



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

Gustavo Soares Firme

**AVALIAÇÃO DOS FOCOS DE CALOR E DESEMPENHO DOS SATELITES
METEOROLÓGICOS NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

Profº. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior
Orientador

SEROPÉDICA - RJ
JANEIRO - 2014



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

Gustavo Soares Firme

**AVALIAÇÃO DOS FOCOS DE CALOR E DESEMPENHO DOS SATELITES
METEOROLÓGICOS NO MUNICÍPIO 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.

Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior
Orientador

SEROPÉDICA - RJ
JANEIRO - 2014

**AVALIAÇÃO DOS FOCOS DE CALOR E DESEMPENHO DOS SATELITES
METEOROLÓGICOS NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

Comissão Examinadora

Monografia aprovada em 23 de janeiro de 2014.

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

Prof. Dr. Gustavo Bastos Lyra
UFRRJ/IF/DCA
Membro

Prof. Dr. Ednaldo Oliveira Santos
UFRRJ/IF/DCA
Membro

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, que me fortalece a cada dia, a memória da minha mãe, o meu pai Sr. Roberto Carlos Firme sem o qual nada seria possível, ao meu amigo e orientador Prof. José Francisco de Oliveira Júnior que não mediu esforços frente a tamanho desafio, aos meus familiares que acreditam e põem fé em mim, a todos os meus amigos, em especial os do alojamento M4, e a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização desse sonho.

RESUMO

O presente trabalho avaliou a existência de padrões relacionais entre os focos de calor e o regime de vento na cidade do Rio de Janeiro. Os dados de focos de calor foram obtidos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) na base referente ao BDQUEIMADAS e correspondera ao período de 1998 a 2013. Atualmente, o CPTEC utiliza vários satélites meteorológicos (Órbita Polar e Geoestacionário) para identificação desses focos. Foram feitas análises estatísticas descritivas e exploratórias nos totais dos focos de calor para identificação dos períodos e áreas de maior/menor ocorrência de focos no município do Rio de Janeiro. Em vista disso, Avaliou-se o desempenho dos satélites por meio da densidade de focos por unidade de área (km²). Por conseguinte, as análises estatísticas dos focos, definiu-se o período de 2 a 12 de setembro de 2007 para simulação do regime de vento na cidade do Rio de Janeiro, com a atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Na simulação utilizou o modelo WRF (*Weather Research and Forecasting*) com 4 domínios, sendo 3 grades aninhadas e, com resoluções espaciais horizontais diminuindo na proporção de 3:1, para que houvesse interação entre os domínios foi usada interação bidirecional (“two-way”). Todos os domínios foram configurados com 52 níveis sigma na vertical. Para tanto, foram utilizados os dados de topografia e dados de elevação USGS. Os resultados obtidos da série de 16 anos mostraram que os anos de maiores ocorrências de focos de calor foram 2002 (9,2%), 2007 (10,5%), 2010 (12%) e 2011 (14,8%), correspondentes a 46,5% da série e com totais superiores a 1200 focos anuais no município do Rio de Janeiro. As estações com maiores ocorrências de focos de calor foram o inverno (33,56%) e a primavera (52,51%), enquanto que as menores ocorrências foram nas estações do verão (8%) e outono (5,88%). Os meses extremos de ocorrência de focos de calor foram agosto, setembro e outubro. Os satélites meteorológicos AQUA-MT (34,11%), NOAA-12 (11,78%), TERRA-MT (10,99%), AQUA-T (8,81%), TERRA M-M (7,80%) e NOAA 15 (6,99%) tiveram melhor desempenho na detecção dos totais de focos por unidade de área em comparação aos demais e totalizaram 80,52% focos no município do Rio de Janeiro. As classes de uso e ocupação do solo (floresta, pastagem, agricultura, área urbana, solo exposto) com maiores ocorrências de focos de calor foram pastagem (48,28%) e área urbana (39,66%). Destaque para classe da pastagem que tiveram aumento considerável no período de estudo. Os resultados gerados neste estudo são de grande valia para o planejamento das ações de prevenções e combate aos incêndios florestais e urbanos. Além disso, auxiliam na compreensão da questão do fogo e sua influência na formação da paisagem na cidade do Rio de Janeiro.

ABSTRACT

The present study shows the existence of relational patterns between the hotspots and the wind regime in the city of Rio de Janeiro . The data of hotspots were obtained from the Center for Weather Forecasting and Climate Studies (CPTEC) based on references BDQUEIMADAS and corresponded to the period 1998-2013 . Currently , CPTEC uses various meteorological satellites (Geostationary Orbit and Polar) to identify such outbreaks . Descriptive and exploratory analyzes (? ?) Statistics on the total of hotspots to identify the periods and areas of higher / lower occurrence of outbreaks in the municipality of Rio de Janeiro were made . In view of this, we evaluated the performance of the satellites through the density of foci per unit area (km^2) . Therefore , statistical analyzes of outbreaks , we defined the period 2-12 September 2007 para simulation of the wind regime in the city of Rio de Janeiro , with the performance of the South Atlantic Subtropical High (SASH) . Used in the simulation model WRF (Weather Forecasting researchand) with 4 fields , 3 nested grids and horizontal spatial resolutions with decreasing the ratio of 3:1 , so that there was interaction between the domains was used two-way interaction (" two-way " .) All domains were configured with 52 sigma levels in the vertical . We used data of topography and elevation data for both USGS , . The results of the series of 16 years showed that the years of highest occurrences of hotspots were 2002 (9.2%) , 2007 (10.5 %) , 2010 (12 %) and 2011 (14.8 %) , corresponding to 46.5 % of the series and with total 1200 annual outbreaks in the municipality of Rio de Janeiro . The stations with the highest occurrences of hotspots were winter (33.56 %) and spring (52.51 %) , while smaller events were in the summer (8 %) and autumn (5.88 %) . The months of occurrence of extreme heat spots were August, September and October . Weather satellites AQUA - MT (34.11 %) , NOAA -12 (11.78 %) , TERRA- MT (10.99%) , AQUA -T (8.81 %) , EARTH MM (7.80 %) and NOAA 15 (6.99%) outperformed the detection of total foci per unit area compared to others and amounted to 80.52 % foci in the municipality of Rio de Janeiro . The classes use and land cover (forest, grassland , agriculture , urban , bare soil) with higher occurrences of hotspots were grassland (48.28 %) and urban areas (39.66%) . Highlight for class grassland teveram considerable increase during the study period . The results from this study are valuable for the planning of prevention and fighting of forest and urban fires . In addition , help to understand the issue of fire and its influence on the landscape in the city of Rio de Janeiro

SUMÁRIO

	Pag.
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 - Modelos de Risco de Incêndio	2
2.2 - Modelos de Propagação de Incêndio.....	5
2.3 - Ferramentas SIG e Sensoriamento Remoto Aplicado ao Incêndio	8
3 - MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 - Caracterização e Localização da Área de Estudo	10
3.2 - Série de dados de Focos de calor.....	11
3.3 - Simulação do Campo de Vento – WRF (Estudo de Caso).....	11
3.3.1 - Modelo de Mesoescala WRF.....	11
3.3.2 - Domínios utilizados na simulação	12
3.3.3 - Período de Simulação.....	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1 – Avaliação Temporal dos Focos de Calor (1998-2013) no Município do Rio de.....	14
4.1.1 – Diagnóstico dos focos de calor no período mensal e total	14
4.1.2 – Diagnóstico dos Focos de Calor na Escala Sazonal.....	17
4.2 - Avaliação Espacial dos Focos de Calor versus Classes de Uso e Ocupação do Solo	19
5 - CONCLUSÕES	23
6 - BIBLIOGRAFIA REFERENCIAL	24

LISTA DE TABELAS

Pag.

Tabela 1: Características de cada domínio utilizado nas simulações.....	13
---	----

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1: Localização da Cidade do Rio de Janeiro com as categorias de uso e ocupação do solo referente área urbana e floresta respectivamente.....	10
Figura 2: Domínios utilizados na simulação do modelo WRF dando destaque a Cidade do Rio de Janeiro.....	12
Figura 3: Distribuição total e frequência (%) dos focos de calor (a) no Município do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.....	14
Figura 4: box-plot mensal (b) no Município do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.....	15
Figura 5: Densidade de focos de calor por área (focos/km ²) (a) e frequência (%) (b) no Município do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.....	16
Figura 6: Distribuição total e frequência (%) dos focos de calor no verão (a) do Município do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.....	17
Figura 7: Distribuição total e frequência (%) dos focos de calor no outono (b) do Município do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.....	18
Figura 8: Distribuição total e frequência (%) dos focos de calor no inverno (c) do Município do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.....	18
Figura 9: Distribuição total e frequência (%) dos focos de calor na primavera (d) do Município do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.....	19
Figura 10: Classes de uso e ocupação do solo (pastagem, área urbana, floresta, agricultura e solo exposto) na Cidade do Rio de Janeiro para os anos de 2002 e 2004.....	20
Figura 11: Classes de uso e ocupação do solo (pastagem, área urbana, floresta, agricultura e solo exposto) na Cidade do Rio de Janeiro para os anos de 2007 e 2009.....	21
Figura 12: Classes de uso e ocupação do solo (pastagem, área urbana, floresta, agricultura e solo exposto) na Cidade do Rio de Janeiro para os anos de 2007 e 2009.....	22
Figura 13: Distribuição total e frequência (%) das classes de uso e ocupação do solo (pastagem, área urbana, floresta, agricultura e solo exposto) na Cidade do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.....	23

INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais e queimadas destroem milhões de km² de terra por ano no mundo. Para iniciá-los é necessário, apenas uma fagulha, ou até mesmo o calor do sol em condições específicas, pode deflagrar um incêndio (ANDERSON e BROWN, 1988; GITAS et al., 2012). Os incêndios florestais diferem das queimadas, comuns no Brasil, pela amplitude do seu efeito. Um incêndio florestal tem como característica o sua elevada gravidade, devido as florestas terem por natureza alta concentração de materiais combustíveis (ANTUNES, 2000).

Por mais que incêndios deste tipo possam ter causas naturais, a maioria deles ocorre pela ação do homem. Pontas de cigarro atiradas em beiras de estrada, fogueiras mal apagadas, ou mesmo incêndios criminosos provocados intencionalmente, são cada vez mais comuns nas últimas décadas. Os incêndios florestais causam grandes impactos ambientais, econômicos e mesmo sociais, pois colocam em perigo todos os que moram ao redor da área incendiada até mesmo, meses após o incêndio ter sido apagado.

Assim incêndio florestal é um processo primário que influencia a composição da vegetação e a estrutura de qualquer local, além de ajudar a moldar a paisagem e influencia diretamente nos ciclos biogeoquímicos (WILLIAMS et al., 2003; SWETNAM e ANDERSON, 2008). Os seres humanos em diversos locais do mundo têm o hábito de utilizar o fogo como ferramenta de manejo, sendo que alguns estudos mostram que a aparente tendência de aumento de área de queimadas e incêndios nas florestas tropicais, de acordo com a comparação dos censos 2000 e 2010, especialmente durante períodos de seca, deve ser razão suficiente para abandonar técnicas de uso do fogo ou de aumento da probabilidade do mesmo (TAYLOR, et al 1999).

Nas últimas duas décadas, o Brasil implantou o sistema de monitoramento de queimadas e incêndios detectados por satélites, assim como o cálculo e previsão do risco de fogo da vegetação, denominado BDQueimadas, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - (CPTEC, 2013). O sistema ajuda na prevenção e minimização dos impactos ambientais provocados pelas queimadas e incêndios, sobretudo em Áreas de Preservação Ambiental (APA) e em Unidades de Conservação (UC) existentes no país. A aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) (como por exemplo, imagens orbitais) auxilia no diagnóstico e no monitoramento de incêndios e queimadas e, podem ser usadas na identificação de fatores que influenciam as suas ocorrências (CAÚLA, et al 2013).

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 e SISMANOGLU, 2011). Existem relações diretas entre o clima, as queimadas e os incêndios (PIÑOL et al., 1998), assim suas tendências e distribuição devem ser observadas e consideradas no desenvolvimento de políticas de gestão (BALLING JR. et al., 1992).

Pode-se observar que os remanescentes florestais existentes na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) são afetados por diversas variáveis que a degradam, sendo os incêndios florestais, por ação antrópica ou natural, a que mais impacta negativamente, causando desequilíbrios ecológicos ou mesmo perda de seu tamanho original. Contudo as medidas para de mitigação ou recuperação das áreas degradadas são pouco eficientes ou mesmo inexistentes. Assim a RMRJ apresenta uma série de registros de incêndios florestais que se repetem com forte intensidade ao longo das últimas três décadas. Entretanto, o Rio de Janeiro as pesquisas e ações de prevenção contra incêndios florestais e

urbanos são pouco desenvolvidas, sendo os esforços concentrados mais no seu combate, ao invés da mitigação, motivo principal que levou a elaboração deste estudo.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Modelos de Risco de Incêndio

As ocorrências de incêndios florestais no Brasil e no mundo vêm causando alterações drásticas no ambiente e danos à economia. Alguns mecanismos são adotados para reduzir o número de incêndios e a extensão desses danos como, por exemplo, a adoção de técnicas e medidas de prevenção baseadas em modelos de zoneamento de risco ou de mapas de risco de incêndios. Essas ferramentas têm sido empregadas cada vez mais como instrumento fundamental no planejamento dos recursos destinados à prevenção e diminuição da ocorrência dos incêndios florestais, principalmente no Brasil. Em outros países com grande experiência em combate à incêndios florestais (Portugal, Estados Unidos, Espanha, Austrália, etc.) vem sendo também utilizado esse modelo gestão juntamente com adoção de modelo de propagação de incêndios (LERTZMAN e KREBS, 1991; HOFFMANN, 1999; BARRETT et al., 2013).

A importância de se elaborar mapas de risco de incêndios tem sido evidenciada nas últimas décadas com utilização de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto (SHOW e CLARKE, 1953). Os mapas são resultados da plotagem das áreas atingidas pelos incêndios, através de informações obtidas de relatórios de incêndios de anos anteriores ou de dados atuais, no caso dados de focos de calor obtidos de satélites meteorológicos. Desse modo, com registros de vários anos, pode se definir um padrão para áreas de maior ocorrência, assim como traçar os limites que caracterizam as áreas de risco (BROWN e DAVIS, 1973; CHANDLER et al., 1983; SOARES, 1998).

A ocorrência e propagação dos incêndios florestais em uma região dependem de alguns fatores, tais como: combustível, temperatura de ignição, comportamento do fogo, características do material combustível, topografia e condições meteorológicas. Esses fatores, por sua vez, variam em função do ambiente, influenciando de maneira distinta a combustão, tendo como resultado a diversificação da ocorrência e propagação de incêndios (BATISTA, 2004).

A probabilidade do fogo ocorrer e se propagar em um determinado local é função da probabilidade de haver uma fonte, seguida da probabilidade de haver condições favoráveis para esse fogo se propagar (SOARES, 1985). Os fatores, fonte de ignição e as condições favoráveis de propagação, possibilitam avaliar o potencial de risco de incêndios de uma região, isto é, permite estabelecer potencialmente aonde e como o fogo vai se propagar (BATISTA, 2004). No grupo denominado fontes de fogo estão incluídas as atividades que geram a faísca ou a chama inicial para desencadear o processo de combustão. Segundo as estatísticas sobre a ocorrência de incêndios florestais no Brasil e outros países mostram que a maioria dos incêndios iniciou-se a partir de fontes de fogo decorrente direta ou indiretamente das atividades antrópicas (BATISTA, 2004).

A análise das causas de incêndios baseada nos registros de ocorrência de incêndios florestais consiste em uma avaliação do grau de risco em função das principais fontes de fogo. De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO) (SHOW e CLARK, 1953), as principais causas dos incêndios que ocorrem no mundo podem ser categorizadas como: naturais (raios), antrópicos (incendiários, queimas para limpeza, operações florestais,

fumantes, fogos de recreação, estradas de ferro e diversos). Avaliações estatísticas sobre incêndios florestais no Brasil indicam que as principais causas dos incêndios florestais são as queimadas para limpeza e incendiários (SOARES, 1996).

O material combustível seja ele, vivo ou morto, no solo ou acima deste, capaz de entrar em combustão e queimar é fundamental para a ocorrência e a propagação do fogo, devido ser um dos componentes do triângulo do fogo¹, não há possibilidade de ocorrência de fogo se não houver combustível para queimar. Dentre as características dos combustíveis que mais influenciam a ignição e as propagações dos incêndios destacam-se: a quantidade, a umidade, a inflamabilidade, a continuidade e a compactação (RIGOLOT, 1990; WHITEMAN, 2000).

A quantidade de material combustível existente em uma área indica se o fogo vai se propagar ou não, e determina a quantidade de calor que será liberada na queima. Nem toda vegetação existente numa área é combustível. A quantidade disponível para queimar é denominada “combustível disponível”, e dependente de várias outras propriedades como, por exemplo, a proporção entre material morto e vivo, o tamanho médio das partículas de combustível e o conteúdo de umidade (ANDERSON e BROWN, 1988).

A inflamabilidade está associada às seguintes características do combustível: estrutura, teor de umidade, composição mineral, presença de substâncias inflamáveis e estágio fisiológico (RIGOLOT, 1990). Normalmente, à medida que aumenta a proporção de combustível fino morto ou serra pilhera, tais como: folhas, acículas, e pequenos ramos, aumentam a inflamabilidade do material combustível, isto porque quanto mais fina for a partícula de combustível mais rápida é a troca de calor e umidade entre o combustível e o ambiente.

A continuidade do combustível refere-se a sua distribuição sobre uma área, ambos na horizontal e na vertical. É uma característica importante, porque controla parcialmente onde o fogo pode ir e a velocidade com que se propaga. Quando a continuidade não é uniforme, isto é, quando o combustível está disposto de forma dispersa, há dificuldade do fogo se propagar, devido às interrupções do combustível sobre a área em questão (ANDERSON e BROWN, 1988).

A compactação refere-se ao espaçamento entre as partículas do combustível. É expresso normalmente em peso por unidade de volume do combustível depositado na superfície da floresta. A melhor maneira para reduzir a inflamabilidade pela alteração da compactação é compactar os combustíveis finos e separar ou espalhar os combustíveis grossos (BATISTA, 1990).

As florestas e os incêndios que nela ocorrem são fortemente afetados pelas condições meteorológicas. Os elementos meteorológicos (temperatura do ar, umidade relativa, vento e chuva), interferem no comportamento do fogo, influenciando decisivamente na ignição e na propagação dos incêndios (HOFFMANN, 1999).

Os padrões de ventos afetam o comportamento do fogo de várias maneiras. i) transportando a umidade e acelerando a secagem dos combustíveis. ii) alastrando o fogo através do transporte de matérias acesos ou aquecidos para novos locais e inclina as chamas para próximo dos combustíveis não queimados que estão na frente do fogo. iii) Ventos de intensidade leve auxiliam à combustão pelo aumento do suprimento de oxigênio e iv) A direção da propagação é determinada principalmente pelo vento (BROWN e DAVIS, 1973).

¹O triângulo do fogo é a representação das três componentes necessárias para início da combustão, sendo eles: combustível, comburente e temperatura de ignição (WHITEMAN, 2000).

A umidade do ar é um dos fatores mais importantes na propagação dos incêndios florestais. Existe uma troca contínua de vapor d'água (H₂O) entre a atmosfera e o combustível depositado na superfície da floresta. O material seco absorve água, basicamente, da umidade do ar. Além disso, a umidade do ar é importante na avaliação do grau de dificuldade de combate aos incêndios. Dados sobre os incêndios florestais demonstram que quando a umidade relativa do ar fica abaixo de 30% ou menos, torna-se extremamente difícil combater um incêndio (GAYLOR, 1974; BATISTA, 1984).

As chuvas são importantes porque mantêm o material florestal úmido, dificultam ou tornando improvável o início e a propagação do fogo. Existe uma forte correlação entre a ocorrência de incêndios e períodos prolongados de seca. Nestes períodos de seca prolongada o material combustível perde muita umidade para o ambiente, o que o torna muito seco, gerando condições extremamente favoráveis às ocorrências de incêndios. Na avaliação do efeito da chuva, deve-se considerar não apenas a quantidade, mas também sua distribuição espacial. Se a distribuição das chuvas em um determinado local é uniforme durante todo ano, sem uma estação seca definida, o potencial de ocorrência e propagação dos incêndios é menor do que um local onde a estação chuvosa está concentrada em alguns meses, com longos períodos de estiagem durante os outros meses. Desta maneira, a distribuição da chuva é, portanto fator fundamental na definição do início, término e duração da estação de risco de incêndio em uma região (SCHOROEDER e BUCK, 1970; SOARES, 1985).

Outro fator importante é a topografia que influencia o clima e determina o tipo de combustível em uma determinada área. A topografia afeta profundamente as características dos regimes de ventos, particularmente os ventos de montanha e de vale. Além disso, determina a localização dos diversos tipos de combustíveis, tendo influência sobre o seu crescimento e a inflamabilidade, devido a sua influência marcante no clima local (GAYLOR, 1974).

O tipo de cobertura florestal influencia o comportamento do fogo de várias formas. A variação na cobertura vegetal implica em mudanças de aspectos relacionados com o comportamento do fogo, principalmente combustível e as condições meteorológicas. As propriedades dos combustíveis variam consideravelmente com o tipo de floresta. As variações no combustível podem causar mudanças significativas no comportamento do fogo. De acordo com (SOARES e BATISTA, 1997) a vegetação mais densa e fechada ocorre mais retenção de umidade em seu interior, que por sua vez gera um microclima mais ameno e torna o material combustível mais úmido e mais estável do que uma floresta esparsa ou aberta. Deste modo, pode-se afirmar que o fogo se propaga com mais facilidade na floresta aberta do que na densa. De um modo geral, uma floresta de coníferas apresenta condições mais propícias para a propagação do fogo do que uma floresta densa.

Análise detalhada e criteriosa de cada variável (declividade do terreno, tipo de vegetação, condições meteorológicas, entre outros) associada ao risco de incêndios permite estabelecer graus ou níveis de risco, de acordo com a influência maior ou menor dessa variável, em relação à ignição e a propagação do fogo em cada local considerado (BATISTA, 1990). Assim é possível se construir mapas de risco de incêndios para uma determinada região, associando-se a variável – fonte de fogo ou fator de propagação – ao risco potencial de incêndios. Portanto, a partir deste mapa base podem-se elaborar cartas temáticas sobre o risco de incêndios. Por exemplo, a construção de um mapa de risco de incêndios com base na declividade do terreno, no tipo de vegetação, nas condições meteorológicas, no nível de antropismo, e assim por diante, pode se elaborar tantos mapas quantas variáveis associadas ao risco de incêndios forem avaliadas (BATISTA, 1984).

Definir os níveis de risco de incêndios para cada variável analisada é importante, no entanto, oferece dificuldade na elaboração do zoneamento. Nessa fase é fundamental o conhecimento sobre as ocorrências de incêndios que foram verificadas no passado da região em estudo ou sobre passado de regiões que apresentam características similares às regiões de interesse (BATISTA, 1990). Além disso, é fundamental obter o máximo de informações sobre o comportamento do fogo em regiões similares a fim de facilitar o trabalho de definição dos níveis de risco, por exemplo, fotografias aéreas com apoio de campo são também elementos básicos tanto para caracterização das variáveis quanto para definição dos níveis de risco (BATISTA, 1990).

A etapa final do zoneamento consiste na elaboração do mapa de risco, resultante da superposição dos vários mapas temáticos. Na realidade, o mapa não consiste da simples superposição dos mapas, mas da delimitação de áreas de acordo com o nível de risco em função da somatória ponderada dos riscos parciais de cada variável analisada. Portanto, para elaboração da etapa final de zoneamento é necessário desenvolver um algoritmo ou um modelo matemático que expresse numericamente a integração de todas as variáveis. Segundo (ORGEAS e ANDERSEN, 2001) esses modelos devem ser desenvolvidos com base em informações sobre o início e a propagação do incêndio, seguido do levantamento de campo, de forma que possam representar mais fielmente a influência de cada variável no risco de incêndio para a região ou local.

2.2 - Modelos de Propagação de Incêndio

Os modelos de propagação de incêndios florestais possuem múltiplas aplicações práticas, sejam em definir cenário de prevenção ou na estratégia de combate aos incêndios. Nas atividades de prevenção, essas ferramentas podem ser utilizadas, na formação dos brigadistas, no ordenamento do território, de modo a reduzir o risco de ocorrência florestal; fazer o planejamento de fogos controlados, na época de menor ocorrência de focos e na redução da quantidade de combustíveis finos da floresta.

Uma descrição minuciosa dos diversos estágios da queima de biomassa pode ser encontrada em Lobert e Warnatz (1993). A evolução de uma queimada é descrita em cinco estágios: (i) Pré-ignição, (ii) Chama, (iii) Incandescência, (iv) Combustão sem chamas e (v) Extinção. A ignição da biomassa depende do seu tipo, da umidade e de fatores ambientais como, por exemplo, a temperatura do ar, umidade relativa do ar e do regime de vento local.

O estágio chama inicia-se com um processo pirolítico, durante o qual as elevadas temperaturas provocam uma ruptura das moléculas constituintes da biomassa (LOBERT e WARNATZ, 1993). Componentes de alto peso molecular são decompostos em compostos de peso molecular mais baixo, inicialmente como carvão e alcatrão, os quais constituem a fonte primária de energia para a chama, e finalmente composta de natureza gasosa. A temperatura pode chegar a 1800 K, produzindo carvão e liberando, principalmente, vapor de água (H₂O), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂).

Com a diminuição das condições necessárias para a manutenção do processo de combustão com chamas, a queima entra num estágio mais 'frio' denominado de combustão sem chama (LOBERT e WARNATZ, 1993). Quando a temperatura no interior da chama está abaixo de 1000 K, reduz-se drasticamente a produção de CO₂, há grande emissão de compostos não completamente oxidados, como o CO, além de rápida formação de partículas e agregação de partículas orgânicas de carbono. Este estágio é o responsável pela emissão da maior parte do material particulado (MP). A extinção pode ser alcançada devido a vários

fatores, além da diminuição da quantidade de biomassa disponível, fatores ambientais também podem causá-la, por exemplo, o resfriamento radiativo e o baixo suprimento de O₂ em relação à densidade e tamanho da biomassa.

Em escalas continentais e globais, os incêndios constituem uma das principais fontes de gases e de aerossóis para a atmosfera, com influência fundamental nas mudanças do clima global (CRUTZEN e ANDREAE, 1990; PAGE et al., 1998; VAN der WERF et al., 2003). Dos gases emitidos pela combustão da biomassa, o CO₂ é o que desperta maior preocupação, pois liberam grandes quantidades desse gás em curtos intervalos de tempo, contribuem para a intensificação dos GEE. Muitos gases, além do CO₂, são emitidos nos incêndios e entram na Circulação Geral da Atmosfera (CGA) tais como, NO_x, NO₂, CO, CH₄, e outros hidrocarbonetos. Muitos contribuem para o Efeito Estufa, como é o caso do CO₂, CH₄, e NO₂ e para a elevação da concentração de ozônio, por exemplo, o CH₄, CO e NO_x (CRUTZEN e ANDREAE, 1990; SCHOLLES et al., 1996, GITAS et al., 2012)..

Um dos principais agentes de degradação de fragmentos florestais têm sido os incêndios, tanto pela destruição direta das áreas afetadas, como também pelo efeito causado por focos pequenos que ocorrem nas bordas do fragmento, o que altera significativamente a sua dinâmica. Dentre as causas mais comuns de incêndios florestais podem ser citadas: incêndios criminosos; focos de incêndios causados por cigarros; prática de pequenas fogueiras; prática de cultos religiosos; e descontrole do fogo usado para queimada da cana-de-áçúcar e limpeza de pastos em áreas vizinhas (FERRAZ e VETTORAZZI, 1998).

Quando um pequeno foco não é controlado imediatamente, o incêndio é estabelecido e seu combate é dificultado por vários fatores como, por exemplo, tamanho do fragmento; falta de recursos próprios de combate; demora na detecção; falta de acessos adequados, ventos, entre outros. Assim, a utilização de técnicas de prevenção de incêndios, assim como a realização de um planejamento estratégico de combate, são alternativas viáveis para redução da ocorrência de incêndios. Nesse sentido, e de suma importância a geração de mapas estratégicos de combate, com a localização de estradas, corpos d'água, núcleos urbanos e também na obtenção de mapas de risco de incêndios, ou seja, mapas que mostrem regiões com maiores ou menores probabilidades de ocorrência de incêndios (FERRAZ e VETTORAZZI, 1998).

Os mapas de risco têm a função de auxiliar na prevenção de incêndios, orientando as atividades de vigilância, manutenção de aceiros, conservação de estradas, alocação de equipamentos em pontos estratégicos etc., mas também no planejamento de estratégias de combate. Informações sobre estradas (vias de acesso), pontos de captação de água (rios, lagos e represas), núcleos urbanos, moradias, sob a forma de mapas, são essenciais na eventualidade de incêndios, permitindo ao pessoal encarregado do combate organizar suas ações com maior rapidez e eficiência (RIGOLOT, 1990).

O risco de incêndios é a medida da probabilidade de ocorrência de incêndios em uma determinada área, durante um período específico de tempo. O risco de incêndios pode ser entendido como o risco potencial de início e propagação de incêndios florestais, podendo ser avaliado por meio de índices, propostos por vários autores, baseado nos elementos meteorológicos como precipitação, umidade relativa, temperatura do ar, velocidade do vento, entre outros. Estes índices são adaptados de acordo com as características das regiões de interesse e vêm sendo utilizados amplamente por equipes de combate a incêndios, principalmente em empresas florestais e gestores de Unidade de Conservação (UC) (BROWN e DAVIS, 1973).

Além disso o risco de incêndios pode ainda ser abordado por meio de mapeamento, que tem como objetivo a identificação de áreas com riscos diferenciados em uma determinada

região de trabalho, usando fatores inerentes à região, como uso da terra, relevo, características das florestas, dados meteorológicos locais etc. Esses dados são analisados de acordo com a sua distribuição espacial na área, baseado em ferramentas de SIG (FERRAZ e VETTORAZZI, 1998).

Com as informações oferecidas pelos mapas de risco, medidas preventivas podem ser tomadas, para a maior vigilância nas áreas de risco; restrição do acesso aos locais de risco; construção de aceiros preventivos e reorganização das atividades realizadas nas proximidades. Os mapas de risco de incêndios auxiliam também no planejamento de combate, por exemplo, na alocação de recursos em pontos estratégicos. A potencialidade de uso do SIG no planejamento de ações para prevenção e combate à incêndios em fragmentos florestais tem sido implantado nas últimas décadas (FERRAZ e VETTORAZZI, 1998; OTTMAR et al., 2001).

Chuvieco e Congalton (1989) comentam que o uso da ferramenta SIG torna possível atualizar e recuperar informações espaciais, bem como produzir modelos cartográficos por combinação, de diversas maneiras, e principalmente de planos de informações incluídas e organizadas em banco de dados. Assim, o SIG pode ser considerado hoje uma técnica indispensável no mapeamento de risco de incêndios. O mapeamento de risco de incêndios florestais pode ser realizado basicamente em duas escalas: regional e local. A escala regional, consiste em uma região que engloba fragmentos, podendo ser um município, uma bacia hidrográfica ou UC. Em escala local, o foco consiste nos fragmentos individuais, selecionados pelo seu grau de importância, podendo ser fragmentos estratégicos ou prioritários (FERRAZ e VETTORAZZI, 1998).

Diversas formas de detecção de incêndios florestais podem ser utilizadas. Dependendo das características do local, principalmente da extensão da área a ser monitorada, pode se utilizar meios de detecção através das equipes de brigada em postos de vigilância e em torres de observação, patrulhamento aéreo com aeronaves e monitoramento por imagens de satélites ambientais (BATISTA, 1990). Para países de grande extensão territorial, como o Brasil, o monitoramento dos incêndios florestais, a nível nacional e em escalas regionais, através de imagens de satélites é o meio mais eficiente e de baixo custo, quando comparado com outras metodologias. O planejamento nacional das atividades de controle de incêndios florestais e queimadas, as atividades de uso do fogo controlado, bem como a avaliação dos efeitos do incêndio sobre a atmosfera, só é viável através do monitoramento por satélites. Portanto, as informações obtidas devem ser de qualidade e confiáveis (ANTUNES, 2000).

Nos estudos sobre queima de biomassa geralmente faltam informações sobre a variabilidade espaço-temporal dos incêndios florestais em escala regional e global. A aplicação de resultados locais em grandes áreas pode dar uma ideia dos padrões dos incêndios como, por exemplo, distribuição espacial da ocorrência de incêndios, quantidade de área queimada e taxa de emissão de carbono, no entanto, os erros podem ser grandes. Observações em superfícies são inadequadas para descrever a variabilidade regional, tornando-se necessária o uso dos dados de focos de calor dos satélites. No entanto medidas observacionais *in situ* são necessárias para avaliar o desempenho dos mesmos (RAZAFIMPANILO et al., 1995).

O lançamento do primeiro satélite LANDSAT, em 1972, possibilitou detectar alterações nas áreas florestais. Desde então, as imagens termais e do infravermelho médio têm sido usadas na detecção de incêndios e nos estudos de mapeamento, permitindo que áreas queimadas e não queimadas sejam detectadas através do contraste entre os gradientes térmicos (REMMEL e PERERA, 2001). 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 sua resolução espacial ser baixa (1,1 km), queimada com áreas de no mínimo 900 m² podem ser detectadas (ANTUNES, 2000).

No Brasil o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), possui Sistema de Monitoramento, Prevenção e Controle de Incêndios Florestais na Amazônia (PROARCO) monitora as ocorrências de incêndios para todos os estados brasileiros por meio de sensores espaciais.

2.3 - Ferramentas SIG e Sensoriamento Remoto Aplicado ao Incêndio

O INPE vem desenvolvendo e aprimorando desde a década de 80, o sistema operacional BDQUEIMADAS de detecção de queimadas, como parte do esforço de monitorar e minimizar o fenômeno das queimadas no Brasil. A partir de 1998, o trabalho passou a ser feito conjuntamente com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos recursos renováveis (IBAMA) e o PROARCO, dando ênfase à Amazônia. Os dados são obtidos nas imagens termais dos satélites meteorológicos *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA) quatro vezes ao dia, que são utilizados em Modelos Climáticos Regionais (MCR) e de Previsão Numérico do Tempo (PNT), e também dos satélites *Geostationary Operational Environmental* (GOES), últimos estão em operação, juntamente com os satélites TERRA e AQUA duas vezes por dia, e em seguida disponibilizados na Internet. As informações são disponibilizadas operacionalmente aos usuários cerca de 20 minutos após as passagens dos satélites. Todo o país e grande parte da América do Sul são cobertos por estas imagens (CPTEC/INPE, 2013).

Apesar disso, o monitoramento dos incêndios florestais e queimadas no Brasil ainda são deficitários, devido às limitações técnicas inerentes ao sistema utilizado e também devido à falta de estudos básicos sobre o comportamento do fogo e as características ambientais associadas à ignição e propagação dos incêndios nos diversos ecossistemas brasileiros. De acordo com Razafimpanilo et al.(1995). a eficiência do monitoramento de incêndios por satélites meteorológicos depende de informações do ambiente, tais como: características do material combustível, informações sobre regeneração natural e fenologia da vegetação, condições meteorológicas, principalmente dos padrões do vento na região, etc.

Baseado em Sensoriamento Remoto pode se avaliar as alterações na cobertura florestal, Eva e Fritz (2003) citam diversos pesquisadores que têm observado problemas com a detecção ao se utiliza dados sobre incêndios florestais a partir de SR de baixa resolução. De acordo com Ugarte et al. (2001), as variabilidades espaciais e temporais da temperatura e da reflectância do ambiente são problemas a serem considerados nos algoritmos de detecção de incêndios por meio de imagens de satélites meteorológicos.

A solução para esse problema são as informações detalhadas obtidas dos Registros de Ocorrências de Incêndios (ROI). Dados sobre os incêndios ocorridos em determinada região, tais como: localização, extensão da área afetada, tipo de vegetação atingida, informações sobre o comportamento do fogo (intensidade, velocidade de propagação, material combustível consumido, etc.), são fundamentais para a comparação com as imagens obtidas dos satélites nestes mesmos horários e locais (FIEDLER et al., 2004). Para avaliação da eficiência do sistema de monitoramento de incêndios, por meio de SR usa-se a disponibilidade de ROI's, para efeito de comparação dos focos de calor detectados pelos satélites com os incêndios realmente ocorridos. Esse tem sido um grande obstáculo para a avaliação da qualidade do

sistema de detecção de incêndios florestais por satélites, já que não existe no Brasil um sistema padronizado de ROI de incêndios florestais (FIEDLER et al., 2004).

Os dados sobre ocorrências de incêndios são obtidos por diferentes organizações, governamentais ou não, variando as qualidades das informações sobre os incêndios em função da qualificação pessoal e/ou da organização responsável pela coleta dos dados. Isso dificulta muito a interpretação das informações sobre as ocorrências de incêndios para o estabelecimento de um perfil definido dos incêndios florestais nas diversas regiões do Brasil (FERRAZ e VETTORAZZI, 1998).

O Projeto “Zoneamento de Risco de Incêndios Florestais para o Estado do Paraná”, financiado pela Fundação Araucária é um exemplo disso. Analisando características de uso e ocupação do solo, condições meteorológicas, cobertura vegetal e ROI's de um período de 10 anos (1992-2001), foi possível elaborar um mapeamento do risco de incêndios florestais do Paraná. Foram analisados registros de 15.000 incêndios no território paranaense nesse período (SOARES, 1998; OLIVEIRA et al., 2004). Comparando-se parte destes dados (1999 – 2002) com os dados de focos de calor detectados pelo BDQUEIMADAS, verificou-se uma alta discrepância tanto no número de focos observados como na própria localização dos incêndios. O número de incêndios realmente detectados variou muito de uma região para outra, sendo que a média de acertos não ultrapassou 30%, no período analisado.

Rommel e Perera (2001) obtiveram resultados similares quando compararam ROI's e focos detectados por satélites no norte do Canadá. Observaram que os incêndios corretamente detectados variaram entre 1/3 e 2/3 do total de incêndios realmente observados. No entanto, observaram que a detecção é mais precisa quanto maior a extensão da área queimada.

As condições meteorológicas são outro grupo de variáveis muito importantes quando se trabalha com monitoramento ambiental por satélites. A qualidade das imagens de satélites e sua interpretação dependem basicamente das condições meteorológicas. Uma das principais limitações do uso de imagens de satélites na detecção de incêndios florestais é a presença de nuvens. A frequência e distribuição dos incêndios florestais também estão fortemente associadas às condições meteorológicas. Assim, através do monitoramento das condições meteorológicas é possível se fazer previsão do risco de incêndios, mediante o cálculo de índices de risco, definindo-se para um determinado período as áreas de maior probabilidade de ocorrer incêndios (NEPSTAD et al., 1999). As análises conjuntas de variáveis meteorológicas, ou índices de risco de incêndios, e focos de calor possibilitam uma melhor definição dos incêndios florestais de uma determinada região, reduzindo o número de falsos alarmes (CPTEC/INPE, 2013).

Os combustíveis florestais, que são produto da cobertura vegetal e sua dinâmica, são importantes parâmetros nos processos de ignição e propagação dos incêndios. O conhecimento das características básicas dos combustíveis, tais como: tipo, quantidade, continuidade e o seu tipo de exposição no ambiente, são bastante úteis, tanto na estimativa de risco como na previsão do comportamento dos incêndios (OTTMAR et al., 2001). Portanto, a caracterização dos combustíveis florestais (modelagem) e a sua associação com os focos de calor podem aumentar a eficiência na detecção dos incêndios florestais. Trabalhos sobre modelagem dos combustíveis florestais no Brasil estão sendo desenvolvido para as áreas de reflorestamento de pinus e eucaliptos na região sul (Soares e Santos, 2003) e para o cerrado na região central do Brasil (OTTMAR et al., 2001).

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Caracterização e Localização da Área de Estudo

A área de estudo é a Cidade do Rio de Janeiro (CRJ), localizado entre as latitudes 22° 45' e 23° 50' S, e entre longitudes 43° 05' e 43° 50' W (Figura 1). A CRJ encontra-se inserida em parte na área compreendida pela Mata Atlântica, bioma fortemente ameaçado devido à expansão urbana nas últimas décadas, porém com fragmentos remanescentes significativos na região. Por ser um refúgio de muitas espécies, abrigando alta diversidade, este bioma ainda requer muitos estudos em diversos aspectos ecológicos e ambientais (ANJOS et al., 2013).

O Município do Rio de Janeiro (MCR) está localizada na região sudeste do Brasil. A sua classificação climática segundo Köppen, consiste no tipo “Aw”, caracterizado por invernos secos e frios e verões úmidos e chuvosos. A temperatura mínima do ar média varia de 21,1°C (inverno) e a temperatura máxima média de 27,3°C (verão). A temperatura média anual é de 23,9°C, a precipitação é cerca de 1.258 mm.ano⁻¹ e o número médio de dias com precipitação é de 124 (ZERI et al., 2011). A topografia da (MRJ) é acidentada e bastante complexa, com os maciços de Gericinó-Medanha ao norte, da Pedra Branca à oeste e o maciço da Tijuca, que contribuem para a grande variabilidade espacial das variáveis meteorológicas (LYRA et al., 2011), assim como a proximidade do Oceano Atlântico, Baía de Sepetiba e da Baía de Guanabara (Figura 1).

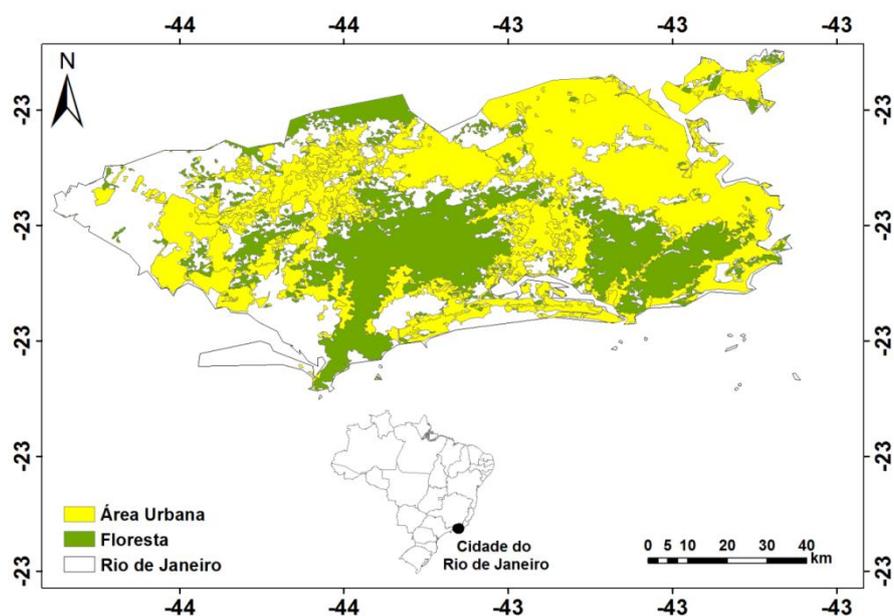


Figura 1. Localização da Cidade do Rio de Janeiro com as categorias de uso e ocupação do solo referente área urbana e floresta, respectivamente.

No MRJ a complexidade orográfica interfere nas circulações de mesoescala (brisa marítima-terrestre, brisa de vale-montanha e brisa lacustre) e, ainda influenciam nos regimes

de precipitações orográficas e, por fim na formação da Ilha de Calor Urbana ICU. Outros sistemas de característica sinótica que atuam na CRJ são o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), os Sistemas Frontais (SF), atuação de Bloqueios Atmosféricos (BA) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) na região (CORRÊA, 2008; MORAES, 2008). De acordo com (ZERI et al., 2011) o Município do Rio de Janeiro, a passagem de SF na MRJ é mais freqüente durante as estações de inverno e primavera, enquanto a ZCAS tem maior ocorrência nas estações de verão e primavera. O posicionamento e a intensidade do ASAS varia sazonalmente. No verão, este sistema se localiza preferencialmente sobre o Oceano Atlântico, originando uma massa de ar quente e úmida que interage com os SF, sendo a principal causa das chuvas na região. Durante o inverno, seu deslocamento para o continente induz a subsidência do ar, que resulta numa massa de ar seco, e assim, na ausência de chuvas.

3.2 - Série de dados de Focos de calor

Os dados de focos de calor foram obtidos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) - (<http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas/>) – (CPTEC/INPE, 2013). Atualmente, o CPTEC utiliza vários satélites meteorológicos (Órbita Polar e Geoestacionário) para compor sua rede de observação na América do Sul (AS). As séries de satélites são: NOAA, GOES, AQUA, TERRA, METEOSAT, ATSR e TRMM. Esses satélites realizam o imageamento orbital pelo país nos seguintes períodos: manhã, tarde, noite e madrugada. O período de estudo foi de 1998 a 2013 e portanto foram feitas análises estatísticas descritivas (frequência, média, mediana, desvio padrão, máxima, mínima e coeficiente de variação-CV) e exploratórias (Box-plot) nos totais dos focos de calor, para identificação dos períodos e áreas de maior/menor ocorrência de focos de incêndios na cidade do Rio de Janeiro.

3.3–Simulação do Campo de Vento – WRF (Estudo de Caso)

3.3.1 - Modelo de Mesoescala WRF

O modelo atmosférico WRF (*Weather Research and Forecasting*) é um modelo de mesoescala de PNT, desenvolvido tanto para fins de pesquisa quanto operacionais. Foi desenvolvido conjuntamente por uma série de instituições e agências governamentais: *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *Forecast Systems Laboratory* (FSL), *Air Force Weather Agency* (AFWA), *Naval Research Laboratory*, *Oklahoma University* e *Federal Aviation Administration* (FAA). O modelo WRF foi desenvolvido para ser flexível, com código portátil eficiente em ambientes de computação paralela.

O WRF é não-hidrostático com um sistema de coordenada vertical denominado η que segue a topografia. O modelo resolve as equações de Navier-Stokes em três dimensões, a equação termodinâmica e a equação de transferência radiativa. As diversidades existentes de opções físicas são referentes: ao solo/superfície terrestre, camada limite planetária, radiação na atmosfera e superfície terrestre, microfísica de nuvens e convecção de cumulus. Possui dois núcleos dinâmicos, o ARW (*Advanced Research WRF*) e o NMM (*Non-Hydrostatic Meso-scale Model*). Para as simulações numéricas o núcleo dinâmico que será utilizado no trabalho será o ARW, uma vez que este código apresenta mais opções físicas do que o núcleo NMM.

O modelo WRF é composto de 3 módulos: pré-processador WPS(Preprocessing System), módulo WRF e o pós-processador ARWpost (Figura 2). No módulo WPS possui três programas: Geogrid, Ungrib e Metgrid. O Geogrid define os domínios e interpola os dados geográficos para a grade. O Ungrib extrai os dados meteorológicos e da temperatura da superfície do mar dos dados no formato GRIB, oriundos do modelo global GFS (Global Forecast System). Já o Metgrid, interpola os dados meteorológicos extraídos do Ungrib para os pontos de grade definido no Geogrid.

No módulo WRF é feita a previsão numérica do tempo a partir das equações de Navier-Stokes nas três dimensões, equação da 1ª Lei da termodinâmica e a equação da conservação de água. Em conjunto com essas equações, são computadas as parametrizações dos processos físicos em cada passo de tempo. As parametrizações a serem definidas pelo usuário são as de radiação, camada limite atmosférica, microfísica de nuvem, cúmulus e solo. O ARWpost lê a saída da simulação e dados no formato que o software Grads possa ler e gerar os campos meteorológicos.

3.3.2 - Domínios utilizados na simulação

Nas simulações realizadas para este estudo utilizou-se 4 domínios (Figura 3), sendo o primeiro o mais abrangente e de menor resolução espacial e outros três domínios aninhados, com resoluções espaciais horizontais decaindo na proporção de 3:1 (Tabela 4.2), para que a interação bidirecional (“two-way”) entre os domínios seja realizada com sucesso. A interação bidirecional permite avaliar explicitamente as consequências dos processos de microescala produzida numa resolução mais refinada, a partir da grande escala (SHAFRANet al., 2000).

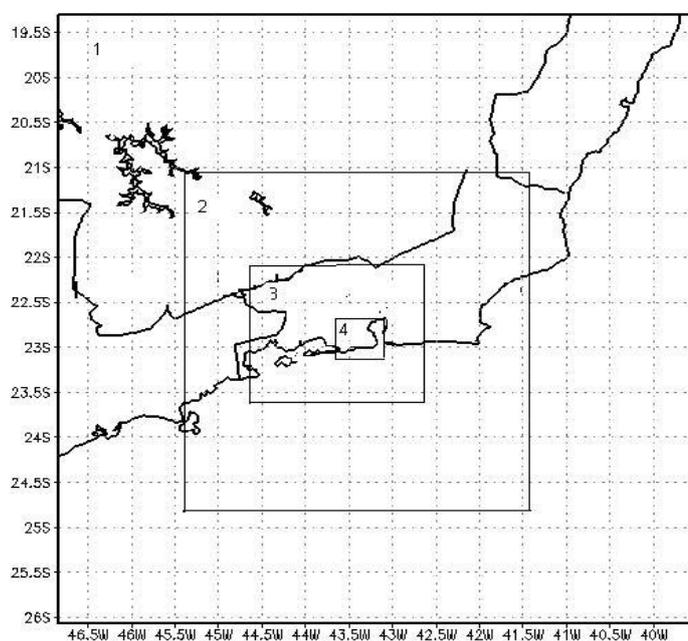


Figura 2 - Domínios utilizados na simulação do modelo WRF dando destaque a Cidade do Rio de Janeiro.

As grades foram aninhadas de forma que o domínio de número 3 (resolução de 4,1 km) abrangesse a Baía de Sepetiba e a Baía de Guanabara, e o domínio 4 (resolução 1,37 km) englobasse os Maciços do Gericinó, Pedra Branca e da Tijuca. O domínio maior é centrado na latitude de 22,73° S e longitude de 43,17° W, próximo ao aeroporto do Galeão. Todos os domínios foram configurados com 52 níveis sigma na vertical. Nesses domínios foram utilizados os dados de topografia e dados de elevação USGS, com diferentes resoluções espaciais conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Características de cada domínio utilizado nas simulações.

Domínios	Características			
	Pontos em x e y	Resolução Espacial (km)	Dimensão da grade - (°)(Latitude/Longitude)	Topografia USGS (km)
1	24 x 24	37,00	-26.0633 -19.313	19
			-46.8308 -39.509	
2	37 x 37	12,30	-24.6599 -21.083	9
			-45.2777 -41.396	
3	43 x 43	4,10	-23.5800 -22.183	1
			-44.2054 -42.688	
4	43 x 43	1,37	-23.1840 -22.718	1
			-43.6261 -43.121	

3.3.3 - Período de Simulação

Após, as análises estatísticas dos focos de calor para a cidade do Rio de Janeiro, culminou com a escolha do mês de Setembro de 2009 para efeito de comparação com as simulações cedidas gentilmente por Moraes (2008). Em 2009 a análise sinótica foi do período de 2 a 12 de setembro de 2007, sendo baseadas em Cartas Sinóticas da Divisão de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha, em imagens do satélite GOES-10 no canal infravermelho do CPTEC/INPE e em dados da Climanálise(CPTEC/INPE). Com base nessa análise foi escolhido o período com a atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) no município do Rio de Janeiro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Avaliação Temporal dos Focos de Calor (1998-2013) no Município do Rio de Janeiro.

4.1.1 – Diagnóstico dos focos de calor no período mensal e total

Os focos de calor obtidos no período de 1998 a 2013 para o município do Rio de Janeiro apresentaram grande variabilidade interanual, principalmente nos anos de 2002(9,2%), 2007 (10,5%), 2010 (12%), e 2011 (14,8%), sendo estes os anos com maiores ocorrências de focos de calor. A soma dos percentuais dos anos citados anteriormente corresponde a 46,5% dos focos de calor ocorridos na região de estudo(Figura 4a).

Na estado do Rio de Janeiro, ao longo do período de estudo, ocorreram 19.135 focos de calor. Nota-se que os anos com menores ocorrências foram de 1998 a 2001, seguido dos anos de 2008 a 2009 (Figura 4a). Na avaliação estatística dos focos de calor foi identificado um padrão bianual no estudo, no entanto, pela série ser curta não foi possível aplicar uma ferramenta estatística (análise multivariada) para verificar se esse padrão se repete. Acredita-se que o padrão dos focos de calor seja devida, à interação dos sistemas meteorológicos que por sua vez interferem nos padrões de chuva no município do Rio de Janeiro.

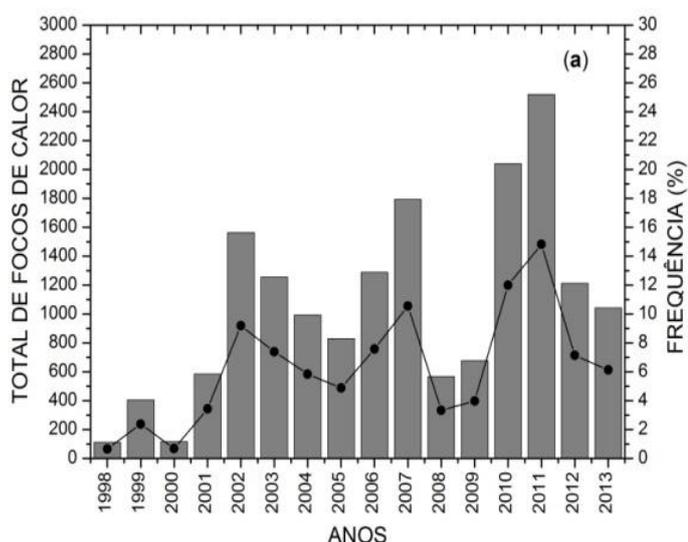


Figura 3– Distribuição total e frequência (%) dos focos de calor (a) no Município do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.

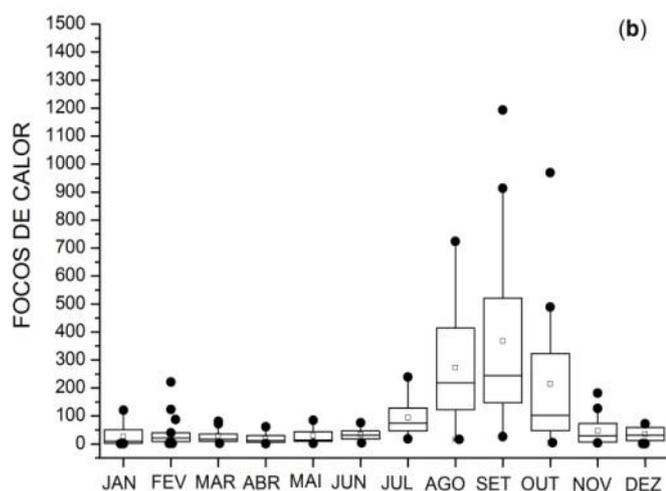


Figura 4– box-plot mensal (b) no Município do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.

De acordo com o box-plot, constatou-se que os meses extremos de ocorrência de focos de calor no município do Rio de Janeiro foram Agosto, Setembro e Outubro (fim do inverno e início da primavera) em comparação aos demais meses (Figura 4b). Esses meses são críticos na ocorrência de focos de calor, por causa de ocorrer atuação de massa de ar seco na região Sudeste e, por fim corresponder à estação de transição das chuvas na cidade do Rio de Janeiro (ZERIet al., 2011).

Outros resultados mostraram que os satélites AQUA-MT, NOAA-12, TERRA-MT, AQUA-T, TERRA M-M e NOAA 15 conseguiram detectar o maior número de focos de calor por unidade de área (densidade) em comparação aos demais satélites (Figura 5a). O melhor desempenho dos satélites da série MT, M-M e NOAA se devem aos sensores de *Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR* (NOAA 12 e 15) e *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer-MODIS* (série MT e M-M) e, portanto, garantiu elevado índice de acerto dos focos de incêndios no período de estudo.

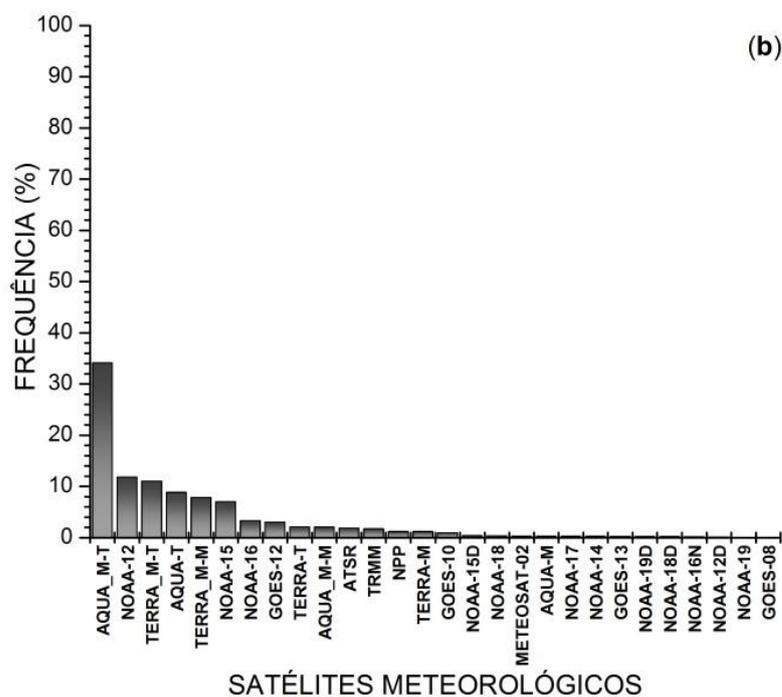
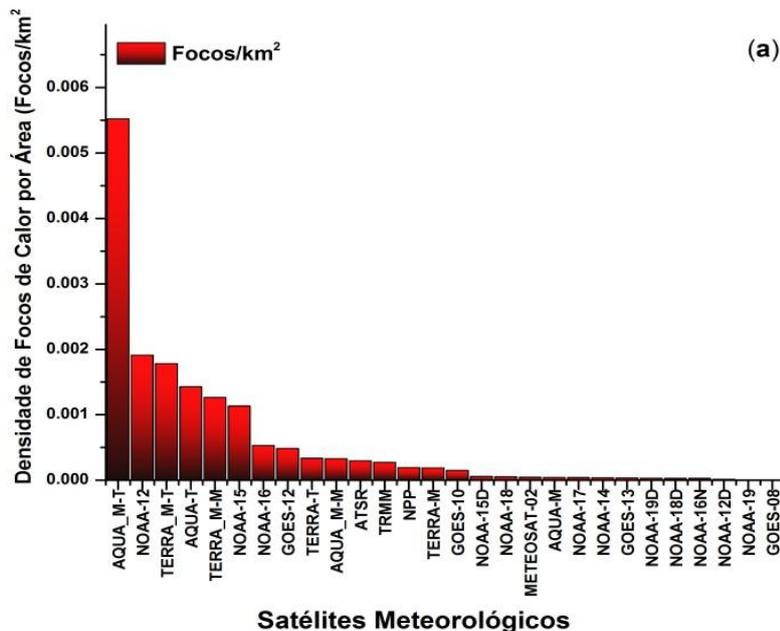


Figura 4– Densidade de focos de calor por área (focos/km²) (a) e frequência (%) (b) no Município do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.

Os satélites AQUA-MT (34,11%), NOAA-12 (11,78%), TERRA-MT (10,99%), AQUA-T (8,81%), TERRA M-M (7,80%) e NOAA 15 (6,99%) totalizaram 80,52% dos focos de calor no estado Rio de Janeiro (Figura 5b). Os satélites com sensor AVHRR, no caso os da série NOAA, 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 os satélites com sensor MODIS, no caso os das séries AQUEe TERRA, utilizam as bandas (0,4 μ m e 14,4 μ m) que são sensíveis a incêndios e podem distinguir chamas de brasas, conseqüentemente fornece melhores estimativas da quantidade de aerossóis e gases provenientes dos incêndios dispersos na atmosfera (KIDD, 2001).

Os dados disponibilizados pelo INPE apesar de serem provenientes de vários satélites, possuem limitações para detectar focos de calor. Não se descarta que a presença de nuvens no município do Rio de Janeiro provavelmente influenciou na quantificação dos focos de calor, pois a presença de nuvens durante longos períodos pode mascarar resultados e, conseqüentemente, interferir na detecção dos focos (CPTEC/INPE, 2013).

4.1.2 – Diagnóstico dos Focos de Calor na Escala Sazonal

Na escala sazonal os menores totais de focos de calor ocorreram na estação de verão, sendo os anos de 2010 (328 focos, 21,43%), 2011 (246 focos, 16,0%), 2012 (210 focos, 13,72%) e 2013 (227 focos, 14,83%) – (Figura 6a). Enquanto que na estação de outono os anos correspondentes foram apenas 2011 (165 focos, 14,70%) e 2012 (176, 15,68%) – (Figura 6b).

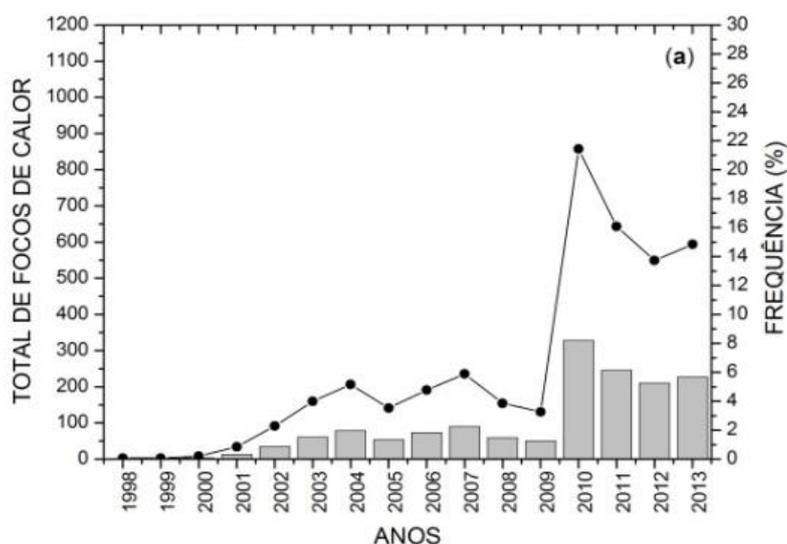


figura 5– Distribuição total e frequência (%) dos focos de calor no verão (a) no Município do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.

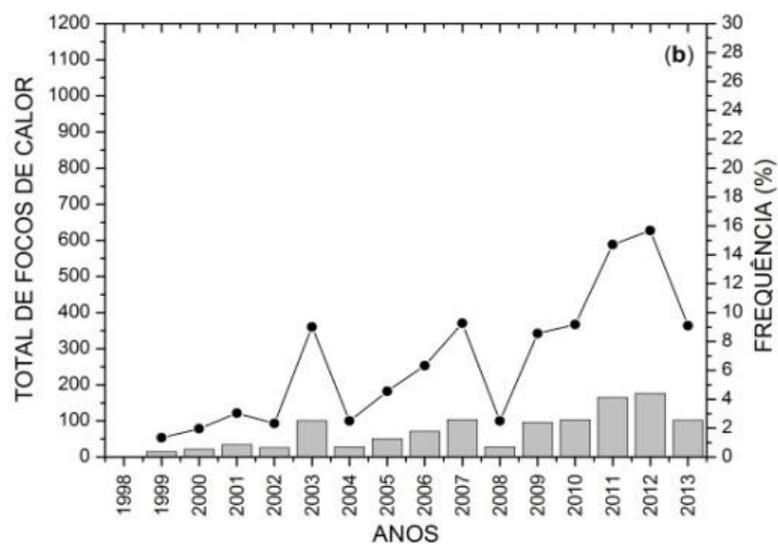


figura 6 – Distribuição total e frequência (%) dos focos de calor no outono (b) no Município do Rio de Janeiro no período de 1998-2013

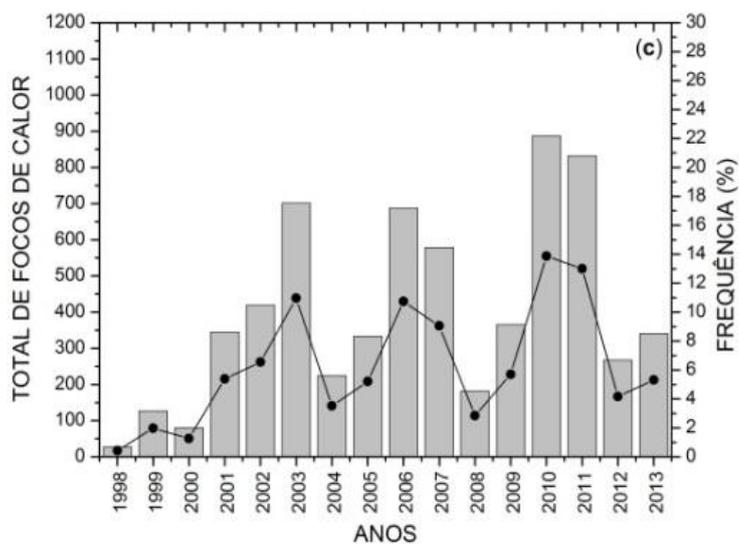


figura 7 – Distribuição total e frequência (%) dos focos de calor no inverno (c) no Município do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.

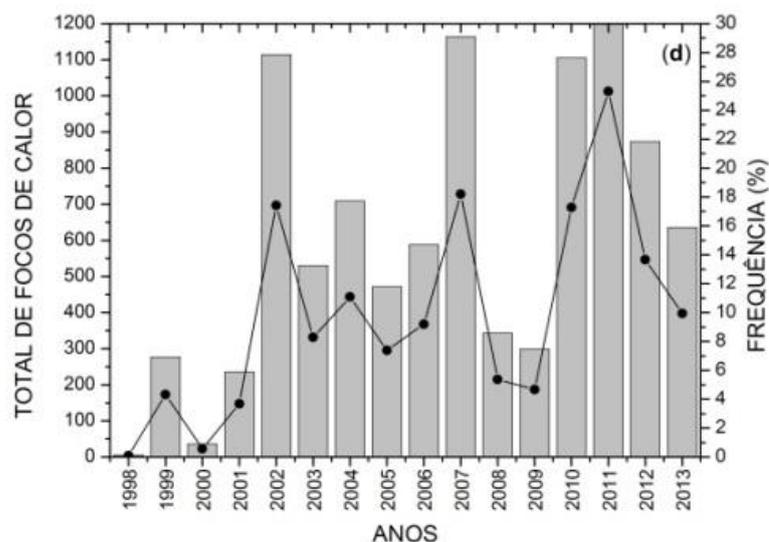


Figura 8 – Distribuição total e frequência (%) dos focos de calor na primavera (d) no Município do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.

Os maiores totais de focos de calor no município do Rio de Janeiro foram identificados nas estações do inverno e na primavera. Cerca de 701 focos de calor em 2003 (10,95%), 687 focos em 2006 (10,74%), 887 focos em 2010 (13,87%) e de 832 focos em 2011 (13%), conforme mostrado na estação de inverno (Figura 6c). No tocante a primavera observa-se que ocorreram nos anos de 2002 (1114 focos, 17,41%), 2007 (1164 focos, 18,2%), 2010 (1105 focos, 17,27%) e 2011 (1619 focos, 13,30%) – (Figura 6d).

4.2 - Avaliação Espacial dos Focos de Calor versus Classes de Uso e Ocupação do Solo

Após, avaliação temporal dos focos de calor no município do Rio de Janeiro foi feita espacialização dos dados por meio do software ArcGis 10. Os anos escolhidos foram 2002, 2004, 2007, 2010 e 2011, sendo estes os anos que mais se detectaram focos de calor, com objetivo de identificar quais as classes de uso e ocupação do solo com maior/menor ocorrência de focos de calor na cidade do Rio de Janeiro.

Em 2002 e 2004 na cidade do Rio de Janeiro os focos de incêndios se concentraram mais em regiões de pastagem, devido às gramíneas apresentarem alto poder de combustão quando seca o que pode acontecer por causas naturais ou por ação antrópica; já nos remanescentes florestais os focos ocorreram em pequenas quantidades devido às florestas de mata atlântica apresentarem um alto poder natural de resistência contra incêndios, visto que os incêndios dessa área se dão quase que exclusivamente em suas bordas o que é explicado pela ação antrópica, nas áreas urbanas os focos acontecem devido à natureza dos materiais combustíveis ser diversa e a combustão ser pela ação humana (Figura 7). Tanto na classe de uso e ocupação do solo referente a agricultura quanto solo exposto não foram identificados focos de calor.

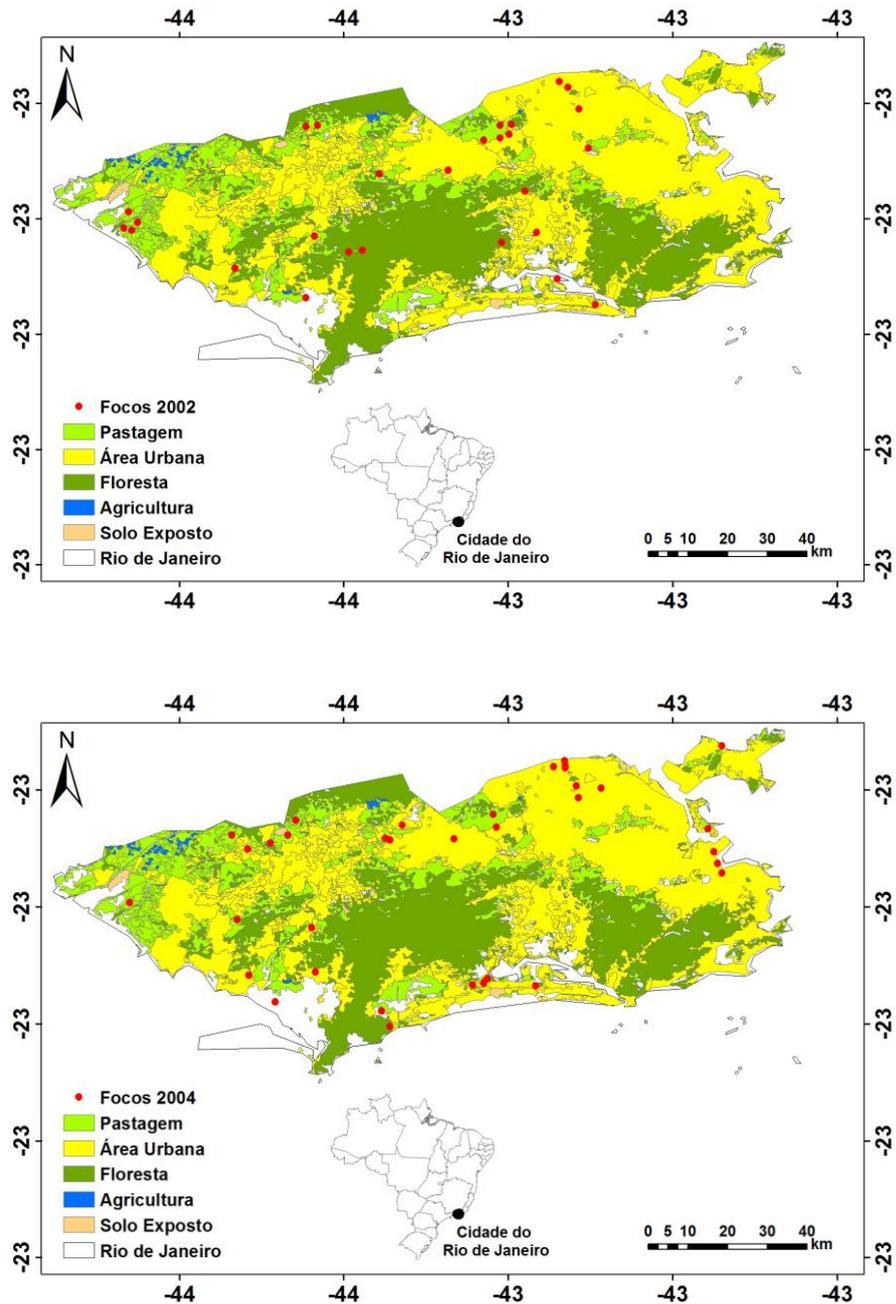


Figura 7 – Classes de uso e ocupação do solo (pastagem, área urbana, floresta, agricultura e solo exposto) na Cidade do Rio de Janeiro para os anos de 2002 e 2004.

Em 2007 e 2009 assim como em 2002 e 2004 no município do Rio de Janeiro, a grande maioria dos focos de calor se concentraram nas classes de uso e ocupação do solo definidas como pastagem e área urbana. Nas regiões de pastagem a grande quantidade de focos de calor registrado se explica pelo alto poder de combustão que este material combustível apresenta em proximidade com ações humanas, nas regiões urbanas ações antrópicas em conjunto com uma grande abundância e variedade de material inflamável justifica a sua grande ocorrência. Nas áreas agricultáveis a ausência de focos de calor se deve

ao tratos culturais e principalmente a exclusão da técnica de queimada, já nas áreas de solo exposto a ausência de focos de calor é explicada por, na grande maioria das vezes, não haver material com potencial combustível.

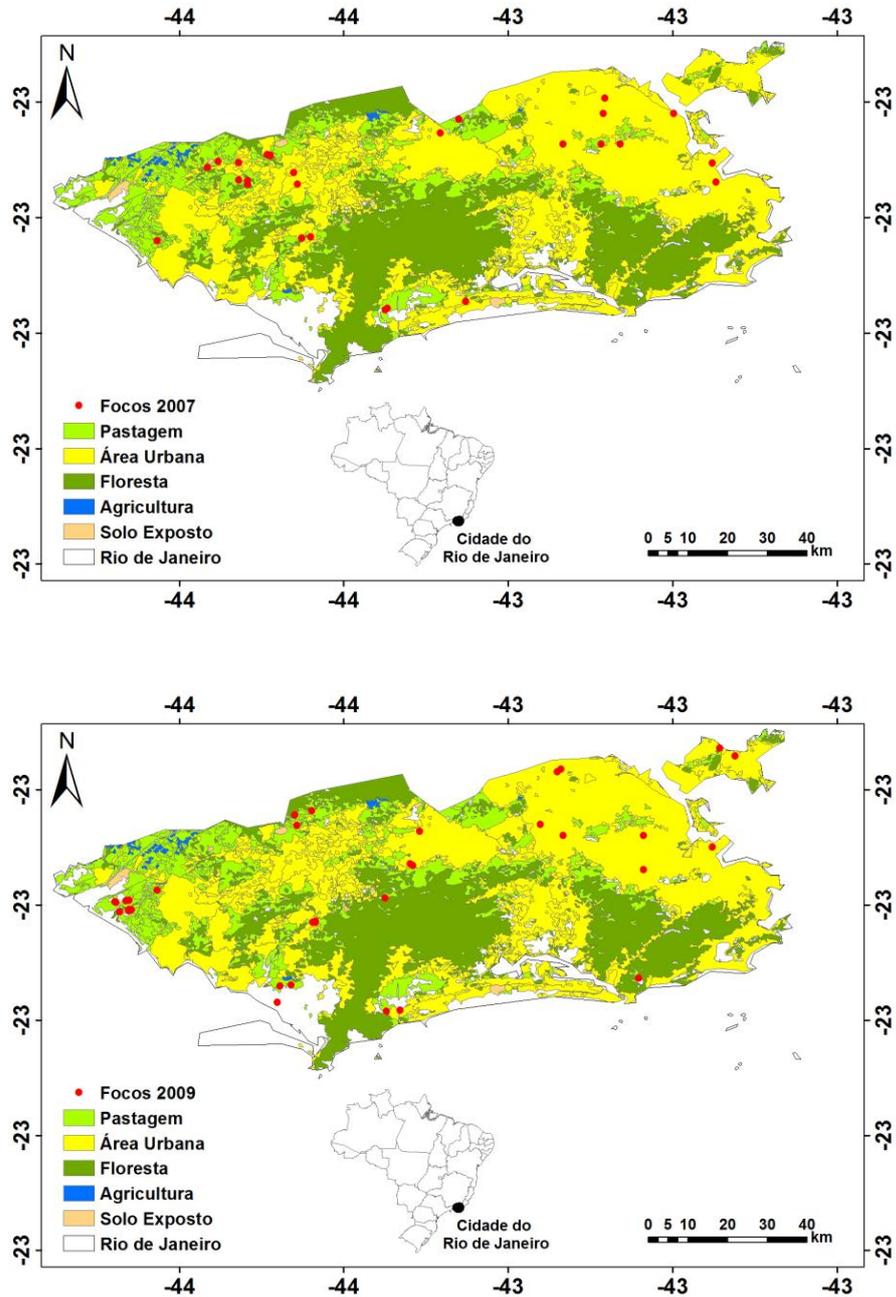


Figura 8 – Classes de uso e ocupação do solo (pastagem, área urbana, floresta, agricultura e solo exposto) na Cidade do Rio de Janeiro para os anos de 2007 e 2009.

Em 2010 e 2011 na cidade do Rio de Janeiro os focos de incêndios tiveram comportamento semelhantes a 2002, 2004, 2007 e 2009 a diferença neste caso é que os focos

estão mais concentrados nas áreas urbanizadas, tendo que ser feito um estudo paralelo para se saber o que de fato esta ocorrendo nessa classe de uso e ocupação do solo.

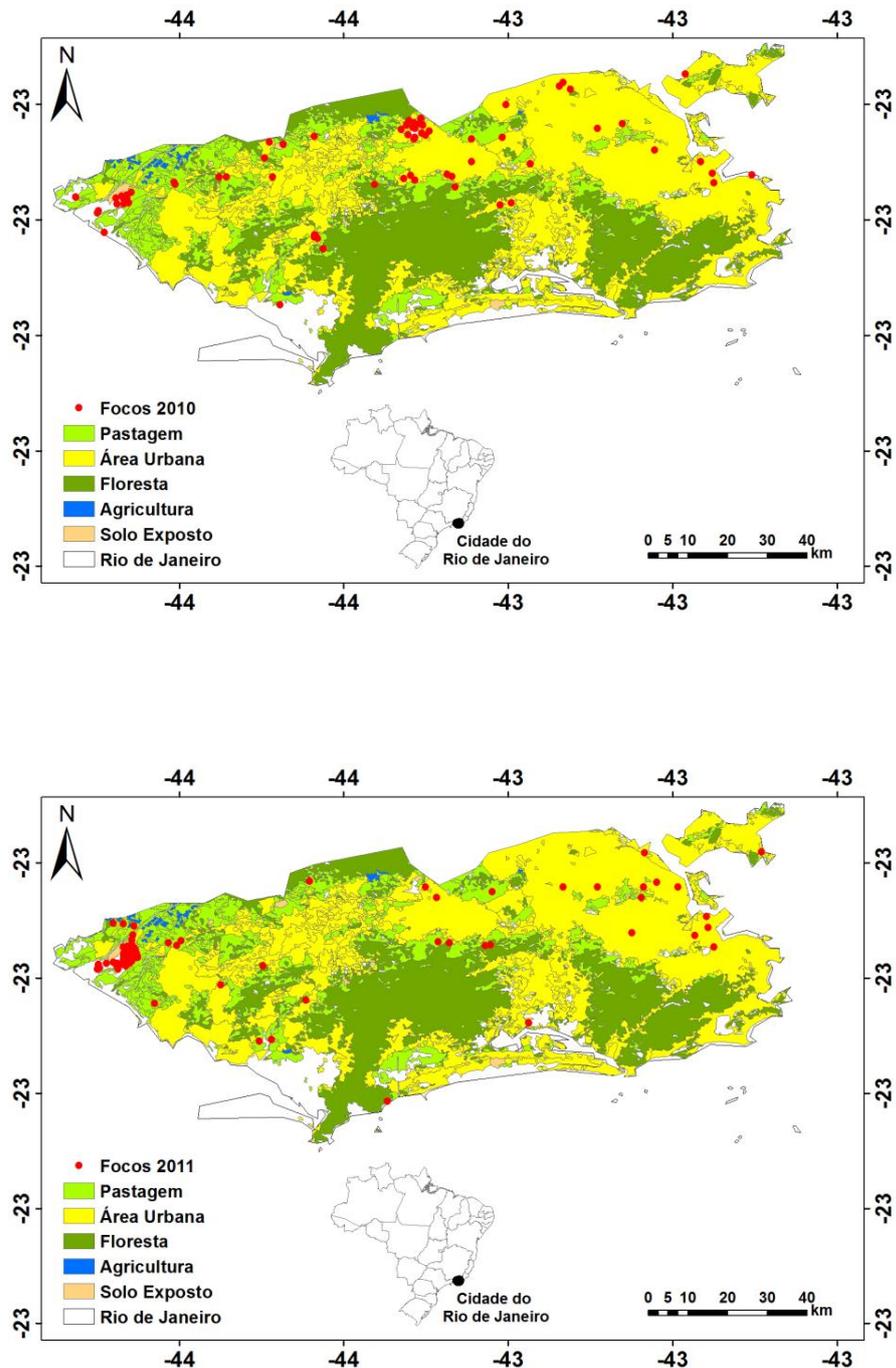


Figura 9 –Classes de uso e ocupação do solo (pastagem, área urbana, floresta, agricultura e solo exposto) na Cidade do Rio de Janeiro para os anos de 2007 e 2009.

Analisando os resultados obtidos notam-se que as classes de uso e ocupação do solo com maiores ocorrências de focos de calor foram pastagem (48,28%) e área urbana (39,66%), enquanto que as menores classes foram identificadas na floresta (6,55%), solo exposto

(5,17%) e agricultura (0,34%) no período estudo na cidade do Rio de Janeiro. Ressalta-se que na classe de pastagem ocorreu um aumento dos totais de focos de calor na série conforme a figura 10, principalmente no ano de 2011 em comparação com as demais classes de uso e ocupação do solo.

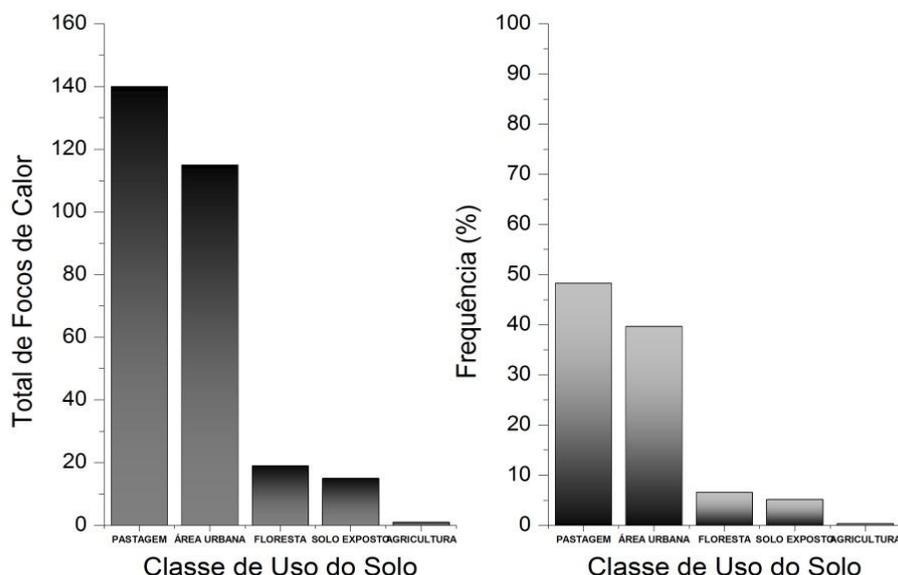


Figura 10 – Distribuição total e frequência (%) das classes de uso e ocupação do solo (pastagem, área urbana, floresta, agricultura e solo exposto) na Cidade do Rio de Janeiro no período de 1998-2013.

5 -CONCLUSÕES

Na série temporal (16 anos) de dados de focos de calor obtidas dos satélites meteorológicos mostra que os anos de maiores ocorrências foram 2002, 2007, 2010 e 2011 com totais superiores a 1200 focos anuais no município do Rio de Janeiro.

Os satélites meteorológicos AQUA – MT, NOAA-12, AQUA-T e o TERRA-MT tiveram melhor desempenho na detecção dos totais de focos por unidade de área em comparação aos demais no período estudado.

Na escala sazonal, as estações com maiores ocorrências de focos de calor são inverno e primavera para a área estudada.

No tocante à escala mensal, os meses com maiores ocorrências de focos de foram agosto, setembro e outubro.

As classes de uso e ocupação do solo que com maiores ocorrências de focos de calor foram pastagem e área urbana. Destaque para classe da pastagem que teve aumento no período de estudo na Cidade do Rio de Janeiro.

Os resultados gerados neste estudo auxiliam na compreensão da questão do fogo e seu papel na formação da paisagem e no planejamento das ações de prevenções e combate aos incêndios florestais e urbanos.

6 - BIBLIOGRAFIA REFERENCIAL

ANDERSON, H. E., BROWN, J. K. Fuel characteristics and fire behavior considerations on the wildlands. In: Protecting people and homes from wildfires in the interior west. In: Symposium and workshop, Misoula. **Anais...** Misoula: Int. Res. Station. Gen. Tech. Report – 251, 1988. p.124-130.

ANJOS, A. W., DELGADO, R. C., OLIVEIRA JÚNIOR, J. F., GOIS, G., MORAES, N.O. Temperatura da Superfície Continental Associada A Eventos Meteorológicos na Cidade do Rio de Janeiro, RJ. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 3692-3707, 2013.

ANTUNES, M. A. H. Uso de satélites para detecção de queimadas e para avaliação do risco de fogo. **Ação Ambiental**, v. 12, p.24-27, 2000.

BALLING 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.

BARRETT, C. M.; RYAN, P. K.; HIGUERA, E.; FENG, S. H. Climatic and land cover influences on the spatiotemporal dynamics of Holocene boreal fire regimes. **Ecology**, v. 94, p. 389-402, 2013.

BATISTA, A. C. **Determinação de umidade do material combustível sob povoaamentos de Pinus taeda**. 1984. 61p. Dissertação (Mestrado em ciências florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais**. Imprensa Universitária da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1990, 115p.

BATISTA, A.C. Detecção de incêndios florestais por satélite. **Revista Floresta**, v. 34, p. 237-241, 2004.

BROWN, A. A., DAVIS, K. P. **Forest Fire – Control and Use**. New York, McGraw. Hill, 2nd Ed., 1973. 686p.

BROWN, A.A., DAVIS, K.P., **Forest fire: Control and Use**. McGraw Hill Book Co., New York, 1973. 420p.

CAÚLA, R. H.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; DELGADO, R. C.; LYRA, G. B.; GOIS, G. Focos de Incêndio no Estado do Rio de Janeiro no Período de 2000-2012 por meio de Satélites Meteorológicos. In: VIII Workshop de Micrometeorologia, Santa Maria-RS. **Resumos...** Santa Maria, UFSM. 2013. p.122.

CHANDLER, C., CHENEY, P., THOMAS, P., TRABAUD, L., WILLIAMS, D. **Fire in forestry: Forest fire behavior and effects**. New York: J. Wiley & Sons, 1983, 450p.

CHUVIECO, E., CONGALTON, R. G. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. **Remote**, p. 47-159, 1989.

CORRÊA, E. B. **Avaliação do Sistema Combinado de Modelagem MM5/CALMET na Representação da Circulação Atmosférica da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2008, 208f. Dissertação (Mestrado em meteorologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CPTEC/INPE – **Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. BDQUEIMADAS. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/queimadas/>. Acesso em: Ago., 2013.

CRUTZEN, P.J., ANDREAE, M. O. Biomass Burning in the Tropics: Impact on Atmospheric Chemistry and Biogeochemical Cycles. **Science**, v. 250, p. 1669-1678, 1990

EVA, H.; FRITZ, S. Examining the potential of using remotely sensed fire data to predict areas of rapid forest change in South America. **Applied Geography**, v. 23, p. 189-204, 2003.

FERRAZ, S.F.B.; VETTORAZZI, C.A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). **Scientia Forestalis**, v. 53, p. 39-48, 1998.

FIEDLER, N. C.; AZEVEDO, I. N. C.; REZENDE, A. V.; MEDEIROS, M. B.; VENTUROILI, F. Efeito de Incêndios Florestais na Estrutura e Composição Florística de Uma Área de Cerrado Sensu Stricto na Fazenda Água Limpa-DF. **Revista Árvore**, v. 28, p. 129-138, 2004.

GAYLOR, H. P. **Wild fires - Prevention And Control**. Robert J. Brady, Bowie, 1974.319p.

GITAS, I., MITRI, G. VERAVERBEKE, S., POLYCHRONAKI, A. Advances in Remote Sensing of Post-Fire Vegetation Recovery Monitoring – A Review. **Remote Sensing of Biomass - Principles and Applications**, Ed. In Tech Europe, 322 p., 2012.

GOUMA, V.; CHRONOPOULOU-SERELI, A. Wild land fire danger zoning – a methodology. **International Journal of Wild land Fire**, Colorado, v.8, n.1, p.37-43, 1998.

HOFFMANN, W. A. Fire and population dynamics of woody plants in a neotropical savanna: matrix model projections. **Ecology**, v. 80, p. 1354-1369, 1999.

KIDD, C. Satellite Rainfall Climatology: A Review. **International Journal of Climatology**, v. 21, p.1041-1066, 2001.

LERTZMAN, K.P.; KREBS, C. J. Gap-phase structure of a sub-alpine old growth forest. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 21, p.1730–1741, 1991.

LOBERT, J. M., J. WARNATZ. Emissions from the Combustion Process in Vegetation. **Fire in the Environment**, ed. by P. J. Crutzen and J. G. Goldammer. John Willey & Sons, 1993, 203p.

LYRA, G. B.; ODA-SOUZA, M.; VIOLA, D. N. Modelos Lineares Aplicados À Estimativa da Concentração do Material Particulado (PM₁₀) na Cidade do Rio de Janeiro, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n. 3, p. 392 - 400, 2011.

MORAES, N. O. **Modelagem do Mecanismo de Formação e Desintensificação de Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2008, 128f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NEPSTAD, D. C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C. A.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P. 27 A.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P. R. S.; MENDOZA, E.; COCHRANE, 28 M. A.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, 29 n. 398, p. 505–508, 1999.

OLIVEIRA, D. S.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V.; GRODZKI, L.; VOSGERAU, J. Zoneamento de Risco de Incêndios Florestais Para o Estado do Paraná. **Floresta**, 34, v. 2, p. 217-221, 2004.

ORGEAS, J.; ANDERSEN, A. N. Fire and biodiversity: responses of grass-layer beetles to experimental fire regimes in an Australian tropical savanna. **Journal Applied Ecology**, v.38, p. 49-62, 2001.

OTTMAR, R. D.; VIHNANEK, R. E.; MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; ANDRADE, S.M. A. **Stereophoto series for quantifying Cerrado fuels in Central Brazil**, v1. USDA F.S. Gen. Tech. Report, PNW-GTR-519, 2001, 87p.

PAGE, S.E., SIEGERT, F., RIELEY, J.O., BOEHM, H.D.V., JAYA, A. , LIMIN, S. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. **Nature**, v. 420, p. 61-65, 1998.

PIÑOL, J., TERRADAS, J., LLORET, FRANCISCO. Climate Warming, Wildfire Hazard, And Wildfire Occurrence In Coastal Eastern Spain. **Climatic Change**, v. 38, p. 345-357, 1998.

RAZAFIMPANILLO, H.; FROUIN, R.; IACOBELLIS, S. F.; SOMERVILLE, R. C. J. Methodology for estimating burned area from AVHRR reflectance data. **Remote Sensing Environment**, v. 54, p.273-289, 1995.

REMMEL, T. K.; PERERA, A. H. Fire mapping in a northern boreal forest: assessing AVHRR/NDVI methods of change detection. **Forest Ecology and Management**, v. 152, p.119-129, 2001.

RIGOLOT, E. **Combustíveis**. Trás-os-Montes, Universidade de Trás - os - Montes e Alto Douro 1990, 311p.

SCHOLES, R.J., WARD, D., JUSTICE, C.O. Emissions of trace gases and aerosol particles due to vegetation burning in southern hemisphere Africa. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, p. 23677-23682, 1996.

SCHROEDER, M. J.; BUCK, C. C. **Fire weather – A guide for application of meteorological information to forest fire control operations**. U.S.D.A. Handbook 360, 1970. 229p.

SCHROEDER, M., BUCK, C. **Fire weather: a guide for application of meteorological information to forest fire control operations**. USDA Forest Service, Agriculture Handbook 360p., 1970.

SETZER, A.W., SISMANOGLU, R.A. **Risco de Fogo – Resumo do Método de Cálculo (versão5)**. São Paulo: INPE. 2006. Disponível em: http://pirandira.cptec.inpe.br/queimadas/doc_RF_2007.pdf. Acessado em: 20 maio, 2011.

SHAFRAN, P.C., SEAMAN, N.L., GAYNO, G.A. Evaluation of Numerical Predictions of Boundary-Layer Structure during the Lake Michigan Ozone Study (LMOS). **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, p.412-426, 2000.

SHOW, S. B., CLARKE, B. **La lucha contras los incendios forestales**. Roma, Food and Agriculture Organization- FAO. 1953. 131p.

SOARES, R. V. Desempenho da fórmula de Monte Alegre: o índice brasileiro de perigo de incêndios florestais. **Revista Cerne**, v.4, n.1, p.87-98. 1998.

SOARES, R. V. **Incêndios Florestais – Controle e Uso do fogo**. Curitiba, FUPEF, 1985. 213p.

SOARES, R.V., BATISTA, A. C. **Manual de prevenção e combate a incêndios florestais**. Curitiba, Convênio IAP/FUPEF, 1997, 50p.

SOARES, R.V., SANTOS, J. F. Comparação do perfil dos incêndios florestais em áreas protegidas nos períodos de 1983 – 1987 e 1994 – 1997. **Brasil Florestal**, v.78, p. 9-17, 2003.

SWETNAM, T. W., ANDERSON, R. S. Fire Climatology in the western United States: introduction to special issue. **International Journal of Wildland Fire**, v. 17, p. 1–7, 2008.

TAYLOR, D.SAKSENA, P., SANDERSON, P.G., KUCERA, K. Environmental change and rain forests on the Sunda shelf of Southeast Asia: drought, fire and the biological cooling of biodiversity hotspots. **Biodiversity and Conservation**, v. 8, p. 1159–1177, 1999.

UGARTE, M. F.; ZEQUEIRA, R. I.; LÓPEZ, F. An approach for the compensation of the background variability in fire detection systems. **Infrared Physics & Technology**, v. 42, p. 23-30, 2001.

VAN der WERF, G., RANDERSON, J. T., COLLATZ, G. J., GIGLIO, L. Carbon emissions from fires in tropical and subtropical ecosystems. **Global Change Biology**, v.9, p.547-562, 2003.

WHITEMAN, C. D. **Mountain Meteorology – Fundamentals and Applications**. Ed Oxford University Press, 2000, 372p.

WILLIAMS, S. E., BOLITHO, E. E., FOX, S. Climate change in Australian tropical rainforests: an impending environmental catastrophe. **Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences**, v. 270, p. 1887-1892, 2003.

ZERI, M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; LYRA, G. B. Spatiotemporal analysis of particulate matter, sulfur dioxide and carbon monoxide concentrations over the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 113, n. 1, p.1-14, 2011.