança para o ano de 2001 e 2013. As únicas exceções foram as regiões do Governo Serrana, Metropolitana e Médio Paraíba no ano de 2013.

A Figura 9 mostra que na região Serrana (c), o teste se apresentou válido para o ano de 2001, pois a estatística $U(j)$ cruzou um dos limites do intervalo de confiança, e a cidade de Nova Friburgo foi a que obteve o maior $U(j)$. Logo, apresenta uma tendência de aumento de focos médio nesta região. Além disso, o teste é significativo, pois p (0,011) $<$ α (0,05). Para a região Centro - Sul (d), o teste se apresentou válido, pois a estatística $U(j)$ cruzou um dos limites do intervalo de confiança, e a cidade de Mendes foi a que obteve o maior $U(j)$. Logo,

apresenta-se uma tendência de crescimento de focos médio nesta região. Além disso, o teste é significativo, pois $p(0,0009) < \alpha(0,05)$. Para a região Metropolitana (f), o teste se apresentou válido, pois a estatística $U(j)$ cruzou um dos limites do intervalo de confiança, e a cidade de Queimados foi a que obteve o maior $U(j)$. Logo, apresenta-se uma tendência de aumento de focos médio na região. Além disso, o teste é significativo, pois $p(3 \times 10^{-6}) < \alpha(0,05)$.

As regiões Norte Fluminense (a) e Costa Verde (h), o teste se apresentou inválido, pois a estatística $U(j)$ não cruzou um dos limites do intervalo de confiança, e as cidades de Conceição de Macabu e Macaé (Norte Fluminense) e Angra dos Reis e Parati (Costa Verde) foram as que obtiveram o maior $U(j)$. Logo, apresentam uma tendência de queda de focos médio. Além disso, o teste é insignificante, pois $p(0,4768) > \alpha(0,05)$ e $p(0,5134) > \alpha(0,05)$.





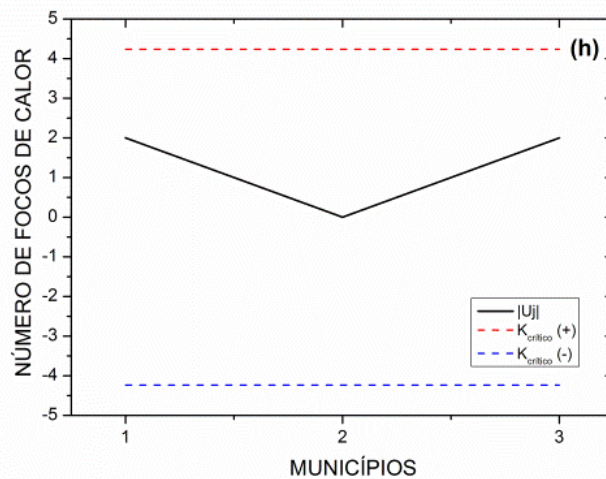
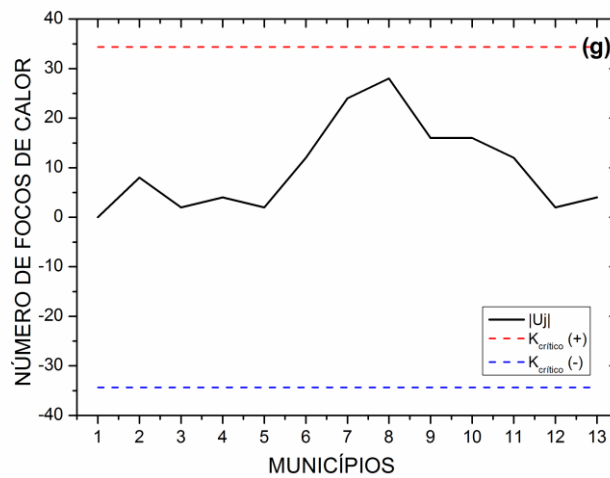
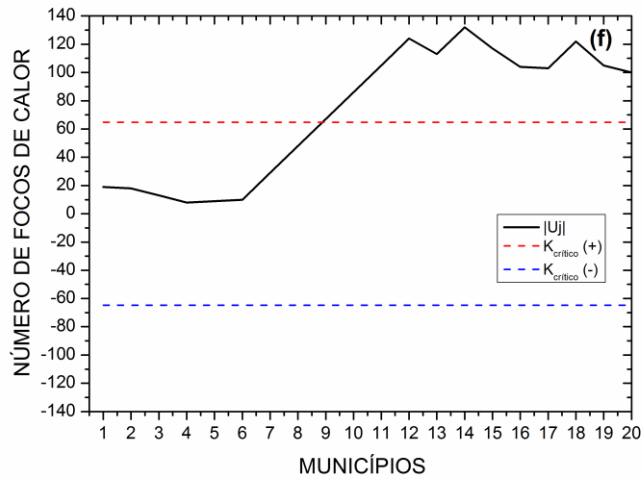
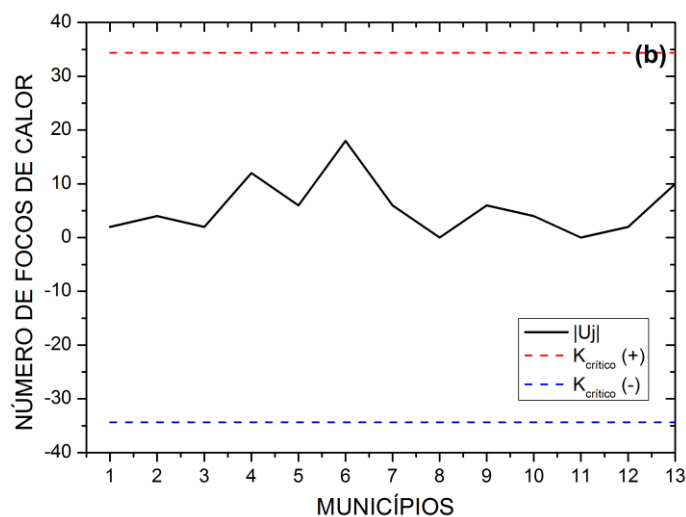
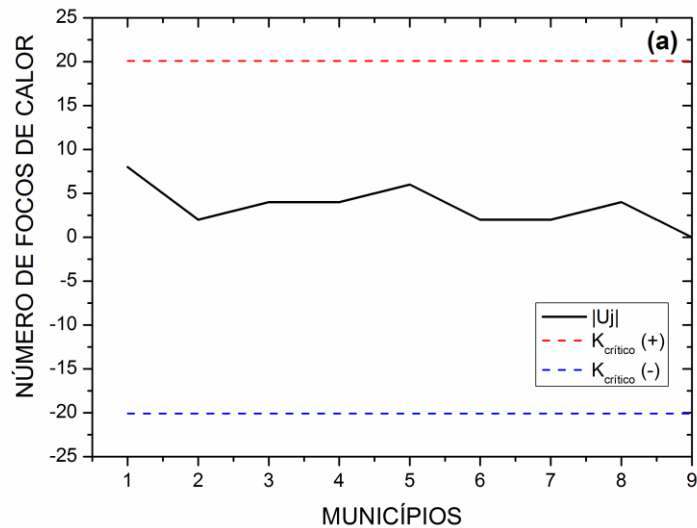
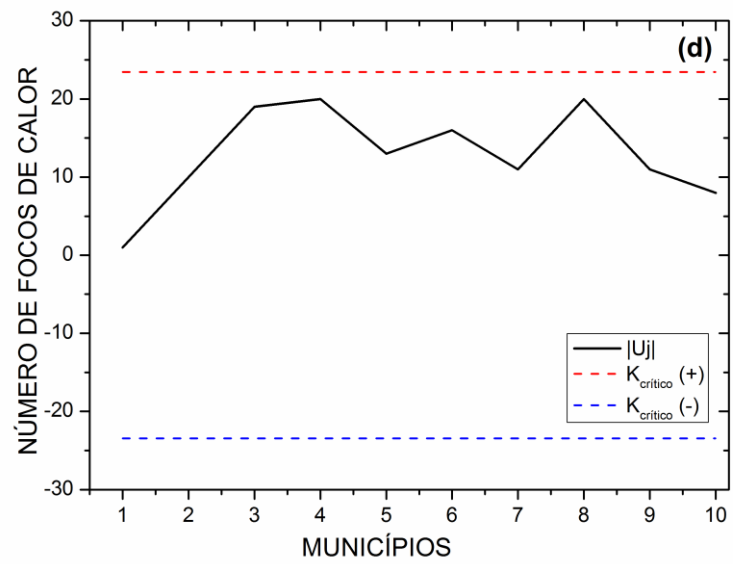
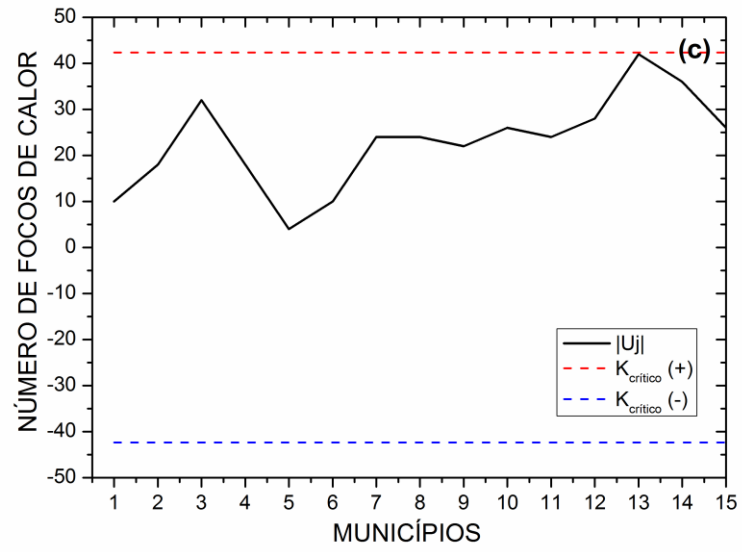


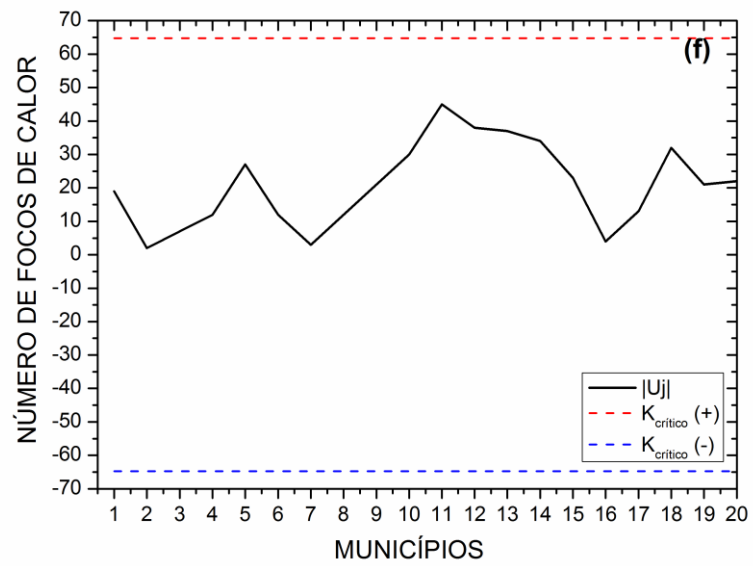
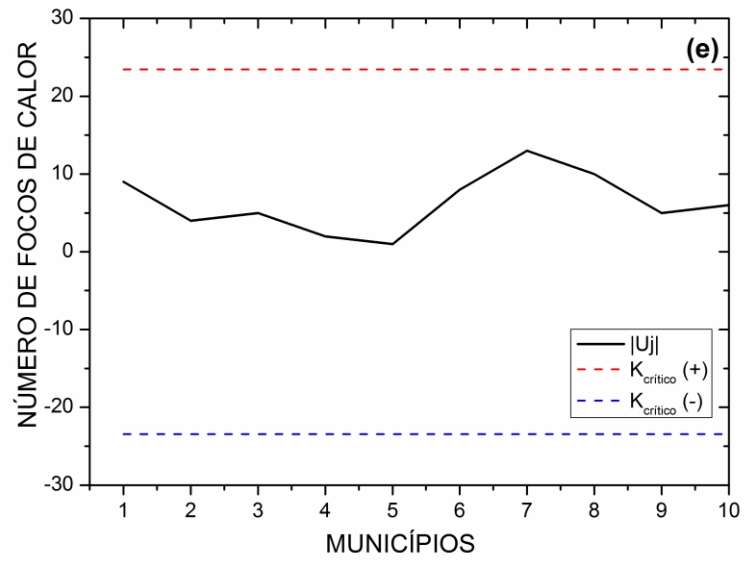
Figura 9. Comparação do número de focos de calor *versus* Municípios por Regiões do Governo ((a) Norte, (b) Noroeste, (c) Serrana, (d) Centro-Sul, (e) Baixadas, (f) Metropolitana, (g) Médio Paraíba e (h) Costa Verde) do Estado do Rio de Janeiro pelo teste de Pettitt a nível de significância α de 5% no ano 2001.

A Figura 10 mostra que a estatística $U(j)$ não cruzou um dos limites do intervalo de confiança de nenhuma região. As regiões que apresentaram maiores valores de focos foram a Metropolitana (f) e Serrana (c), sendo os principais municípios contribuintes, respectivamente, Niterói e Sumidouro. Além disso, o teste é insignificante para ambas as regiões, sendo $p(0,2354) > \alpha(0,05)$ para a Metropolitana e $p(0,0529) > \alpha(0,05)$ para a Serrana.

Os menores valores foram para as regiões Norte Fluminense (a) e Costa Verde (h), sendo os principais municípios contribuintes, respectivamente, Angra dos Reis e Campos dos Goytacazes. Além disso, o teste é insignificante, pois $p(0,5134) > \alpha(0,05)$ e $p(0,6225) > \alpha(0,05)$, respectivamente.







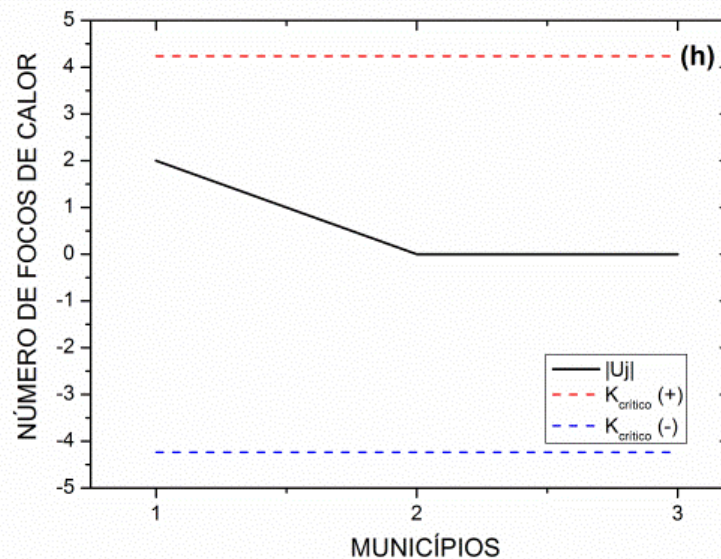
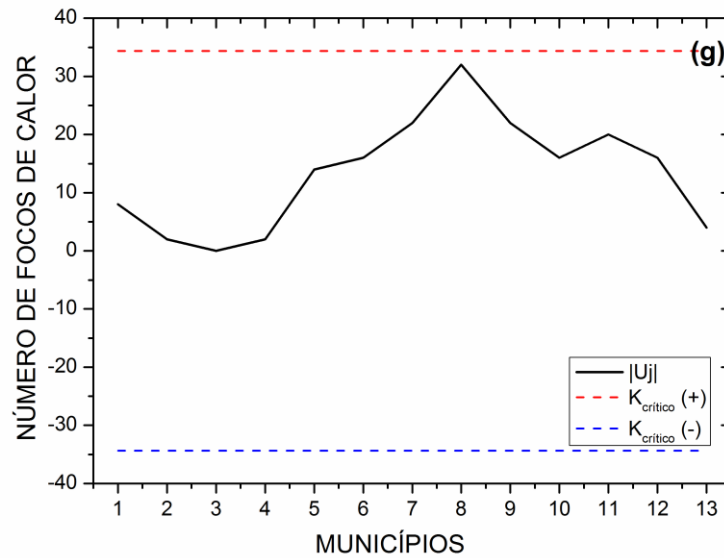


Figura 10. Comparação do número de focos de calor *versus* municípios por Regiões do Governo ((a) Norte, (b) Noroeste, (c) Serrana, (d) Centro-Sul, (e) Baixadas, (f) Metropolitana, (g) Médio Paraíba e (h) Costa Verde) do Estado do Rio de Janeiro pelo teste de Pettitt no nível de significância α de 5% no ano 2013.

5.3 Distribuição de Weibull Aplicado na Série Temporal dos Focos de Calor

A Figura 11 mostra a função de densidade de probabilidade para as frequências (observada e estimada) de foco de incêndios, cujos valores foram obtidos a partir do histograma. A distribuição de Weibull apresentou dois graus de liberdade. Os parâmetros ajustados de forma foi 0,85 e de escala 216,64.

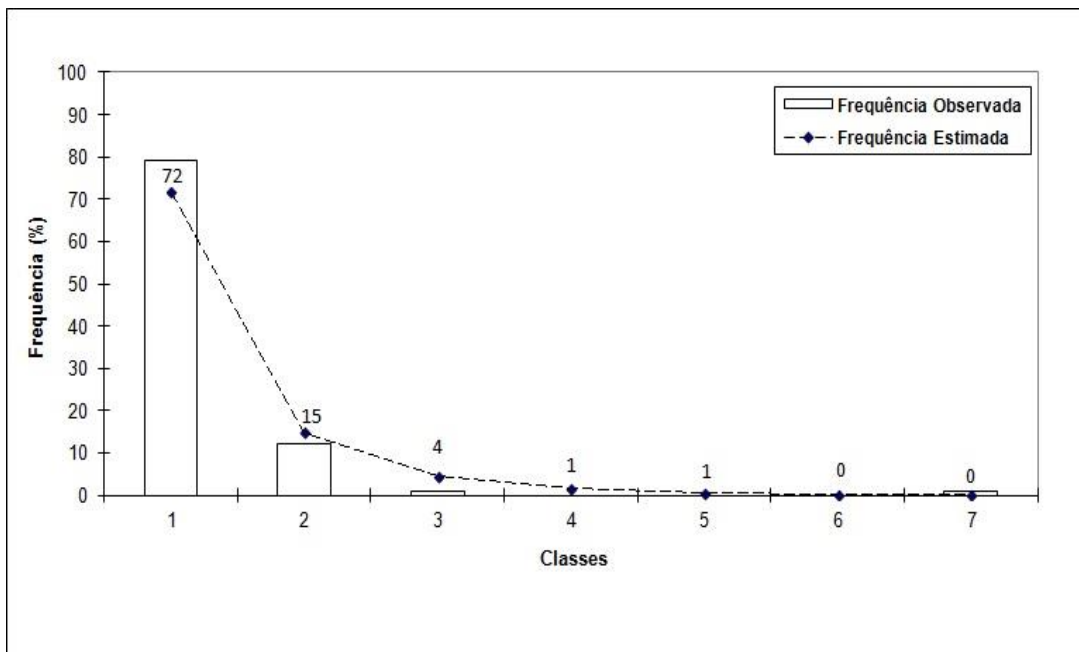


Figura 11. Função de densidade de probabilidade das frequências dos focos de incêndios do Rio de Janeiro no período de 2000-2012.

A distribuição Weibull se aproxima da distribuição exponencial, ou seja, a mesma pode ser definida como uma boa aproximação para a modelagem de focos de incêndio anuais no estado do Rio de Janeiro. Através dos testes χ^2 -Quadrado e KS não houve restrição e foi aceita a concordância entre os valores observados e os esperados dos valores de focos de incêndios no período de estudo. Os valores da distribuição cumulativa foram da ordem de 72% na 1ª classe (municípios com até 346 focos), seguido de 15% na 2ª classe (municípios com 346 a 690 focos), 4% na 3ª classe (municípios com 690 a 1034 focos) e nas demais classes foram entre 0 e 1%. Baseado nos testes de χ^2 e KS, a distribuição Weibull não foi significativa, ou seja, as suas estimativas não diferem estatisticamente da distribuição observada para os valores avaliados.

5.4 Análise de Agrupamento na Série Temporal dos Focos de Calor

A Figura 12a mostra permite analisar o agrupamento na Série Temporal dos focos de calor entre 2 grupos homogêneos, sendo o mais representativo o que concentra no final do inverno e na primavera (meses entre agosto e outubro). A Figura 12b mostra a relação entre 3 grupos homogêneos, sendo o primeiro compreendido pelos anos 2002, 2005, 2007 e 2012 o mais representativo e cujos os anos apresentaram o fenômeno do El Niño de moderado a forte, de acordo com (CPTEC 2014).

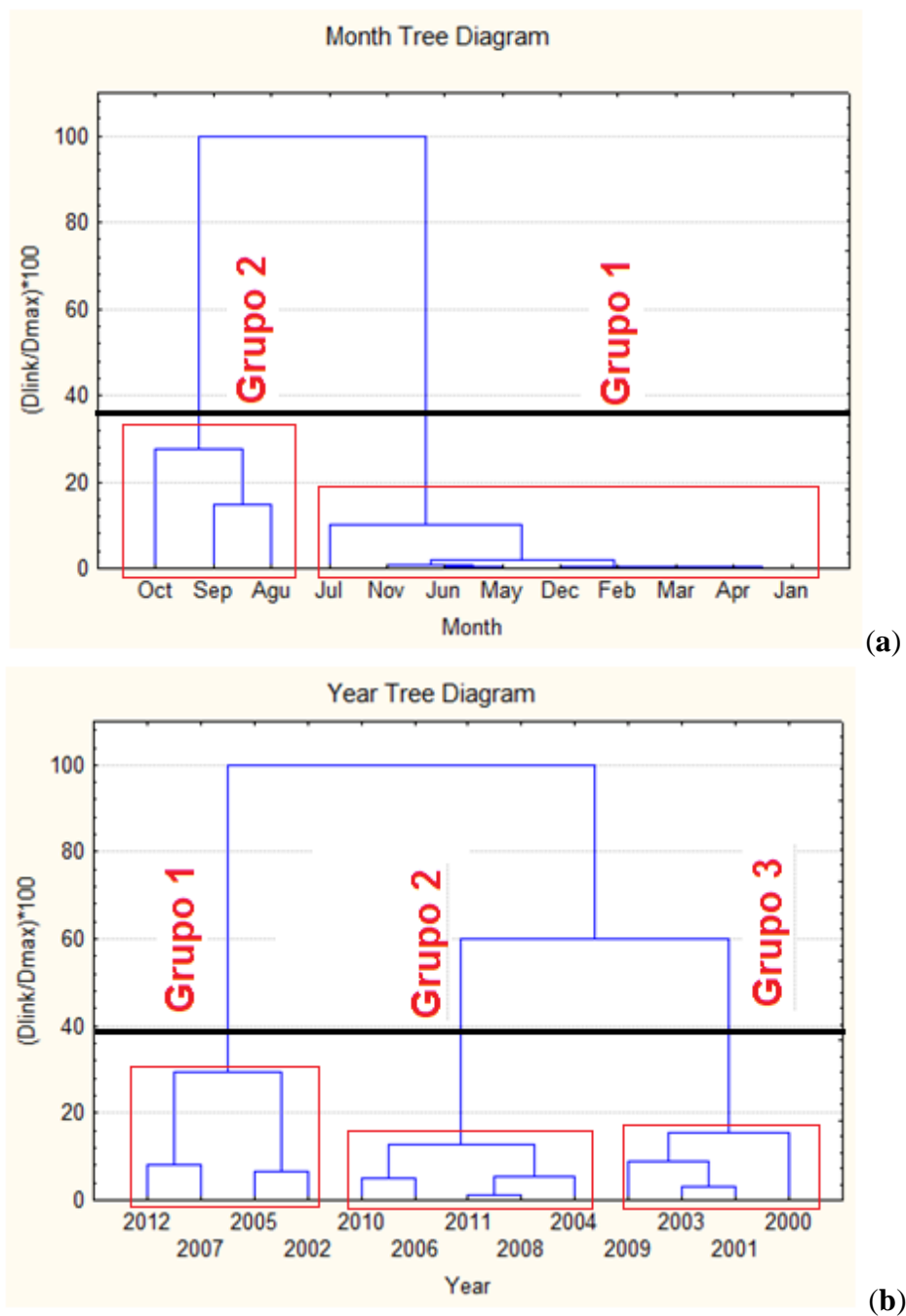


Figura 12. Grupos homogêneos de focos de calor mensal (a) e anual (b) no estado do Rio de Janeiro no período de 2001 e 2012.

5.5 Relação entre Uso e Ocupação do Solo *versus* os Focos de Calor

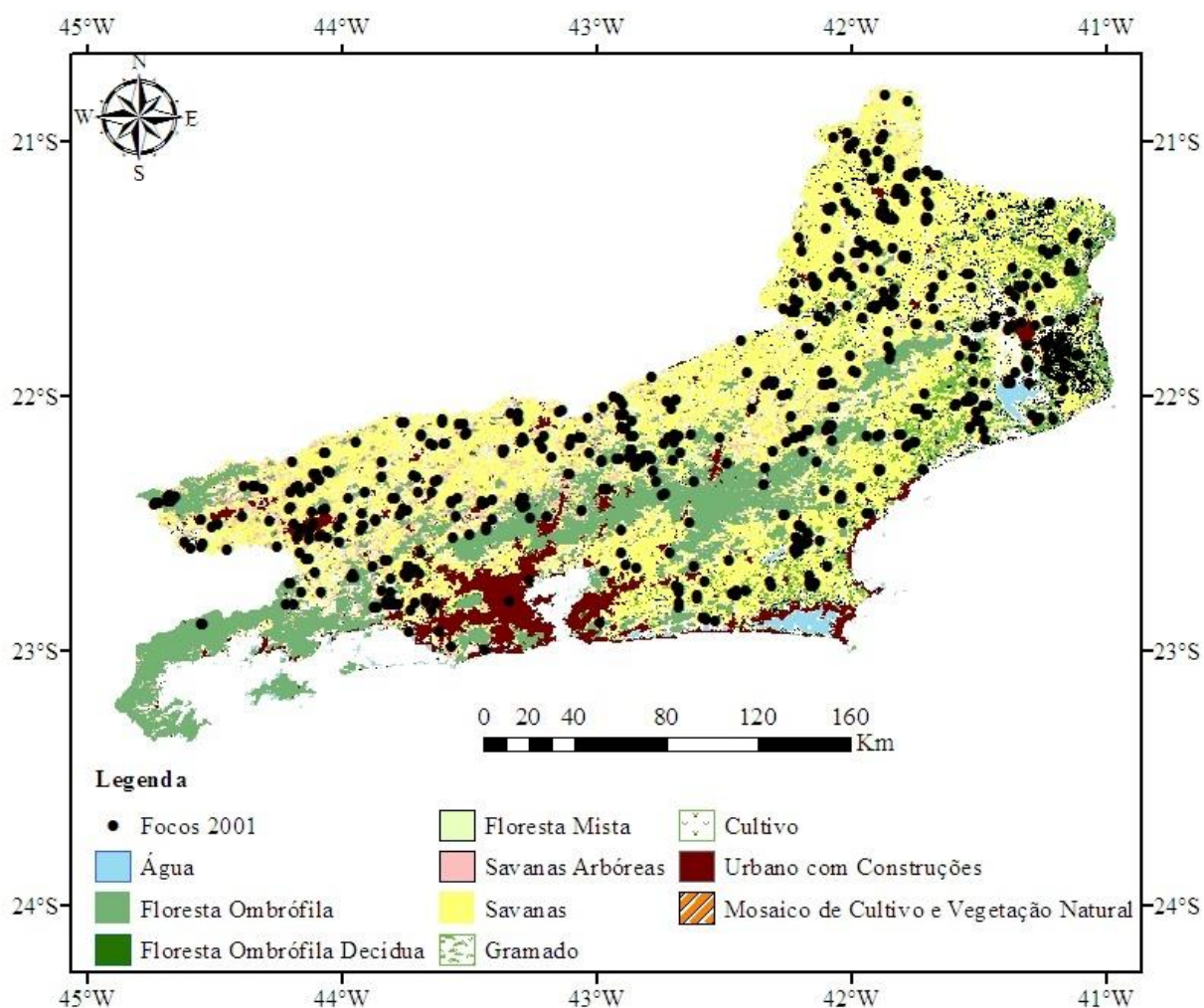


Figura 13. Distribuição espacial dos focos de calor *versus* as classes de uso e cobertura do solo para o ano de 2001.

Tabela 12. Número, classe, quantidade e percentual de focos de calor *versus* o uso e ocupação do solo no ano de 2001.

Classe número	Classe nome	Quantidade de Focos	Percentual (%)
2	Floresta Ombrófila	52	8,32
8	Savanas Arbóreas	58	9,28
9	Pastagem	354	56,64
10	Gramado	28	4,48
12	Cultivo	21	3,36
13	Urbano com Construções	17	2,72
14	Mosaico de Cultivo e Vegetação Natural	76	12,16

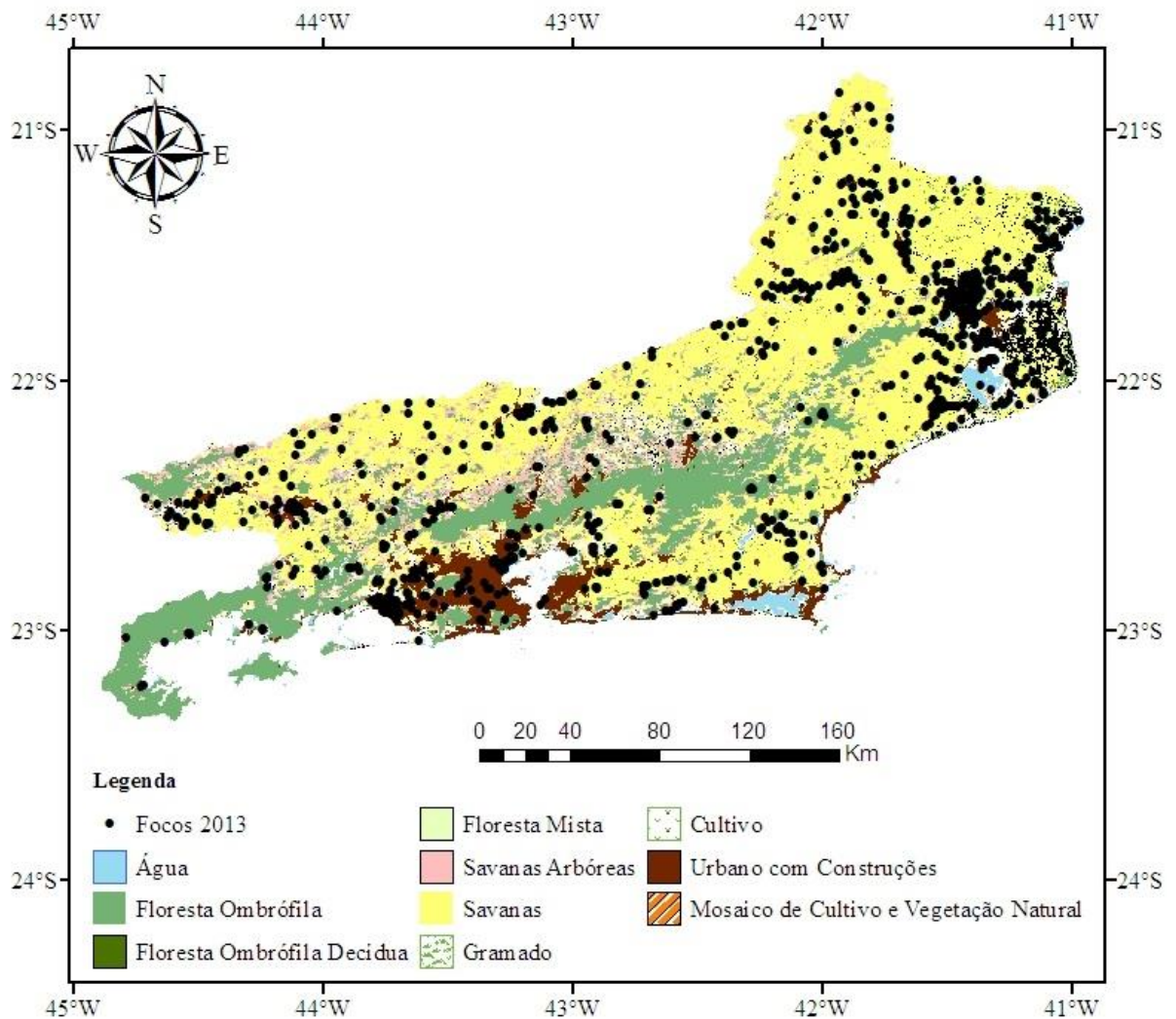


Figura 14. Distribuição espacial dos focos de calor *versus* as classes de uso e cobertura do solo para o ano de 2013.

Tabela 13. Número, classe, quantidade e percentual de focos de calor *versus* o uso e ocupação do solo para o ano de 2013.

Classe número	Classe nome	Quantidade de focos	Percentual (%)
2	Floresta Ombrófila	41	3,07
8	Savanas Arbóreas	51	3,82
9	Pastagem	564	42,28
10	Gramado	78	5,85
12	Cultivo	74	5,55
13	Urbano com Construções	297	22,26
14	Mosaico de Cultivo e Vegetação Natural	192	14,39

A Tabela 12 mostra as principais classes com focos de calor para o ano de 2001. Verifica-se que a classe Pastagem, via produto MCD12Q1, apresentou 354 pontos de focos para o ano de 2001 (Figura 13), cerca de 56% do total anual, que foi de 628 focos. Neste ano, a

concentração dos focos de calor ficou bem distribuída ao longo do estado, porém, percebe-se uma maior concentração no município de Campos dos Goytacazes (Norte Fluminense), devido aos fatores climáticos – níveis baixos de chuva e alta temperatura, e prática rotineira da queima em canaviais. Já a região Costa Verde foi a que apresentou o menor número de focos de calor, cuja classe predominante foi a de Floresta Ombrófila. Para o ano de 2013, observa-se que houve aumento na concentração de focos de calor na região de Campos dos Goytacazes (Norte Fluminense) e na região Metropolitana. Por meio da contagem dos focos de calor em relação às classes de uso e ocupação do solo, a classe Pastagem, via produto MCD12Q1, apresentou 564 pontos de focos (Figura 14) sendo o total no ano de 1334 focos. Novamente, a região da Costa Verde foi a que apresentou o menor número de focos de calor em relação às demais regiões.

6.0 CONCLUSÕES

Os satélites meteorológicos que apresentam melhor desempenho na identificação dos focos de calor no estado do Rio de Janeiro são AQUA-MT, TERRA-MT e NOAA-12.

A distribuição de Weibull representa satisfatoriamente a distribuição de probabilidade dos focos de calor acumulados anuais no estado do Rio de Janeiro.

O teste de Mann-Kendall mostra que para todas as regiões do Governo do Estado do Rio de Janeiro houve variabilidade da série temporal de focos de calor e permite concluir que há tendência significativa de aumento para os anos de 2001 e 2013.

O teste de Pettitt mostra que para o ano de 2001 praticamente 70% dos municípios esteve acima do limite crítico, o que não ocorre para o ano de 2013, no qual apenas 11 municípios ultrapassaram o limite crítico, mesmo o ano de 2013 tendo mais do que o dobro de focos de calor.

O município que apresenta o maior percentual de focos de calor é Campos dos Goytacazes, sendo relacionados à ocorrência de grandes áreas de pastagem, seguida das condições climáticas e da produção de cana-de-açúcar baseado na prática de queimadas.

O MCD12Q1 com a classe Pastagem tem os maiores focos de calor, sendo concentrados na região Norte do Estado do Rio de Janeiro.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMI, M.; FREITAS, R. M.; PADOVANI, C. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; MOREIRA, M. A. Estudo da dinâmica espaço-temporal do bioma Pantanal por meio de imagens MODIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1371-1378, 2008.
- ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E.; DEFRIES, R. S.; MORTON, D. 2005. Assessment of deforestation in near real time over the Brazilian Amazon using multitemporal fraction images derived from Terra/MODIS. **IEEE Geoscience and Remote Sensing letters**, São José dos Campos, 2 (3): 315-318. INPE. Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites. Jun. 2008.
- ANTUNES, M. A. H.; RIBEIRO, J. C.; Uso de satélites para detecção de queimada e para avaliação do risco de fogo. **Ação Ambiental**, Minas Gerais: UFV, v. 2, n. 12, p. 24-27, 2000.

- ARMENTERAS-PASCUAL, D.; RETANA-ALUMBREROS, J.; MOLOWNY-HORAS, R.; ROMAN-CUESTA, R. M.; GONZALEZ-ALONSO, F.; MORALES-RIVAS, M.; 2011. Characterizing fire spatial pattern interactions with climate and vegetation in Colombia. **Agricultural and Forest Meteorology**. 151, p. 279-289. 2011.
- ATAÍDE, K. R. P. **Modelagem de determinação da evapotranspiração real para o bioma cerrado por meio de dados de sensoriamento orbital**. 2012. 176 p. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, Brasília.
- BAILING Jr.; R. C.; MEYER, G. A.; WELLS, S. G. Relation of surface climate and burned area in Yellowstone National Park. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 60, p. 285-293, 1992.
- BATISTA, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. **Floresta** 30, 45-54. 2003.
- BOSCHETTI, L.; ROY, D.; HOFFMANN, A. A. **MODIS Collection 5 Burned Area Product - MCD45 User's Guide**. Version 2.0. 2009.
- CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. Editora Contexto. 147p. 1991
- CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - CPTEC. Monitoramento de focos. Disponível em: <http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas/>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2013.
- CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - CPTEC. Monitoramento de focos. Disponível em: < <http://www.inpe.br/queimadas/faq.php> 2012 >. Acessado em: 23 de outubro de 2014.
- CHUVIESCO E.; CONGALTON RG. Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. **Remote Sensing of Environment** 29: 147-159. 1989.
- COHEN, W. B.; JUSTICE, C. O. Validating MODIS terrestrial ecology products: linking in situ and satellite measurements. **Remote Sensing. Environment**, 70: 1-3, 1999.
- DEFRIES, R. S.; TOWNSHEND, J. R. G. NDVI-derived land cover classifications at a global scale. **International Journal of Remote Sensing**, v 15, n 17, p. 3567-3586, 1994.
- DELGADO, R. C.; SOUZA, L. P.; RODRIGUES, R. A.; OLIVEIRA, E. C.; SANTOS, R. S. Tendência climática de aumento da temperatura mínima e da pressão de saturação do vapor d' água na Amazônia Ocidental. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, p. 2584-2598, 2012.
- DOMENIKIOTIS, C.; DALEZIOS, N.R.; LOUKAS, A.; KARTERIS, M. 2002. Agreement assessment of NOAA/AVHRR NDVI with Landsat TM NDVI for mapping burned forested areas. **International Journal of Remote Sensing**, 23 (20): 4235-4246.2002.
- EMBRAPA - **Monitoramento por satélites**. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/texto/princ.html>> Acesso em: 29 de outubro de 2014.
- EMBRAPA. Disponível em: <<http://www.urbanizacao.cnpm.embrapa.br/conteudo/uf/rj.html>> Visitado em 05 de novembro de 2014.
- FERNANDES, M. C.; COURA, P. H. F.; SOUSA, G. M.; AVELAR, A. S. Avaliação Geocológica de Susceptibilidade à Ocorrência de Incêndios no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Floresta e Ambiente**, v 18, n 3, p 299-309. 2011.

- FERRARI, A. L.; VECCHIA, F. A. S.; COLABONE, R. O.; Tendência e Variabilidade Anuais da Temperatura e da Pluviosidade em Pirassununga – SP. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 8 – Vol. 10. 2012.
- FERREIRA, D. A. C.; TRANCOSO, R.; NOGUERA, S. P.; Filho, A. C. O uso dos focos de calor imageados pelo satélite NOAA-AVHRR para identificação das áreas em processo de desflorestamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE. p 2145-2142. 2005.
- FRANÇA, D. A.; FERREIRA, N. J.; Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. **Anais... Goiânia: INPE**. p 3017-3023. 2005.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica período 2008-2010**. 2011.
- FREUND, Y. Boosting a weak learning algorithm by majority. **Information and Computation**, 121(2), 256-285. 1995.
- FRIEDL, M. (s.d.) **Validation of the Consistent** - Year V003 MODIS Land Cover Product. Disponível em: <http://landval.gsfc.nasa.gov/pdf/MOD12_supporting_materials.PDF>. Acesso em: 28 de Outubro de 2014.
- FRIEDL, M.A.; MCIVER, D.K.; HODGES, J.C.F.; ZHANG, X.Y.; MUCHONEY, D.; STRAHLER, A.H.; WOODCOCK, C.E.; GOPAL, S.; SCHNEIDER, A.; COOPER, A.; BACCINI, A.; GAO, F.; & SCHAAF, C. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. **Remote Sensing of Environment**, 83, 287-302. 2002.
- FRIEDL, M.A.; SULLA-MENASHE, D.; TAN, B.; SCHNEIDER, A.; RAMANKUTTY, N.; SIBLEY, A.; HUANG, X. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. **Remote Sensing of Environment**, 114, 168-182. 2010.
- FURTADO, J. M. Hora da retomada. **Exame**. v 2, n 664, p 4- 6, 1998.
- GIGLIO, L.; DESCLOITRES, J.; JUSTICE, C.O.; KAUFMAN, Y. J. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. **Remote Sensing of Environment**, 87 (2-3):273-282. 2003.
- GITAS, I. Z.; MITRI, G. H.; VENTURA, G. Object-based image classification for burned area mapping of Creus Cape, Spain, using NOAA-AVHRR imagery. **Remote Sensing of Environment**. v 92, n 3, p 409-413. 2004.
- GRANEMANN, D. C.; CARNEIRO, G. L. Monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. Páginas 55-62. 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Agropecuário**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/>. Acessado em: 12 de outubro de 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Populacional**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: 12 de outubro de 2014.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acessado em: 24 de outubro de 2014.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Monitoramento de Queimadas. Banco de Dados**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>>. Acessado em: 05 de outubro de 2014.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Queimadas, Monitoramento de Focos**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/faq.php>>. Acesso em 22 de outubro de 2014.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites**. Coordenação Geral de Observação da Terra. São José dos Campos. 2008.
- JUSTICE, C. O.; HIERNAUX, P. H. Y. Monitoring the grasslands of the Sahel using NOAA AVHRR data: Niger, 1983. **International Journal of Remote Sensing**, v.7, n.11, p.1475-1498. 1986.
- JUSTICE, C. O.; GIGLIO, B.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J. T.; ROY, D. P.; DESCLOITRES, J.; ALLEAUME, S.; PETITCOLIN, F.; KAUFMAN, Y. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, 83: 244-262. 2002.
- JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G.; VERMOTE, E. F.; MASOUKA, E.; WOLFE, R. E.; SALEOUS, S.; ROY, D. P.; MORISETTE, J. T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p. 3–15. 2002a.
- JUSTICE, C. O.; GIGLIO, B.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J.T.; ROY, D.P.; DESCLOITRES, J.; ALLEAUME, S.; PETITCOLIN, F.; KAUFMAN, Y. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, 83:244-262. 2002b.
- KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 2. ed. New York: Hafner. 1970.
- KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. London: Charles Griffin, 120p. 1975.
- KIDD, C. Satellite Rainfall Climatology: A Review. **International Journal of Climatology**. 21, 1041-1066. 2001.
- KRUG, T.; OLIVEIRA, G. S.; VALENZUELA, G. C. L.; SETZER, A. W. **Incidência de queimadas nos períodos de junho a novembro de 1995 e 1996 detectadas pelo sensor AVHRR dos satélites NOAA**. São José dos Campos: INPE. 1997.
- LAND PROCESSES DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER - LP DAAC. TEAM. LP DAAC. **MCD12C1 | Yearly L3 Global 0.05Deg CMG | Land Cover | MODIS Products Table | Products | LP DAAC: ASTER and MODIS Land Data Products and Services**, 2008. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/land_cover/yearly_l3_global_0_05deg_cmg/mcd12c1>. Acesso em: 28 de outubro de 2014.
- LAND PROCESSES DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER. - LP DAAC. Disponível em: <<http://lpdaac.usgs.gov>> Acesso em: 26 de outubro de 2014.
- LI, Y.; VODACEK, A.; KREMENS, R.L.; ONONYE, A.; TANG, C. A hybrid contextual approach to wildland fire detection using multispectral imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 43 (9)2115-2126. 2005.
- MANN, H. B. **Nonparametric tests against trend**, *Econometrica*, v13, p245–259. 1945.

- MARCHIORO, E. **Modelagem hidrosedimentológica na bacia do Córrego Santa Maria: Subsídios à Aplicação de Práticas de Conservação de Água e Solo no Noroeste Fluminense**. 2008. 196f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MENDONÇA-SANTOS, M. L.; JACQUES, P. D.; COELHO, M. R.; PIMENTEL, J.; SANTOS, H. G.; ALMEIDA, P.; BARBOSA, É. L. A.; COSTA, T. C. C.; ÁVILA, R. M.; SHINZATO, E.; BRANCO, P. C. M. P. A. Mapeamento do uso atual e cobertura vegetal dos solos do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 44 p.. - Embrapa Solos. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**; n. 22. 2003.
- MENEZES, P. M. L. **A interface Cartografia-Geoecologia nos estudos diagnósticos e prognósticos da paisagem: um modelo de avaliação de procedimentos analítico integrativos**. 2000. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. 4. Ed. John Wiley & Sons, Inc., 490p. 2007.
- NEIVA, H. S. **Distribuição Espacial da Indústria e dos Serviços nas Mesorregiões do Estado do Rio de Janeiro no período 1999- 2003**. 2007. 61p. Trabalho de Conclusão de Curso, Apresentado na Faculdade de Economia e Administração da Universidade Federal de Juiz de Fora.
- OLIVEIRA, F. B.; VAITSMAN, D. S.; PEREZ, D. V.; MENEGUELLI, N.A.; MATTA, A. P. Estudos preliminares sobre a composição química do *Diospyrus kaki* L. da região serrana do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 36. São Paulo, SP. **Resumos...** São Paulo: Associação Brasileira de Química. p 13-15.1996.
- OLIVEIRA, F. G. **Reestruturação produtiva e regionalização da economia no território fluminense**. 2003. 231p. Tese Doutorado em Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- PANTOJA, N. V.; BROWN, I. F. Acurácia dos sensores AVHRR, GOES e MODIS na detecção de incêndios florestais e queimadas a partir de observações aéreas no Estado do Acre, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE. p. 4501-4508. 2007.
- PANTOJA, N. V., SELHORST, D.; ROCHA, K. S.; LOPES, F. M. C.; VASCONCELOS, S. S.; BROWN, I. F. Observações de queimadas no leste do Acre: subsídios para validação de focos de calor derivados de dados de satélites. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005.
- PAVELSKY, T.M. & L. C. SMITH, Spatial and temporal patterns in Arctic river ice breakup observed with MODIS and AVHRR time series, **Remote Sensing of Environment**, v. 93, n. 3, p. 328-338, 2004.
- PERGOLA, N.; MARCHESE, F.; TRAMUTOLI, V. Automated detection of thermal features of active volcanoes by means of infrared AVHRR records. **Remote Sensing of Environment**, 43 (9): 2115-2126. 2004.
- PEREIRA, A.C.; SETZER, A. W. Comparison of fire in savannas using AVHRR's Channel 3 and TM images. **International Journal of Remote Sensing**, 17 (10): 1925-1937.1996.
- PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C. Impactos na simulação atmosférica devido à mudança do uso e cobertura da terra na América do Sul. **Boletim de Geografia**. Maringá, v. 31, n. 2, p. 85-100. 2013

- PETTITT, A. N. **A non-parametric approach to the change-point problem.** Applied Statistics. v. 28, n. 2: 126-135, 1979.
- PRICE, J. C. Estimating leaf area index from satellite data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 31, p.727-734, 1993.
- RELATÓRIO TÉCNICO, Versão 3.4, 03/Março/2004. DSA / CPTEC / INPE. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/relat_goes.htm> Acesso em: 03 de novembro de 2014.
- RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA, caderno 22. Disponível em <http://www.rbma.org.br/rbma/pdf/caderno_22.pdf>. Acesso em: 08 de novembro de 2014.
- ROY, D. P.; LEWIS, P. E.; JUSTICE, C. O. Burned area mapping using multi-temporal moderate resolution data a bi-directional reflectance model-based expectation approach. **Remote Sensing of Environment**. 83: 263-286. 2002.
- ROY, D. P.; BOSCHETTI, L.; JUSTICE C. O.; JU, J. The collection 5 MODIS burned area product - Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product. **Remote Sensing of Environment**, 112, p. 3690-3707, 2008.
- RUNNING, S. W.; JUSTICE, C.O.; SALOMONSON, V.; HALL, D.; BARKER, J.; KAUFMANN, Y. J.; STRAHLER, A. H.; HUETE, A. R.; MULLER, J. P.; VANDERBILT, V.; WAN, Z. M.; TEILLET, P.; CARNEGIE, D. Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS. Int. J. **Remote Sensing**. 15: 3587-3620, 1994.
- RUNNING, S. W.; BALDOCCHI, D. D.; TURNER, D. P.; GOWER, S. T.; BAKWIN, P. S.; HIBBARD, K. A. A global terrestrial monitoring network integrating tower fluxes, flask sampling, ecosystem modeling and EOS satellite data. **Remote Sensing Environment**. 70: 108-127, 1999.
- SANTOS, M. L. M.; Jacques, P. D.; Coelho, M. R.; Pimentel, J.; Santos, H. G.; Almeida, P.; Barbosa, É. L. A.; Costa, T. C. C.; Ávila, R. M.; Shinzato, E.; Branco P. C. M. P. A. Mapeamento do uso atual e cobertura vegetal dos solos do Estado do Rio de Janeiro. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**. Embrapa. 2003.p 19 - 28. 2011. São Paulo.
- SANTOS, C. A. P.; SOUZA, U. B.; SILVA, W. L.; Quantificação dos focos de calor na Mesorregião do Extremo Oeste Baiano; **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil. INPE p.7926. 2011.
- SETZER, A.; YOSHIDA, M. C. Detecção de Queimadas nas Imagens do Satélite Geoestacionário GOES-12. 2004.
- SETZER, A. W.; SISMANOGLU, R. A. **Risco de Fogo** – Resumo do Método de Cálculo (versão 5 – Fevereiro - 2006). Disponível em: http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas/doc_RF_2007.pdf. Acesso em: 20 de outubro de 2014.
- SILVA, J. M. N.; SÁ, A. C. L.; PEREIRA, J. M. C. Comparison of burned area estimates derived from SPOT-VEGETATION and Landsat ETM + data in Africa: Influence of spatial pattern and vegetation type. **Remote Sensing of Environment**. 96 (2): 188-201. 2005.

- SILVA DE SOUZA L.; LANDAU L.; MORAES N. O.; PIMENTEL, L. C. G.; Air quality photochemical study over Amazonia Area, Brazil. **International Journal of Environment and Pollution**. 48: 194-202. 2012.
- STRAHLER, A.; MUCHONEY, D.; BORAK, J.; FRIEDL, M.; GOPAL, S.; LAMBIN, E.; MOODY, A. MODIS Land Cover Product Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) (version 5). 1999.
- STRAHLER, A. MODIS Website-Algorithms. MODIS Land Cover Product Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) versão 5, 1999. Disponível em: <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod12.pdf>. Acesso em: 27 de outubro de 2014.
- STROPIANA, D.; TANSEY, K.; GREGOIRE, J. M.; PEREIRA, J. M. C. An algorithm for mapping burnt areas in Australia using SPOT-VEGETATION data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. 41 (4): 907-909. 2003.
- Swetnam, T. W., Anderson, R. S. Fire Climatology in the western United States: introduction to special issue. **International Journal of Wildland Fire** 17, 1–7. 2008.
- VASCONCELOS, S. S.; BROWN, I. F. The use of hot pixels as an indicator of fires in the MAP region: tendencies in recent years in Acre, Brazil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis, **Anais...** São Jose dos Campos: INPE, 2007.
- VASCONCELOS, S. S.; ROCHA, K. S.; SELHORST, D.; PANTOJA, N. V.; BROWN, I. F. Evolução de focos de calor nos anos de 2003 e 2004 na região de Madre de Dios/Peru-Acre/Brasil-Pando/Bolívia (MAP): uma aplicação regional do banco de dados do INPE/IBAMA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José Dos Campos: INPE, 2005.
- WIEGAND, G. L.; RICHARDSON, A. J.; ESCOBAR, D. E. Vegetation indices in crop assessment. **Remote Sensing of Environment**, v.35, n.2, p.105-119, 1991.
- ZHAN, X.; SOHLBERG, R.; TOWNSHEND, J. R. G.; DIMICELIX, M. L.; CARROL, M.; EASTMAN, E. C.; HANSEN, M. C.; DEFRIES, R. S. Detection of land cover changes using MODIS 250m Data. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 336-350, 2002.
- ZHANG, X.; FRIEDL MARK A.; SCHAAF. B. C.; STRAHLER, H.A.; HODGES, J. C.F.; GAO, F.; REED. B. C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.84, p.471– 475. 2003.

8.0 ANEXOS

Tabela 14. Identificação dos municípios para a análise do Teste de Pettitt.

ID	Municípios
1	Angra dos Reis
2	Aperibé
3	Araruama
4	Areal
5	Armação de Búzios
6	Arraial do Cabo
7	Barra do Pirai
8	Barra Mansa
9	Belford Roxo
10	Bom Jardim
11	Bom Jesus do Itabapoana
12	Cabo Frio
13	Cachoeiras de Macacu
14	Cambuci
15	Campos dos Goytacazes
16	Cantagalo
17	Carapebus
18	Cardoso Moreira
19	Carmo
20	Casimiro de Abreu
21	Comendador Levy Gasparian
22	Conceição de Macabu
23	Cordeiro
24	Duas Barras
25	Duque de Caxias
26	Engenheiro Paulo de Frontin
27	Guapimirim
28	Iguaba Grande
29	Itaboraí
30	Itaguaí
31	Italva
32	Itaocara
33	Itaperuna
34	Itatiaia
35	Japeri
36	Laje do Muriaé
37	Macaé
38	Macuco
39	Magé

40	Mangaratiba
41	Maricá
42	Mendes
43	Mesquita
44	Miguel Pereira
45	Miracema
46	Natividade
47	Nilópolis
48	Niterói
49	Nova Friburgo
50	Nova Iguaçu
51	Paracambi
52	Paraíba do Sul
53	Parati
54	Paty do Alferes
55	Petrópolis
56	Pinheiral
57	Piraí
58	Porciúncula
59	Porto Real
60	Quatis
61	Queimados
62	Quissamã
63	Resende
64	Rio Bonito
65	Rio Claro
66	Rio das Flores
67	Rio das Ostras
68	Rio de Janeiro
69	Santa Maria Madalena
70	Santo Antonio de Pádua
71	São Fidelis
72	São Francisco De Itabapoana
73	São Gonçalo
74	São João da Barra
75	São João de Meriti
76	São José de Ubá
77	São José do Vale do Rio Preto
78	São Pedro da Aldeia
79	São Sebastião do Alto
80	Sapucaia
81	Saquarema
82	Seropédica

83	Silva Jardim
84	Simão Pereira
85	Sumidouro
86	Tanguá
87	Teresópolis
88	Trajano De Moraes
89	Três Rios
90	Valença
91	Varre-Sai
92	Vassouras
93	Volta Redonda

Tabela 15. Identificação dos municípios para a análise do Teste de Pettitt.

ID	Regiões do Governo
	Norte Fluminense
1	Campos Dos Goytacazes
2	Carapebus
3	Cardoso Moreira
4	Conceição de Macabu
5	Macaé
6	Quissamã
7	São Fidelis
8	São Francisco de Itabapoana
9	São João Da Barra
	Noroeste Fluminense
1	Aperibé
2	Bom Jesus do Itabapoana
3	Cambuci
4	Italva
5	Itaocara
6	Itaperuna
7	Laje do Muriaé
8	Miracema
9	Natividade
10	Porciúncula
11	Santo Antônio de Pádua
12	São José de Ubá
13	Varre-Sai

	Serrana
1	Bom Jardim
2	Cachoeiras de Macacu
3	Cantagalo
4	Carmo
5	Cordeiro
6	Duas Barras
7	Macuco
8	Nova Friburgo
9	Petrópolis
10	Santa Maria Madalena
11	São José do Vale do Rio Preto
12	São Sebastião do Alto
13	Sumidouro
14	Trajano de Moraes
15	Teresópolis
	Centro Sul Fluminense
1	Areal
2	Comendador Levy Gasparian
3	Engenheiro Paulo de Frontin
4	Mendes
5	Miguel Pereira
6	Paty Do Alferes
7	Sapucaia
8	Simão Pereira
9	Três Rios
10	Vassouras
	Baixadas Litorâneas
1	Araruama
2	Armação dos Búzios
3	Arraial do Cabo
4	Cabo Frio
5	Casimiro de Abreu
6	Iguaba Grande
7	Rio das Ostras
8	São Pedro da Aldeia
9	Saquarema
10	Silva Jardim
	Metropolitana
1	Belford Roxo
2	Duque de Caxias
3	Guapimirim
4	Itaboraí

5	Itaguaí
6	Japeri
7	Magé
8	Maricá
9	Mesquita
10	Nilópolis
11	Niterói
12	Nova Iguaçu
13	Paracambi
14	Queimados
15	Rio Bonito
16	Rio de Janeiro
17	São Gonçalo
18	São João de Meriti
19	Seropédica
20	Tanguá
	Médio Paraíba
1	Barra Mansa
2	Barra do Pirai
3	Itatiaia
4	Paraíba do Sul
5	Pinheiral
6	Piraí
7	Porto Real
8	Quatis
9	Resende
10	Rio Claro
11	Rio das Flores
12	Valença
13	Volta Redonda
	Costa Verde
1	Angra dos Reis
2	Mangaratiba
3	Parati