



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



ANÁLISE GEOECOLÓGICA DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aluno: Gustavo W. Tomzhinski

Orientador: Prof. Dr. Manoel do Couto Fernandes



Rio de Janeiro

Abril de 2012

ANÁLISE GEOECOLÓGICA DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA

Gustavo Wanderley Tomzhinski

Dissertação de Mestrado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências: Geografia.

- Orientador

Prof. Dr. Manoel do Couto Fernandes
Dep. de Geografia – UFRJ

Prof. Dra. Carla Bernadete Madureira Cruz
Dep. de Geografia – UFRJ

Dra. Kátia Torres Ribeiro
Coordenação de Apoio à Pesquisa - ICMBio

Rio de Janeiro
Abril de 2012

Tomzhinski, Gustavo Wanderley

Análise Geoecológica dos Incêndios Florestais no
Parque Nacional do Itatiaia – Rio de Janeiro: [s.n.], 2012.

xvii, 137 p.

Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em
Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

Referências bibliográficas fl.127-137.

1. Cartografia Geoecológica, 2. Geoprocessamento, 3. Regime de
Fogo, 4. Unidades de Conservação.

"Siga em Frente: There's really no secret about our approach. We keep moving forward —opening up new doors and doing new things —because we're curious. And curiosity keeps leading us down new paths."

Walt Disney

Dedico este trabalho aos meus filhos, João Pedro e Lucas Gabriel. Que eles nunca se deixem intimidar pelas adversidades que certamente virão e continuem sempre seguindo em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS pelas inúmeras bênçãos e livramentos que me permitiram chegar até aqui;

Aos meus pais, Armando e Betty, a quem muito admiro e que sempre acreditaram em mim e investiram muito mais do que apenas recursos financeiros na minha educação e formação como pessoa.

À minha amada esposa Manuela, que me apoiou desde o início nesse projeto e agüentou uma sobrecarga de afazeres diversos nas minhas ausências e tempo dedicado aos estudos;

Ao ICMBio, aqui representado pela Diretora e Presidente substituta Silvana Canuto, pelo Coordenador Geral de Proteção Paulo Carneiro e pelo Chefe do Parque Nacional do Itatiaia Walter Behr, pela valiosa oportunidade de capacitação. Às equipes da CGGP e do PNI, que tornaram possível a minha licença;

Ao meu orientador e amigo, Professor Manoel do Couto Fernandes, que sempre manteve o bom humor, me acudiu e levantou a moral nas horas em que as coisas pareciam não funcionar;

Aos Professores Carla Madureira, Paulo Menezes, Rafael Barros e Rogério Oliveira pela disponibilidade em ajudar e pelas preciosas contribuições em diferentes etapas deste trabalho. À Dra. Kátia Torres Ribeiro, por participar da banca e trazer valiosas contribuições com uma perspectiva diferente;

À Monika Richter que me apresentou ao PPGG e ao meu orientador e cuja dissertação me serviu de inspiração para o Mestrado;

Aos amigos e companheiros de GEOCART Paulinho, Pedrinho, Gustavo e Bruna que muito me ajudaram, assim como ao Marlon, Daiane, Felipe e Cristina, que tanto trabalharam no preparo das bases de dados. Ao Fabinho que sempre me acudiu nos apuros “informáticos”, ao Prof. José Francisco Oliveira Júnior e ao Andrews pela ajuda com os dados climáticos. A

todos os demais amigos do laboratório que contribuíram para esse projeto e para o ótimo ambiente de trabalho que compartilhamos durante esses dois anos;

Aos amigos e colegas de trabalho Carlos Alexandre dos Santos de Souza, Léo Nascimento, Luiz Antônio Coslope, Marcelo Souza Motta, Mário Koslowski Pitombeira, Patrícia Kidricki Iwamoto, Paulo Manoel dos Santos e Walter Behr, assim como à Luciana Temponi pelas contribuições técnicas e bibliográficas. Ao Edson Santiago pelas informações sobre o incêndio de 1988 e a Lúcia Teixeira, Cristiane Barreto e Armando Tomzhinski pelas minuciosas revisões.

Ao Laboratório ESPAÇO e toda a sua equipe por permitirem a utilização dos softwares e equipamentos, bem como pela ajuda na sua operação.

Ao IBGE, FURNAS e ANA pela cessão de imagens, base cartográfica e dados pluviométricos para o PNI e para este projeto.

RESUMO

TOMZHINSKI, G. W. **Análise Geoecológica dos Incêndios Florestais no Parque Nacional do Itatiaia**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012. 137 p.

O fogo é importante elemento modificador da paisagem. Muitas vezes os incêndios florestais têm potencial devastador constituindo ameaça à biodiversidade. O Parque Nacional do Itatiaia (PNI) é uma Unidade de Conservação de significância histórica e ecológica, abrigando importantes remanescentes do Bioma Mata Atlântica. A Área de Estudo (AE) foi definida abrangendo o PNI e seu entorno de 3 km. Este trabalho tem o objetivo de ampliar o conhecimento da questão dos incêndios através de uma análise geoecológica na qual se busca estabelecer relacionamentos quantitativos e qualitativos entre os elementos da paisagem, incluindo a ação do homem sobre ela. A maior quantidade de incêndios na AE ocorre normalmente no mês de agosto, no entanto a maior concentração de área queimada é registrada para o mês de setembro, quando a precipitação acumulada atinge níveis mais baixos. O maior número de incêndios foi registrado fora dos limites do PNI, mas as maiores áreas atingidas dentro, possivelmente devido às extensas áreas contínuas de formações campestres. Na avaliação da detecção de focos de calor por satélite para a AE, identificou-se que os sensores orbitais detectaram apenas 4% dos incêndios registrados pelas equipes de campo e que os focos de calor apresentaram um deslocamento aproximado de 1 km em relação aos polígonos das áreas queimadas. Os sensores MODIS apresentaram melhores resultados do que os outros sensores orbitais avaliados, com um erro médio de localização dos focos de 316 m. As variáveis geomorfológicas e a combustibilidade foram classificadas como altas, médias e baixas com relação às condições favoráveis à ocorrência de incêndios e a análise estatística da distribuição do número incêndios foi utilizada como parâmetro para definir as faixas de valores de cada uma. Verificou-se que 58% das áreas atingidas pelos incêndios apresentam declividade alta, 51% forma convexa (alta), 73% alta incidência de radiação solar, 92% alta combustibilidade e 78% estão localizadas acima de 2.000 m de altitude. A análise da precipitação mostrou a relação inversa dos incêndios com a precipitação antecedente, especialmente nos anos dos maiores incêndios, quando essas condições foram muito abaixo da média. Foram avaliados indicadores de curto e médio prazo de precipitação acumulada, concluindo-se que estes devem ser utilizados em conjunto para o diagnóstico de condições críticas para a ocorrência de incêndios. Na análise espacial das principais variáveis ligadas ao risco à ignição, foi verificado que 73% dos incêndios estão a menos de 15 m de vias de transporte, edificações ou propriedades particulares dentro do PNI e que 93% das ocorrências dentro do Parque estão total ou parcialmente inseridos nessas propriedades. Um mapa de suscetibilidade a ocorrência de incêndios florestais foi gerado para a área de Estudo utilizando-se o método analítico-integrativo com as seguintes variáveis geoecológicas: combustibilidade, incidência de radiação solar, forma do relevo e declividade. O cruzamento das informações dos incêndios com esse mapa mostrou que 94% das áreas atingidas por eles foram classificadas como de alta suscetibilidade, o que aponta para a eficácia do método para a identificação de áreas com condições favoráveis à ocorrência desse fenômeno. A metodologia e os resultados encontrados constituem significativo subsídio para a modelagem do conhecimento relacionado à avaliação de cenários para a ocorrência de incêndios.

Palavras-chave: CARTOGRAFIA GEOECOLÓGICA, GEOPROCESSAMENTO, REGIME DE FOGO, UNIDADES DE CONSERVAÇÃO.

ABSTRACT

TOMZHINSKI, G. W. **Geocological Analysis of Wildfires in Itatiaia National Park.** Thesis (M. Sc. in Geography) - Institute of Geosciences, Federal University of Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012. 137 p.

Fire is an important landscape modifier element. Many times wildfires have devastating potential constituting a threat to biodiversity. The Itatiaia National Park (PNI) is a Conservation Unit (UC) of historical and ecological significance, sheltering important remnants of Atlantic Forest biome. The Study Area (AE) was defined as covering the PNI and its 3 km surroundings. This work aims to expand knowledge of the issue of fire through a geocological analysis in which it seeks to establish quantitative and qualitative relationships between landscape elements, including the action of man upon it. The largest number of fires in the EA usually occurs in August, however the largest concentration of burned area is recorded for the month of September, when the accumulated rainfall reaches lower levels. The largest number of fires was recorded outside the boundaries of PNI, but the largest burnt areas inside it, possibly due to extensive areas of continuous grassland formations. In assessing the detection of hotspots for the AE satellite, it was found that the orbital sensors detected only 4% of fires recorded by the field teams and the hotspots had a displacement of approximately 1 km in relation to the burned areas polygons. The MODIS sensors showed better results than other orbital sensors evaluated, with an average error of localization of 316 m. The combustibility and geomorphological variables were classified as high, medium and low with respect to conditions favoring the occurrence of fires. The statistical distribution of the number of fires was used as a parameter to define the ranges of each. It was found that 58% of the areas affected by the fires have high slope, 51% have convex shape (high), 73% have high incidence of solar radiation, 92% high combustibility and 78% are located above 2,000 m. The analysis of the precipitation showed the inverse relationship of fires with antecedent precipitation, especially in years of major fires, when these conditions were well below average. Six rainfall indicators of short and medium term were evaluated, concluding that they must be used together to diagnose critical conditions for the occurrence of fires. From spatial analysis of the main variables related to the risk to the ignition, it was found that 73% of fires are less than 15 m distance of transport routes, buildings or private property within the PNI area and 93% of cases within the Park are wholly or partially inserted in these properties. A map of susceptibility to the occurrence of wildfires was generated for the study area using the analytical-integrative method with the following geocological variables: combustibility, solar radiation, slope angle and slope geometry. The cross-checking of the fire records with this map showed that 94% of the areas affected by them were classified as high susceptibility, which points to the effectiveness of the method for the identification of areas with favorable conditions for the occurrence of this phenomenon. The methodology and the results are significant subsidy for the modeling of knowledge related to the assessment of scenarios for the occurrence of fires.

Keywords: GEOECOLOGICAL CARTOGRAPHY, GEOPROCESSING, FIRE REGIME, CONSERVATION UNITS.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Esquema geral do trabalho..... | 6 |
| Figura 2 - Inter-relações assumidas em estudos geocológicos (FERNANDES, 2004)..... | 9 |
| Figura 3 - Esquema de modelo conceitual de análise e tomada de decisão (FERNANDES, 2009)..... | 11 |
| Figura 4 – Imagens do Google Earth™ dos Parques Nacionais do Iguaçu (a) e Itatiaia (b). Acesso em 21/02/2012. | 12 |
| Figura 5 - Triângulo do fogo: para que ocorra um incêndio deve haver combustível, oxigênio e calor (PM/PR, 2011)..... | 14 |
| Figura 6 – Diagrama esquemático ilustrando as interações entre as características do fogo, a vegetação e os fatores físicos (adaptado de WHELAN, 1995) | 15 |
| Figura 7 – Ilustração dos efeitos do vento e da declividade sobre o comportamento do fogo (FERNANDES, BOTELHO & LOUREIRO, 2002)..... | 17 |
| Figura 8 – Área de Estudo e sua localização no contexto do Bioma Mata Atlântica e do Mosaico de Unidades de Conservação da Serra da Mantiqueira..... | 29 |
| Figura 9 – Hidrografia da Área de Estudo (AE), incluindo as principais bacias hidrográficas. | 31 |
| Figura 10 – Médias mensais de precipitação para as estações pluviométricas AGNE e PQUE, calculados a partir dos dados brutos de FURNAS de 1987 a 2011..... | 32 |
| Figura 11 – Dados climáticos do Maciço do Itatiaia publicados por Segadas-Vianna & Dau (1965, <i>apud</i> RIBEIRO & MEDINA, 2002). Os dados se referem às altitudes de 410m (em cinza, série de 1911 a 1942) e 2.199m (em vermelho, série de 1916 a 1940)..... | 33 |
| Figura 12 – Mapa da situação fundiária do Itatiaia. Os polígonos numerados equivalem às propriedades levantadas pela empresa DIVISA. | 39 |
| Figura 13 – Área queimada em agosto de 08/2007 junto à trilha para o “Altar”. Na foto, de 09/2011, podemos observar resquícios de uma vegetação de porte arbustivo que não se regenerou (detalhe), sendo substituída por gramíneas..... | 43 |
| Figura 14 – Fotografia aérea do incêndio no Morro Cavado, tirada em 07/09/2011. | 44 |
| Figura 15 – Árvores atingidas pelo incêndio no Morro Cavado, foto de 10/09/2011..... | 44 |
| Figura 16 – Carta Imagem do Incêndio no Planalto de 2001, com destaque para a área queimada dentro da elipse amarela..... | 45 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 17 – Carta Imagem do Incêndio no Planalto de 2007, com destaque para a área queimada dentro da elipse amarela..... | 46 |
| Figura 18 – Carta Imagem do Incêndio no Planalto de 2010, com destaque para a área queimada dentro da elipse amarela..... | 47 |
| Figura 19 – Distribuição dos registros de incêndios de 1937 a 2011, por mês de início da ocorrência. Os dados se referem ao percentual do total de ocorrências de incêndios e área queimada registrados no período com informações sobre o mês de início (325)..... | 48 |
| Figura 20 – Gráfico de distribuição dos registros de incêndios de 1937 a 2011, por dia da semana de início da ocorrência. Percentual sobre o total de registros para o período com informações sobre a data de início (319)..... | 49 |
| Figura 21 – Gráfico de distribuição por ano dos registros de incêndios no PNI e entorno de 3Km, de 1937 a 2011, por ano. Em 2001 foi criado o PREVFOGO, iniciando-se a elaboração dos ROIs e a partir de 2008 as áreas queimadas passaram ser sistematicamente medidas com GPS..... | 50 |
| Figura 22 – Gráfico de distribuição por ano das áreas informadas nos registros de incêndios de 1937 a 2011, no PNI e entorno de 3Km. | 50 |
| Figura 23 – Mapa de Monitoramento do Plano Operativo de Prevenção e Combate a Incêndios do PNI (TOMZHINSKI & COSLOPE, 2011)..... | 55 |
| Figura 24 – Mapa comparativo da densidade de Kernel para os focos de calor detectados por satélites e os ROIs do PNI..... | 60 |
| Figura 25 – Mapa dos ROIs analisados, abrangendo o período de 2008 a 2011 e os grande incêndios de 2001e 2007..... | 67 |
| Figura 26 – Gráfico de distribuição por ano dos ROIs analisados. Para esse estudo, foi utilizado apenas um incêndio de 2001 e um de 2007..... | 69 |
| Figura 27 – Gráfico de distribuição por ano das áreas calculadas a partir dos polígonos dos ROIs analisados. Para esse estudo, foi utilizado apenas um incêndio de 2001 e um de 2007. | 69 |
| Figura 28 – Ilustração de exemplo de ocorrência de requeima. | 71 |
| Figura 29 – Modelo Digital de Elevação gerado para a Área de Estudo..... | 76 |
| Figura 30 – Mapa de incidência de radiação solar na Área de Estudo..... | 78 |
| Figura 31 – Incidência média de radiação solar para os polígonos de incêndios estudados em comparação com os valores máximo, mínimo e médio encontrados para toda a Área de Estudo (AE). | 79 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 32 – Divisão de classes pela técnica de quebra natural do histograma de valores de radiação..... | 80 |
| Figura 33 – Gráfico do percentual de área conforme as classes de incidência de radiação solar para toda a Área de Estudo, para os polígonos dos ROIs analisados e para as três maiores ocorrências..... | 81 |
| Figura 34 – Mapa de classes incidência de radiação solar na Área de Estudo..... | 82 |
| Figura 35 – Ilustração da curvatura horizontal (adaptado de VALERIANO, 2008)..... | 84 |
| Figura 36 – Mapa de formas do relevo..... | 85 |
| Figura 37 – Gráfico comparativo do percentual de área de cada forma de relevo na Área de Estudo, nos polígonos de incêndios analisados e nas três maiores ocorrências..... | 86 |
| Figura 38 – Mapa de declividade para a área de estudo..... | 88 |
| Figura 39 – Gráfico comparativo do percentual de área de cada classe de declividade na Área de Estudo, nos polígonos de incêndios analisados e nas três maiores ocorrências. | 90 |
| Figura 40 – Mapa de classes declividade para a suscetibilidade a ocorrência de incêndios | 91 |
| Figura 41 – Mapa de hipsometria da Área de Estudo..... | 93 |
| Figura 42 – Gráfico da área atingida pelos incêndios em função da altitude..... | 94 |
| Figura 43 – Mapa de classes de altitude para a suscetibilidade a ocorrência de incêndios..... | 95 |
| Figura 44 – Rede semântica utilizada para a classificação da combustibilidade no InterIMAGE®. A vegetação foi classificada em alta e baixa combustibilidade, sendo esta última classe novamente dividida em média e baixa..... | 100 |
| Figura 45 – Mapa de combustibilidade da Área de Estudo..... | 103 |
| Figura 46 – Gráfico da área atingida pelos incêndios em função da combustibilidade. | 104 |
| Figura 47 – Mapa de localização das estações pluviométricas com as respectivas zonas de abrangência estimadas..... | 107 |
| Figura 48 – Gráfico comparativo das médias mensais de precipitação com os registros históricos de incêndios. | 108 |
| Figura 49 – Gráfico comparativo do acumulado trimestral de precipitação junho-julho-agosto (JJA) para o período de 1984 a 2011 com os as áreas dos registros históricos de incêndios. | 109 |
| Figura 50 – Gráfico comparativo do acumulado trimestral de precipitação julho-agosto-setembro (JAS) para o período de 1984 a 2011 com os as áreas dos registros históricos de incêndios..... | 110 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 51 – Gráfico da variação de dias sem chuva (DSC) entre os anos de 2001 e 2011 para a estação AGNE. Os círculos em vermelho destacam a época dos cinco maiores incêndios analisados (dois em 2011). | 112 |
| Figura 52 – Gráfico da variação de precipitação acumulada de 10 e 30 dias (PA10 e PA30) entre os anos de 2001 e 2011 para a estação AGNE. Os círculos em vermelho destacam a época dos cinco maiores incêndios analisados (dois em 2011). | 113 |
| Figura 53 – Gráfico da variação de precipitação acumulada de 60, 90 e 120 dias (PA60, PA90 e PA120) entre os anos de 2001 e 2011 para a estação AGNE. Os círculos em vermelho destacam a época dos cinco maiores incêndios analisados (dois em 2011). | 114 |
| Figura 54 – Gráfico da relação entre dias sem chuva (DSC) e os ROIs maiores que 10 ha. Em destaque em vermelho os três maiores e em amarelo o quarto e o quinto. | 117 |
| Figura 55 – Gráfico da relação entre PA10 e PA30 e os ROIs maiores que 10 ha. | 118 |
| Figura 56 – Gráfico da relação dos indicadores de médio prazo com os ROIs maiores que 10 ha. | 118 |
| Figura 57 – Mapa das variáveis sócio-econômicas. | 121 |
| Figura 58 – Mapa de suscetibilidade a ocorrência de incêndios para a Área de Estudo | 127 |
| Figura 59 – Gráfico da área atingida pelos incêndios em função da combustibilidade. | 128 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 – Diversos conceitos da Geoecologia e seus autores (MENEZES, 2000)..... | 7 |
| Tabela 2 - Fatores que afetam a intensidade do incêndio florestal durante seu desenvolvimento (Adaptado de ICMBio, 2010a) | 17 |
| Tabela 3 - Classificação dos registros históricos de incêndios, segundo a estimativa de área atingida. | 51 |
| Tabela 4 - Satélites com respectivos sensores que captaram os focos de calor estudados no presente trabalho (EMBRAPA, 2011; INPE, 2011)..... | 57 |
| Tabela 5 - Relação anual dos focos de calor com os polígonos dos respectivos ROIS..... | 63 |
| Tabela 6 – Resumo das detecções de focos de calor por satélite. | 63 |
| Tabela 7 - Distribuição na Área de Estudo dos polígonos analisados..... | 66 |
| Tabela 8 - Classificação dos polígonos de incêndios estudados, segundo a área atingida. | 68 |
| Tabela 9 - ROIs analisados separados por ano e por categorias de tamanho dos incêndios. ... | 68 |
| Tabela 10 - ROIs analisados por Zonas..... | 70 |
| Tabela 11 - ROIs analisados por município. | 71 |
| Tabela 12 – Distribuição da quantidade de incêndios e da área atingida em função dos limites de classes de incidência de radiação solar propostos. | 80 |
| Tabela 13 – Distribuição do número de ROIs nas classes de incidência de radiação, segundo as classes de tamanho previamente estabelecidas. | 81 |
| Tabela 14 – Distribuição das ocorrências de incêndios analisadas em função da curvatura horizontal, distribuídos nas categorias de tamanho previamente estabelecidas. | 84 |
| Tabela 15 – Classes de declividade relacionadas ao risco de ocorrência de incêndios propostas por Chuvieco & Congalton (1989); Pezzopane <i>et al.</i> (2001); Dalcumune & Santos (2005); Koproski <i>et al.</i> (2011)..... | 87 |
| Tabela 16 – Distribuição do número de ROIs conforme a declividade média, segundo as classes de tamanho previamente estabelecidas..... | 89 |
| Tabela 17 – Distribuição dos incêndios em função da altitude média da área atingida. | 92 |
| Tabela 18 – Simplificação da distribuição do número de ROIs em função da altitude média, segundo as categorias de tamanho previamente estabelecidas..... | 92 |
| Tabela 19 - Análise dos pontos de controle da correção da imagem AVNIR de 2010. | 98 |
| Tabela 20 – Matriz de confusão da classificação de combustibilidade..... | 101 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 21 – Distribuição do número de ROIs em função da classe de combustibilidade majoritária, segundo as categorias de tamanho previamente estabelecidas. | 104 |
| Tabela 22 – Distribuição dos incêndios analisados em relação às zonas de abrangência das estações pluviométricas. | 106 |
| Tabela 23 – Síntese do sistema de alerta utilizado pelo ICMBio e IBAMA (adaptado de IBAMA 2008b e TOMZHINSKI & COSLOPE, 2011)..... | 111 |
| Tabela 24 – Limites máximos, mínimos, média e desvio padrão (σ) dos indicadores de precipitação antecedente encontrados as categorias de tamanho de incêndio anteriormente estabelecidas. | 115 |
| Tabela 25 – Limites críticos dos indicadores de precipitação antecedente encontrados a partir da análise da frequência de ocorrência de incêndios. | 116 |
| Tabela 26 – Indicadores de precipitação registrados na data de início dos cinco maiores incêndios analisados. | 119 |
| Tabela 27 - Distâncias dos incêndios, em metros, com relação a vias de transporte, edificações, levantamento fundiário (apenas para ocorrências dentro do PNI). | 122 |
| Tabela 28 - Distribuição dos incêndios em relação às distâncias para vias de transporte, edificações, levantamento fundiário e integração VEF (vias, edificações e fundiário). | 122 |
| Tabela 29 – Chave de classificação estabelecida para a suscetibilidade. | 125 |
| Tabela 30 – Análise dos ROIs em função da classe de suscetibilidade majoritária, considerando as categorias de tamanho previamente estabelecidas. | 126 |
| Tabela 31 – Proporção da área de estudo e das áreas atingidas por incêndios (ROIs) segundo as classes de suscetibilidade e das variáveis que a compõem. | 126 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|---------|----------------------------------------------------------------------------|
| AE | - Área de Estudo |
| AGNE | - Agulhas Negras - refere-se à estação meteorológica de FURNAS no Planalto |
| ALOS | - Advanced Land Observing Satellite |
| AMAN | - Academia Militar das Agulhas Negras |
| APA | - Área de Proteção Ambiental |
| ATSR | - Along Track Scanning Radiometer |
| AVHRR | - Advanced Very High Resolution Radiometer |
| AVNIR | - Advanced Visible and Near Infrared Radiometer |
| BD | - Banco de Dados |
| CBERS | - China-Brazil Earth Resources Satellite |
| DGPS | - Differential Global Positioning System |
| DPI | - Divisão de Processamento de Imagens |
| DSC | - Dias sem chuva |
| EMBRAPA | - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| ERS | - European Remote Sensing |
| ESRI | - Environmental System Research Institute |
| FMC | - Fuel Moisture Content |
| GOES | - Geostationary Operational Environmental Satellite |
| GEOCART | - Laboratório de Cartografia do Departamento de Geografia da UFRJ |
| GEOHECO | - Laboratório de Geo-Hidroecologia do Departamento de Geografia da UFRJ |
| GPS | - Global Positioning System |
| ha | - Hectares |
| IBAMA | - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais renováveis |
| IBDF | - Instituto Brasileiro de desenvolvimento Florestal |
| IBGE | - Instituto Brasileiro de geografia e Estatística |
| ICMBio | - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade |
| INPE | - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| JAS | - Julho, agosto e setembro |
| JJA | - Junho, julho e agosto |
| km | - Quilômetro |
| m | - Metro |
| MDE | - Modelo Digital de Elevação |
| MMA | - Ministério do Meio Ambiente |
| MMA | - Ministério do Meio Ambiente |
| MODIS | - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer |
| NDVI | - Normalized Difference Vegetation Index |
| NOAA | - National Oceanic and Atmospheric Administration |
| PA | - Precipitação acumulada |
| PNI | - Parque Nacional do Itatiaia |

| | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|
| PQUE | - Parque - refere-se à estação meteorológica de FURNAS próxima à sede do Parque |
| PREVFOGO | - Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais |
| PUC-Rio | - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro |
| ROI | - Relatório de Ocorrência de Incêndio |
| SAD | - South America Datum |
| SEVIRI | - Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager |
| SIRGAS | - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas |
| SNUC | - Sistema Nacional de Unidades de Conservação |
| SRTM | - Shuttle Radar Topographic Mission |
| UC | - Unidade de Conservação |
| UFRJ | - Universidade Federal do Rio de Janeiro |
| UNESCO | - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization |
| UTM | - Universal Transversa de Mercator |
| VEF | - Vias de transporte, edificações e fundiário |

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. OBJETIVOS | 3 |
| 1.1.1. <i>Objetivo geral</i> | 3 |
| 1.1.2. <i>Objetivos específicos</i> | 4 |
| 1.2. ESTRUTURA GERAL DO TRABALHO | 4 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 7 |
| 2.1. GEOECOLOGIA | 7 |
| 2.2. GEOPROCESSAMENTO E CARTOGRAFIA GEOECOLÓGICA | 9 |
| 2.3. UNIDADES DE CONSERVAÇÃO..... | 11 |
| 2.4. FOGO, QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS | 13 |
| 2.4.1. <i>Conceitos Aplicados ao Fogo em Vegetação</i> | 13 |
| 2.4.2. <i>O Fenômeno Fogo e suas Características</i> | 14 |
| 2.4.3. <i>Fogo e Sociedade</i> | 18 |
| 2.4.4. <i>Efeitos do Fogo</i> | 21 |
| 2.5. CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO | 23 |
| 3. ÁREA DE ESTUDO | 26 |
| 3.1. O PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA | 26 |
| 3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS..... | 30 |
| 3.3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS | 32 |
| 3.4. CARACTERÍSTICAS BIÓTICAS | 33 |
| 3.5. CARACTERÍSTICAS SÓCIO-ECONÔMICAS, HISTÓRICAS E CULTURAIS | 36 |
| 3.6. A QUESTÃO FUNDIÁRIA | 38 |
| 4. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DOS INCÊNDIOS NO ITATIAIA..... | 40 |
| 4.1. ANÁLISE TEMPORAL DOS INCÊNDIOS..... | 48 |
| 5. AVALIAÇÃO DA DETECÇÃO DE FOCOS DE CALOR POR SATÉLITES PARA O PNI..... | 52 |
| 5.1. SISTEMAS DE DETECÇÃO DE INCÊNDIOS..... | 52 |
| 5.2. DADOS DE ENTRADA | 56 |
| 5.2.1. <i>Relatórios de Ocorrência de Incêndios</i> | 56 |
| 5.2.2. <i>Focos de Calor Detectados por Satélites</i> | 56 |
| 5.3. ANÁLISE PRELIMINAR DA DISTRIBUIÇÃO DOS FOCOS DE CALOR E DOS ROIs..... | 57 |
| 5.4. ANÁLISE DA DETECÇÃO DE FOCOS DE CALOR POR SATÉLITES | 61 |
| 5.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO DE FOCOS DE CALOR DETECTADOS POR SATÉLITES..... | 64 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6. ANÁLISE DOS REGISTROS DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS COM POLÍGONOS DELIMITADOS | 66 |
| 7. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS GEOECOLÓGICAS FRENTE AOS REGISTROS DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIO | 73 |
| 7.1. VARIÁVEIS GEOMORFOLÓGICAS..... | 73 |
| 7.1.1. <i>Dados de entrada</i> | 73 |
| 7.1.2. <i>Orientação das Encostas e Incidência de Radiação Solar</i> | 77 |
| 7.1.3. <i>Forma do relevo</i> | 83 |
| 7.1.4. <i>DECLIVIDADE</i> | 87 |
| 7.1.5. <i>ALTITUDE</i> | 92 |
| 7.2. COMBUSTIBILIDADE | 96 |
| 7.2.1. <i>Dados de entrada</i> | 96 |
| 7.2.2. <i>Mapeamento e análise da combustibilidade</i> | 101 |
| 7.3. PRECIPITAÇÃO..... | 105 |
| 7.3.1. <i>Dados pluviométricos</i> | 105 |
| 7.3.2. <i>Análise temporal dos incêndios em relação à precipitação</i> | 108 |
| 7.3.3. <i>Indicadores de precipitação</i> | 110 |
| 7.4. VARIÁVEIS SÓCIO-ECONÔMICAS | 120 |
| 8. MAPEAMENTO GEOECOLÓGICO DA SUSCETIBILIDADE A OCORRÊNCIA A INCÊNDIOS..... | 124 |
| 9. CONCLUSÃO | 129 |
| 9.1. DETECÇÃO DE INCÊNDIOS..... | 129 |
| 9.2. REGIME DE FOGO | 129 |
| 9.3. MAPEAMENTO GEOECOLÓGICO DA SUSCETIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS..... | 131 |
| 9.4. LIMITAÇÕES DO ESTUDO E QUESTIONAMENTOS PARA TRABALHOS FUTUROS | 133 |
| 9.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 134 |
| 10. .. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 135 |

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização, o Homem vem utilizando o fogo como elemento modificador da paisagem, provendo meios para a sua subsistência (CALDARARO, 2002; WHELAN, 1995). No Brasil, mesmo antes da colonização européia, o fogo já era utilizado para o estabelecimento de áreas agrícolas, para o manejo da floresta e caça pela “primeira leva de invasores humanos”, homens caçadores que chegaram às planícies sul-americanas há talvez 13 mil anos (DEAN, 1996).

Muitos incêndios têm causas naturais e podem ser entendidos como um entre muitos fatores que atuam nos ecossistemas. No entanto, na maioria das regiões do mundo as principais fontes de ignição estão ligadas à ação antrópica (WHELAN, 1995). Caldararo (2002) aponta os grandes incêndios florestais existentes atualmente como uma consequência da ocupação humana.

O incêndio florestal é um evento com potencial devastador (FRANÇA *et al.*, 2007), representando uma ameaça ambiental de primeira ordem (CAMPO *et al.*, 2006). Os efeitos do fogo nos ecossistemas são complexos, abrangendo desde a perda de biodiversidade (ICMBio, 2010a) e a redução ou eliminação da biomassa na superfície do solo a impactos nos processos físicos, químicos e biológicos abaixo da superfície (NEARY *et al.*, 1999), aumentando a suscetibilidade à erosão (CAMPO *et al.*, 2006, HUBBERT *et al.*, 2005, LASANTA & CERDÁ, 2005; GIMENO-GARCIA *et al.*, 2000). Além disso, representam uma grande fonte adicional de emissões de gases de efeito estufa (FEARNSIDE, 2002) e podem resultar em efeitos diversos, como: paralisação de aeroportos, poluição atmosférica, aumento da incidência de doenças respiratórias, danos ao patrimônio público e privado, entre outros (ICMBio, 2010a). Nesse sentido, os incêndios florestais constituem uma das maiores ameaças à biodiversidade, especialmente para muitas Unidades de Conservação (UC). A contínua melhoria nas ações de prevenção e combate aos incêndios é fundamental para a proteção do meio ambiente e, para tal, é de grande importância a busca de conhecimento científico que sirva de base para o planejamento e tomada de decisões relacionadas à gestão, proteção e manejo das áreas protegidas.

No entanto, nem sempre os efeitos do fogo são danosos ao meio ambiente e estudos indicam que alguns ecossistemas, como muitas fitofisionomias do Cerrado, dependem deste elemento para a sua manutenção (MOREIRA, 1996) ou evolução. Em diversos países, especialmente nos Estados Unidos, as agências responsáveis pelo manejo florestal e pelos

Parques Nacionais têm adotado uma política de queimas prescritas para redução de biomassa e prevenção de grandes incêndios de difícil controle, apesar de ainda haver grande controvérsia com relação às conseqüências para os ecossistemas (CALDARARO, 2002). No Brasil merece destaque a experiência que vem sendo adquirida com o manejo do fogo no Parque Nacional das Emas, que se caracteriza por um grande número de incêndios causados por raios (FRANÇA *et al.*, 2007). Uma nova compreensão a respeito das ocorrências de fogo e suas conseqüências vem sendo desenvolvida através dos estudos sobre a ecologia do fogo, para os quais este trabalho pode ser fonte de relevantes informações.

Situado na Serra da Mantiqueira, o Itatiaia é o primeiro Parque Nacional do Brasil e protege expressivo remanescente do Bioma Mata Atlântica, onde nascem importantes rios afluentes de duas destacadas bacias hidrográficas do país: as dos rios Paraíba do Sul e Paraná. O acentuado gradiente altitudinal do Parque permite que ele abrigue ecossistemas bastante distintos, abrangendo desde áreas de floresta ombrófila densa até campos de altitude, incluindo várias espécies endêmicas da flora e fauna.

O Parque Nacional do Itatiaia (PNI) sofre constantemente com o fogo, especialmente no Planalto do Itatiaia (DUSÉN, 1955; BRADE, 1956; RIBEIRO, 2002; TEIXEIRA, 2006). As atividades humanas no seu interior e entorno resultam em grande número de incêndios, alguns de grandes proporções, que ano a ano eliminam espécimes da fauna e flora, modificando e possivelmente empobrecendo os ecossistemas e sua biodiversidade

Em 1956, o naturalista Alexandre Curt Brade, em sua monografia “A Flora do Parque Nacional do Itatiaia”, relata a influência dos incêndios na modificação da paisagem do parque, tanto reduzindo a população de espécies arbóreas, como a *Araucaria angustifolia* quanto favorecendo a ampliação de áreas ocupadas por gramíneas e formações arbustivas (BRADE, 1956). Ribeiro (2001) e Aximoff (2007), através dos relatórios de avaliação dos efeitos dos grandes incêndios de 2001 e 2007 ocorridos no Planalto do Itatiaia, indicam que a ocorrência do fogo tem alterado significativamente as características bióticas e abióticas da paisagem. A seleção de espécies, a fragmentação das áreas de matas, o empobrecimento dos solos e sua erosão podem ser citados como exemplos de efeitos do fogo.

Entretanto, investigar como o fogo ocorre em determinada paisagem é uma tarefa complexa que exige análises diversas de uma série de variáveis que condicionam esse fenômeno. Além disso, essas variáveis devem ser levadas em conta, não apenas de maneira isolada, mas interagindo entre si, para a construção de modelos e mapas que subsidiem o planejamento e gestão da paisagem.

A partir do exposto, através do mapeamento e análise da distribuição espacial e temporal dos incêndios e das principais variáveis geológicas que influenciam a ocorrência dos incêndios, busca-se subsidiar o planejamento ambiental, proteção e manejo deste importante Parque Nacional. No entanto, apesar da Área de Estudo ser o PNI, a metodologia e o conhecimento adquirido poderão ser utilizados em outros locais, dentro ou fora de Unidades de Conservação.

Este trabalho não busca simplesmente a descrição do espaço físico do Parque ou dos fatores que influenciam os incêndios florestais, mas um entendimento destes, suas inter-relações e suas conseqüências sob a ótica do seu arranjo espacial, ou seja, sob a ótica da ciência geográfica (GOMES, 2009).

Nesse sentido, a análise geológica, como uma abordagem de caráter integrativo, busca estabelecer relacionamentos quantitativos e qualitativos entre os elementos da biosfera, incluindo os resultados da ação do homem sobre a paisagem. Para tal, o geoprocessamento e a cartografia ampliam sensivelmente a capacidade analítica, especialmente sob a ótica geográfica.

O estudo se encaixa nas pesquisas que vêm sendo realizadas pelo Laboratório de Cartografia do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (GEOCART/UFRJ), na linha da Geologia e Geoprocessamento, trabalhando uma aplicação e comprovação prática da metodologia proposta por Fernandes (1998), Silva (2006) e Silva *et al.* (2009), complementando-a com novas variáveis como proposto por Sousa (2009) e Fernandes *et al.* (2011), além de dados históricos e observações de campo.

1.1.OBJETIVOS

Partindo do contexto apresentado, foram delineados os seguintes objetivos para o trabalho:

1.1.1.Objetivo geral

Ampliar o conhecimento, através de uma análise geológica, da relação entre os elementos humanos e geofísicos da paisagem e a ocorrência de incêndios florestais, fornecendo subsídios para a proteção e manejo do Parque Nacional do Itatiaia e outras Unidades de Conservação.

1.1.2. Objetivos específicos

- Avaliar o comportamento das variáveis geológicas assumidas no estudo a partir dos principais incêndios ocorridos no Parque Nacional do Itatiaia no período de 2001 a 2011;
- Contribuir para o refinamento da metodologia de construção de mapas geológicos desenvolvida nos Laboratórios de Geo-Hidroecologia (GEOHECO) e Cartografia (GEOCART) do Departamento de Geografia da UFRJ, através da utilização de dados de campo e inclusão de novas variáveis;
- Analisar as ocorrências de incêndios face às condições de precipitação e propor parâmetros para o sistema de alerta do PNI;
- Descrever o regime de fogo na área de estudo pautado nas ocorrências de incêndio e sua distribuição espacial e temporal, considerando as variáveis históricas e geológicas;

1.2. ESTRUTURA GERAL DO TRABALHO

Buscando uma apresentação de forma lógica e objetiva, o trabalho foi estruturado da seguinte maneira:

Partindo dos objetivos propostos anteriormente, no capítulo **2** são abordados os principais conceitos utilizados e que foram considerados importantes para a compreensão da questão do fogo e das metodologias utilizadas. A abrangência da Área de Estudo e suas principais características são tratados no capítulo **3**, seguidos de uma contextualização cronológica da questão dos incêndios no Parque Nacional do Itatiaia no capítulo **4**.

No capítulo **5** é apresentado um estudo sobre a detecção de focos de calor por satélites e a sua correspondência com os registros de campo para o Itatiaia, constituindo as análises preliminares desse trabalho e que muito auxiliaram a ampliar os horizontes sobre a questão dos incêndios e delimitar a Área de Estudo (AE). Na sequência, no capítulo **6**, apresentamos e analisamos de forma geral os polígonos de incêndios que serão utilizados nas análises geológicas propriamente ditas, que são apresentadas no capítulo **7**, divididas em variáveis geomorfológicas, combustibilidade, variáveis climáticas e variáveis sócio-econômicas. A integração destas variáveis para o mapeamento geológico da suscetibilidade compõe o capítulo **8**.

No capítulo **9**, são apresentadas as conclusões do trabalho e considerações finais, entre as quais se inclui uma proposta de descrição do regime de fogo do Itatiaia e principais resultados encontrados, além das limitações deste trabalho e propostas de estudos futuros, seguidos pelas referências bibliográficas no capítulo **10**.

Na Figura 1 um esquema geral do trabalho é apresentado em forma de fluxograma a fim de facilitar a sua compreensão.

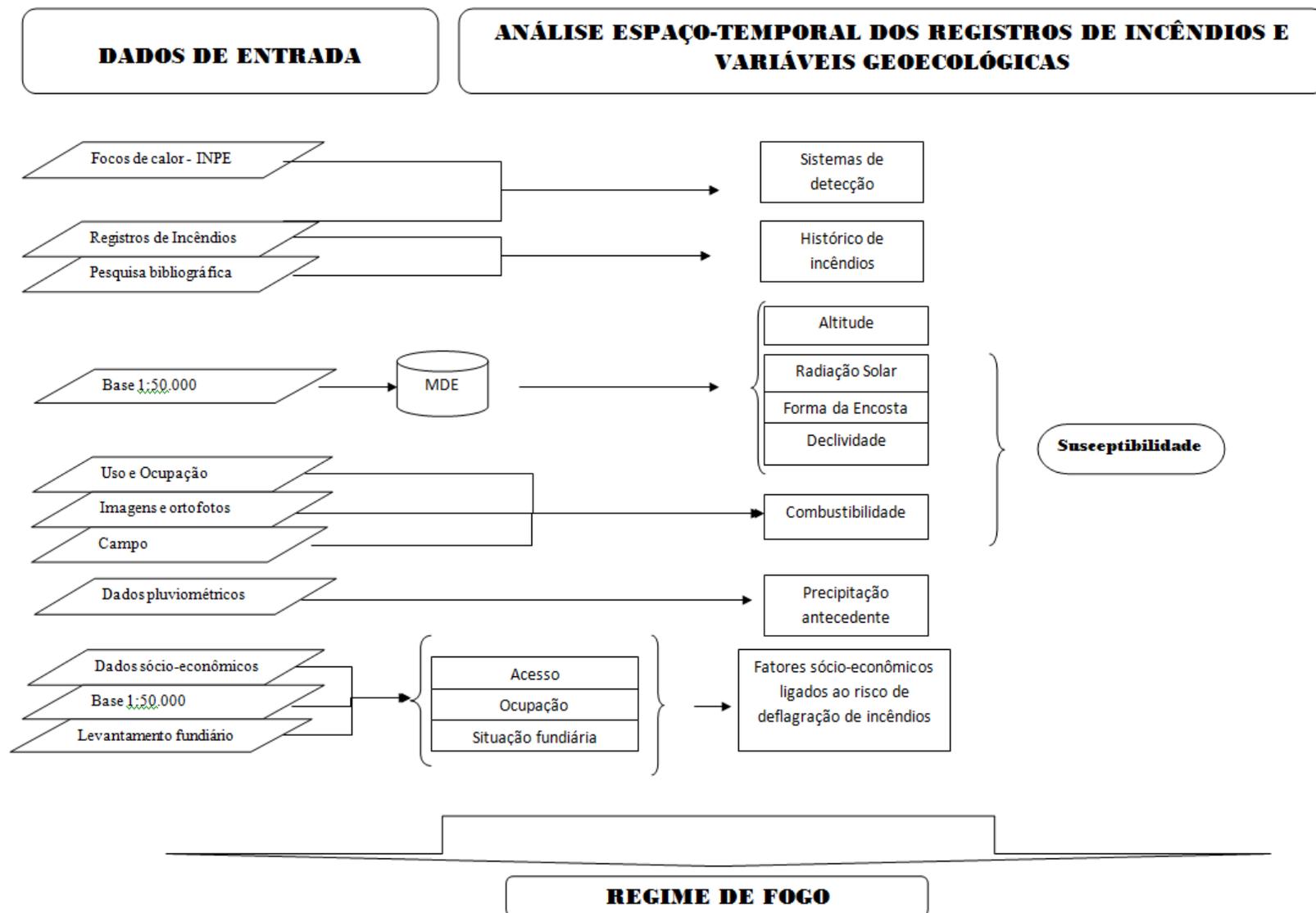


Figura 1 – Esquema geral do trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. GEOECOLOGIA

A Geoecologia, segundo a escola alemã, ou Ecologia da Paisagem, de acordo com a escola americana, é uma disciplina que realiza a interface entre a Geografia e a Ecologia, através de uma estrutura multi e inter-disciplinar.

Em 1939, o alemão Carl Troll definiu Geoecologia como a união entre a Geografia e a Ecologia, combinando, em seu trabalho, a abordagem horizontal do geógrafo com a verticalizada, dos ecologistas. Já na década de 1980, a abordagem geográfica passa a privilegiar o termo Geoecologia, buscando novos indicadores diversificados da fauna, flora e da ação antrópica, para a verificação da condição da biodiversidade, buscando desenvolver os estudos ambientais de caráter integrativo pautados no entendimento do relacionamento da sociedade com a natureza (SOUSA, 2009). Menezes (2000) resumiu diversos conceitos de Geoecologia do século XX, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Diversos conceitos da Geoecologia e seus autores (MENEZES, 2000).

| Autor | Ano | Formação | Conceito |
|---------------------|------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TROLL | 1939 | Geógrafo | Estudo dos relacionamentos físico-biológicos, que governam as diferentes unidades espaciais de uma área geográfica |
| ZONNEVELD | 1972 | Geógrafo | A ecologia da paisagem é a subdivisão crucial da ciência de estudo da paisagem, a geografia, abordando-a como uma entidade holística, composta de diferentes elementos, cada um influenciando os demais |
| KLINK | 1974 | Geógrafo | Estudo das massas naturais, quantidades de energia e suas variações, de uma paisagem, qualitativa e quantitativamente, determinadas através de ciclos ecológicos |
| RISSER <i>et al</i> | 1984 | Biólogo | Desenvolvimento e a dinâmica da heterogeneidade espacial. Considera dessa forma, as interações espaciais e temporais, as alterações nas paisagens heterogêneas e as influências dessa heterogeneidade sobre os processos bióticos e abióticos, bem como o próprio gerenciamento da heterogeneidade espacial |
| FORMAN E GODRON | 1986 | Biólogos | Ciência que estuda a estrutura, funções e alterações em uma área heterogênea, composta por ecossistemas que interagem entre si |
| NAVEH E LIEBERMAN | 1993 | Biólogos | Ramificação da moderna ecologia, que trata dos relacionamentos entre o homem e paisagens, sejam elas urbanas ou não urbanas. |

Rodriguez (2007) aborda a Geoecologia como a integração em uma mesma direção científica das concepções biológicas e geográficas sobre as paisagens, voltada para a inter-relação dos aspectos estruturais-espaciais e dinâmico-funcionais destas. Este autor adota a Geoecologia da paisagem como parte da Geoecologia, concentrando sua atenção nas paisagens como ecossistemas. Ele divide a estrutura da paisagem em: vertical - *“formada pela sua composição e inter-relações entre os componentes da paisagem no sentido vertical”*, por exemplo: uso e ocupação, água, relevo, litologia, solos e horizontal - ilustrada como *“mosaico de unidades da paisagem”*

A análise geoecológica, como uma abordagem de caráter integrativo, busca estabelecer relacionamentos quantitativos e qualitativos entre os elementos da biosfera, incluindo os resultados da ação do homem sobre a paisagem, que é um dos cinco conceitos-chave pelos quais, segundo Corrêa (2008), a geografia é objetivada como ciência social.

O conceito de paisagem tem sido abordado e definido de diversas formas dentro da geografia e outras ciências (FORMAN & GODRON, 1986; TURNER, 1989; SANTOS, 1991; RODRIGUEZ *et al.*, 2007), no entanto, para melhor entender as modificações no meio ambiente, é importante incluir na análise os fatores humanos que o influenciam. Por esse motivo, dentre os diversos conceitos de paisagem, adotou-se para este trabalho o apresentado por Bertrand (1982), que a define como *“o resultado, sobre uma certa porção da superfície terrestre, da combinação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que interagem dialeticamente uns com os outros, tornando-se assim um todo único e indissociável de evolução contínua”*.

A análise da paisagem, no entanto, torna-se muito complexa se não for utilizada uma abordagem específica. Desta forma, este trabalho aborda a interface entre a paisagem e os incêndios florestais a partir das características básicas de uma análise geoecológica: estrutura, função e dinâmica.

A **estrutura** da paisagem constitui-se no arranjo espacial dos elementos geoecológicos, representados neste estudo pelas características geomorfológicas, climáticas e de uso e ocupação do solo. Este arranjo cria condições e influencia a ocorrência dos incêndios florestais e seu comportamento (ver item 3.2.2) segundo a **função** de cada um dos seus elementos, inclusive o próprio fogo, numa **dinâmica** de transformação de cada um, de suas relações e, conseqüentemente da própria paisagem, numa escala espaço-temporal (Figura 2).

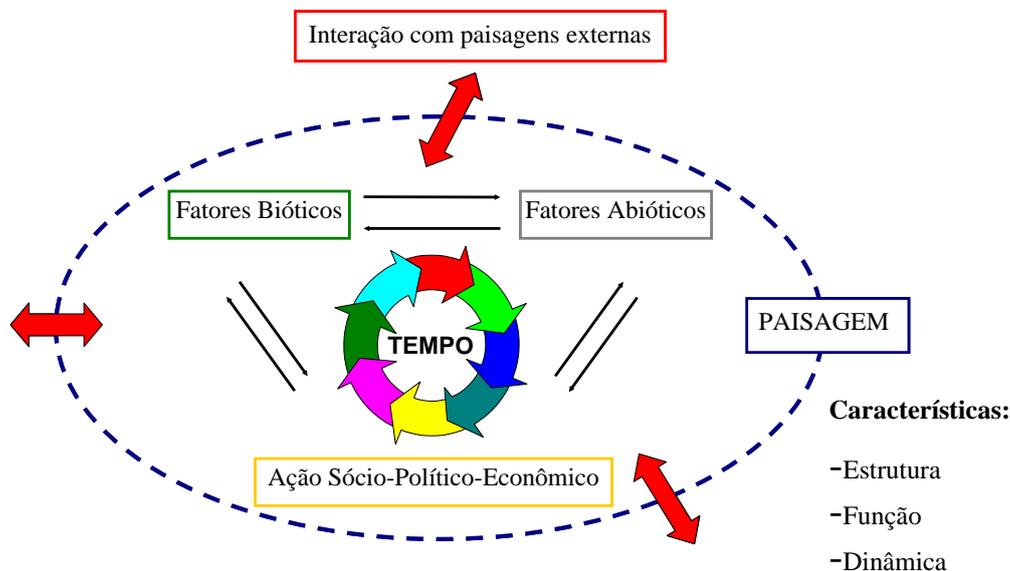


Figura 2 - Inter-relações assumidas em estudos geocológicos (FERNANDES, 2004)

É com base nessa abordagem que este trabalho analisa a questão do fogo como elemento modificador da paisagem. Operacionalmente, devido à complexidade destas análises, o Geoprocessamento se constitui em uma ferramenta indispensável para as análises geocológicas, assim apontado por diversos autores, como Naveh & Lieberman (1993), Bridgewater (1993), Coelho Netto *et al.* (2007), Fernandes (2009) e Sousa *et al.* (2010).

2.2. GEOPROCESSAMENTO E CARTOGRAFIA GEOECOLÓGICA

O Geoprocessamento, também abordado como Geotecnologias, pode ser definido como um conjunto de conceitos, métodos e técnicas erigido em torno do processamento eletrônico de dados que opera sobre registros de ocorrências georreferenciados, analisando suas características e relações geotopológicas para produzir informação ambiental. Ou seja, o processamento informatizado de dados georreferenciados, permitindo a análise de informações cartográficas, imagens aéreas e outros dados que se possam associar a estes através de coordenadas.

Conforme Richter (2004), cada vez mais se faz uso de suas aplicações na definição das ações de conservação da biodiversidade, pois representam um ferramental inigualável para o atendimento de algumas necessidades expressas na Convenção Sobre Diversidade Biológica (CDB), dentre elas:

- a) Identificação e monitoramento de espécies e ecossistemas;

b) Conservação *in situ*, através da avaliação de local mais apropriado para a criação de UC's, subsidiar o manejo e a gestão dessas áreas e detecção de lacunas de conservação;

c) Avaliação de impactos e minimização de impactos adversos; e

d) Intercâmbio de informação, através da disponibilização e facilidade de visualização e entendimento da informação por meio de mapas.

A Geoecologia e o Geoprocessamento ao realizar metodologicamente e operacionalmente o entendimento da paisagem necessitam de um instrumento de representação das análises propostas. Esse instrumento é apresentado por Menezes (2000) através da Cartografia Geoecológica que busca a representação cartográfica de temas ligados à análise de uma paisagem, assim definindo-a como a “*representação de dados ou informações oriundas de processos analíticos, mostrando através dos inter-relacionamentos entre os elementos da paisagem, as conseqüências imediatas ou futuras sobre o meio ambiente definido pelo recorte espacial da paisagem estudada*”.

Na análise das características espaciais, as geotecnologias possibilitam à Geografia e a outras ciências uma observação mais aprofundada da paisagem à medida que esta é estudada a partir da integração de diversas variáveis (análise geoecológica), através do geoprocessamento. Para isso, conta-se com uma série de ferramentas, como: o Sensoriamento Remoto (SR), Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Modelos Digitais de Elevação (MDE) e os Banco de Dados Geográficos (BDG). Estes tornam possível, segundo Cruz (2000), a localização, delimitação, quantificação, equacionamento e monitoramento da evolução de fenômenos ambientais.

Todavia, uma série de questionamentos sobre o uso do geoprocessamento deve ser bem avaliada para evitar problemas nos resultados alcançados. Esses questionamentos são basicamente reflexos da construção de representações computacionais da realidade, ou seja, modelos conceituais que buscam retratar a paisagem a ser estudada (FERNANDES, 2009). Ainda segundo este autor, o uso das geotecnologias sem os devidos conhecimentos conceituais que as fundamentam, como os cartográficos, estrutura de arquivo, lógica, entre outros, podem gerar modelos distorcidos da realidade, que podem conduzir a decisões equivocadas (Figura 3).

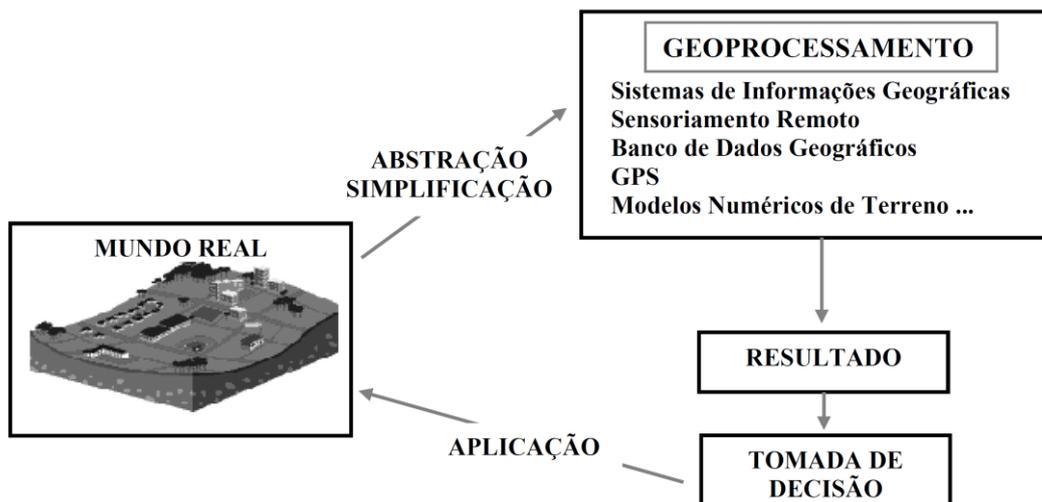


Figura 3 - Esquema de modelo conceitual de análise e tomada de decisão (FERNANDES, 2009)

2.3. UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

O conceito moderno de Unidade de Conservação (UC) surgiu com a criação do Parque Nacional de Yellowstone, nos Estados Unidos, em 1872, buscando fazer frente à rápida devastação do território norte americano. No Brasil, a primeira semente para a criação de uma área protegida foi lançada, em 1876, pelo Engenheiro André Pinto Rebouças que, inspirado na iniciativa americana, sugeriu a criação de dois parques nacionais: um em Sete Quedas, hoje inundadas pelo lago da Usina de Itaipu e outro na Ilha do Bananal, onde hoje existem uma Reserva Indígena, um Parque Estadual e um Parque Nacional (MMA, 2007; TEIXEIRA & LINSKER, 2007).

A criação e implementação de Unidades de Conservação tem se estabelecido como um dos principais instrumentos de conservação da biodiversidade no âmbito mundial e nacional. A segunda diretriz da Política Nacional da Biodiversidade (BRASIL, 2002) fortalece o uso das UCs como um instrumento para a manutenção dos processos ecológicos e evolutivos, a oferta sustentável dos serviços ambientais e a integridade dos ecossistemas, garantindo a representatividade dos ecossistemas e das ecorregiões.

Segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC, uma Unidade de Conservação (UC) é definida como:

Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente

instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção. (BRASIL, 2000)

As UCs são divididas em Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável, sendo que as primeiras têm o objetivo de manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, admitido apenas o uso indireto dos seus atributos naturais, enquanto que as de uso sustentável permitem a exploração do ambiente de maneira que se garanta a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos (BRASIL, 2000).

Apesar de haver grandes conflitos entre Conservação e Desenvolvimento, observa-se que a criação de espaços protegidos tem sido, em alguns casos, a única forma de preservar a biodiversidade em determinadas regiões, mesmo que de forma limitada. Um exemplo claro disso são os Parques Nacionais do Iguazu e Itatiaia, que através de imagens de sensoriamento remoto, são facilmente percebidos como ilhas cercadas de áreas altamente antropizadas (Figura 4).

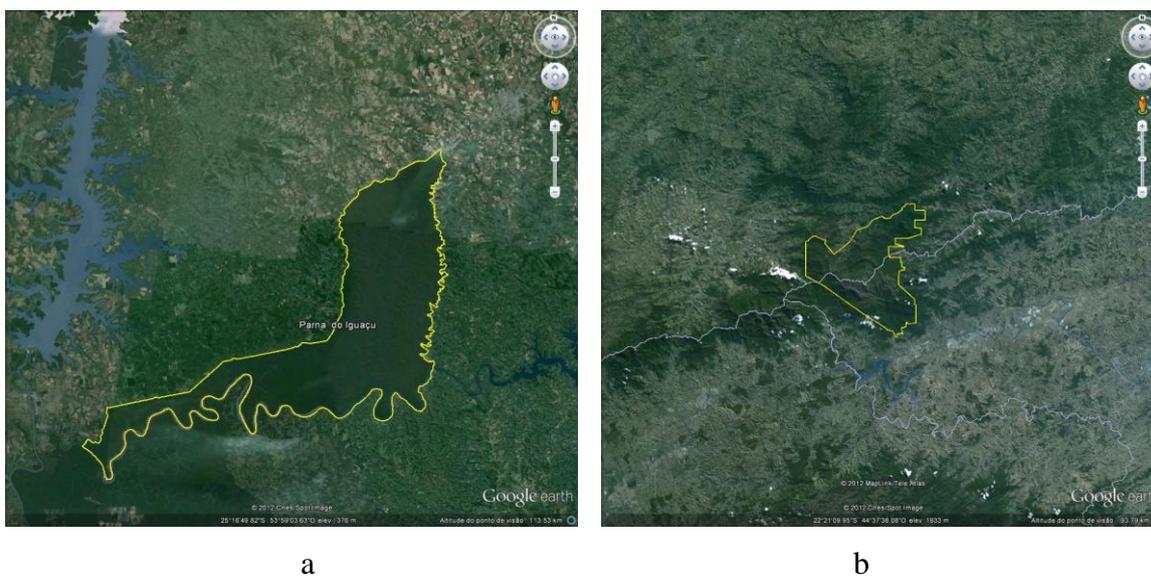


Figura 4 – Imagens do Google Earth™ dos Parques Nacionais do Iguazu (a) e Itatiaia (b). Acesso em 21/02/2012.

Por outro lado, a gestão participativa das UCs e a ampliação das Unidades de Uso Sustentável têm sido os instrumentos adotados para amenizar os conflitos existentes, alterando a idéia de que esses espaços são alheios ao Homem, através de sua integração em diferentes níveis com a sociedade, conforme a categoria e objetivo de cada Unidade. Este não é um caminho fácil, levando em conta os diversos interesses divergentes, mas vale ressaltar

que parece o mais viável dentro do contexto de um país democrático e da riqueza de opções de categorias estabelecidas pelo SNUC.

Especificamente neste projeto, a Área de Estudo é um Parque Nacional, UC de Proteção Integral, que tem como objetivo básico:

a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico (BRASIL, 2000).

2.4. FOGO, QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS

O fogo é um dos principais agentes modificadores da paisagem. Hoje em dia, as modificações da paisagem e a grande quantidade de fontes de ignição resultantes da ação antrópica fazem com que a atividade humana seja fator determinante para a ocorrência de incêndios florestais. Entretanto, mesmo no período anterior à ação do *Homo sapiens*, outras fontes de ignição, como a atividade vulcânica, fagulhas causadas pelo deslizamento de rochas e a ação de relâmpagos (causa não-humana mais comum), resultaram em freqüentes incêndios (WHELAN, 1995, CALDARARO, 2002). São abordados a seguir alguns conceitos importantes para uma melhor compreensão da dinâmica do fogo.

2.4.1. Conceitos Aplicados ao Fogo em Vegetação

A literatura científica internacional utiliza uma vasta gama de termos e conceitos para lidar com a ocorrência de fogo em vegetação. Whelan (1995) apresenta algumas dessas definições, muitas sem termo equivalente no Brasil:

- *Bushfires* (Austrália) e *wildland fire* (América do Norte) são termos equivalentes e genéricos que descrevem fogo em vegetação nativa, seja de florestas, arbustos ou gramíneas. Tipicamente é um fogo não planejado, causado por incendiário, acidente ou perda de controle;
- *Wildfire* refere-se a um fogo sem controle, equivalente ao termo incêndio florestal;
- *Forest fire* e *brush fire* tipicamente descrevem o tipo de vegetação atingida pelo fogo, no caso floresta e um tipo de vegetação arbustiva, respectivamente;
- *Prescription fire* ou queimada prescrita é um termo utilizado quando o fogo é recomendado, por exemplo por uma instituição reguladora, por alguma razão técnica.

Uma das situações mais comuns é a utilização deliberada do fogo, de forma controlada, para a redução de biomassa de determinada área, com o intuito de prevenir incêndios, i.e., fogo sem controle.

No Brasil, os termos mais utilizados são queimada e incêndio florestal. Ramos (1995) diferencia queimadas e incêndios florestais segundo a seguinte conceituação:

- *Queimada*: fogo decorrente de prática agropastoril ou florestal, onde é utilizado de forma controlada, atuando como um fator de produção.
- *Incêndio Florestal*: todo fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo ter sido provocado pelo homem (intencional ou negligência) ou por fonte natural (raio).

2.4.2.O Fenômeno Fogo e suas Características

Fogo é o termo aplicado ao resultado de uma reação química de oxidação que ocorre em alta velocidade e com liberação calórica e luminosa, proveniente da combinação entre oxigênio, combustível e uma fonte de calor para a ignição (ICMBio, 2010a). Portanto, para a existência de fogo e, conseqüentemente, para a ocorrência de incêndios florestais, é obrigatória a existência destes três fatores, o que é comumente ilustrado através do chamado “triângulo do fogo” (Figura 5)



Figura 5 - Triângulo do fogo: para que ocorra um incêndio deve haver combustível, oxigênio e calor (PM/PR, 2011)

Whelan (1995) chama a atenção para a importância de compreender em profundidade o fenômeno fogo e suas características em função da interação de mão dupla

entre as características da vegetação e a natureza do fogo. O resultado dessa interação é que vai determinar o potencial de dano de determinada ocorrência de fogo, bem como suas conseqüências para o ecossistema (Figura 6).

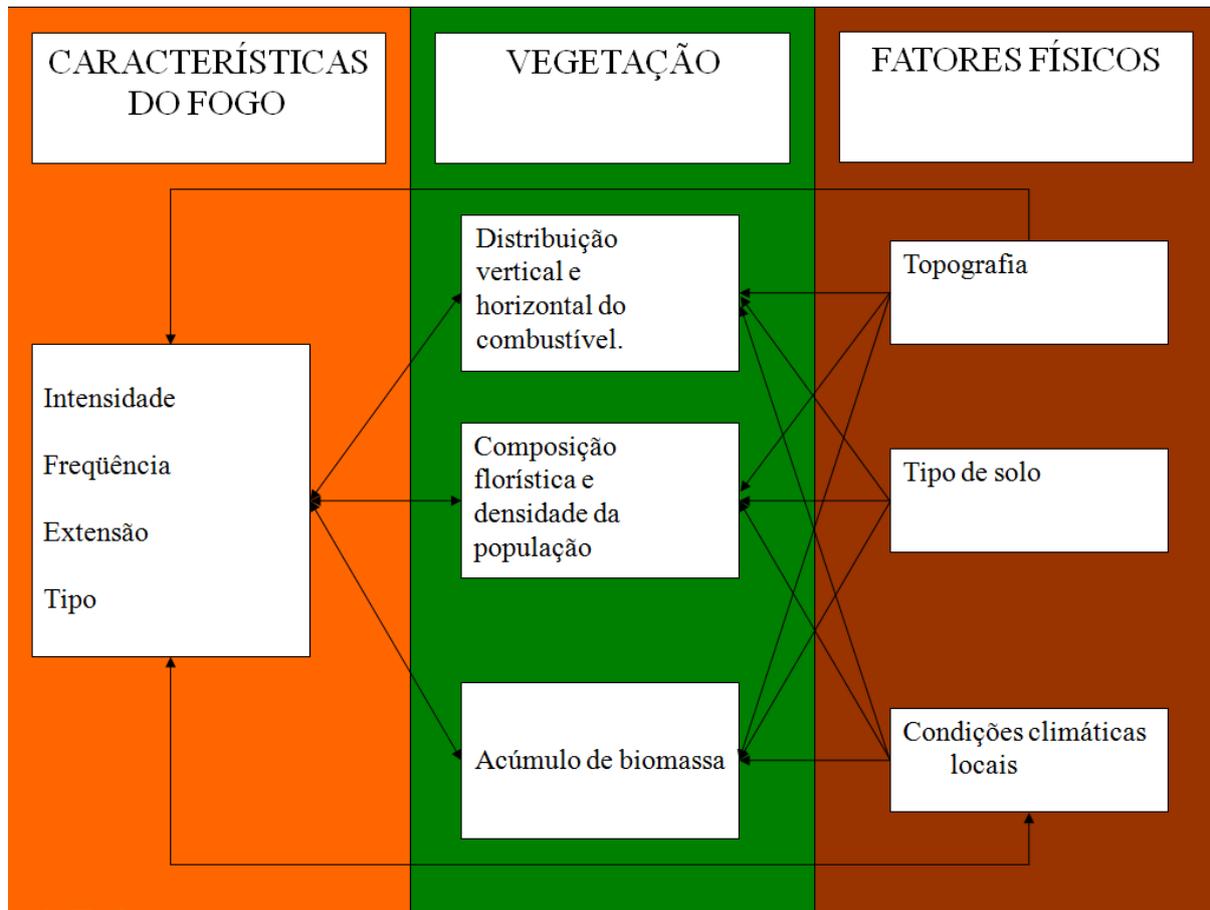


Figura 6 – Diagrama esquemático ilustrando as interações entre as características do fogo, a vegetação e os fatores físicos (adaptado de WHELAN, 1995)

Uma ocorrência de fogo tem características imediatas, como intensidade, estação climática de ocorrência, extensão e tipo (subterrâneo, de superfície ou de copa) e características históricas, como o clima antes do fogo, tempo desde a última ocorrência de fogo e as características desse fogo antecedente. Essas características históricas e imediatas não são independentes, já que as primeiras vão exercer grande influência sobre as últimas (WHELAN, 1995).

Os incêndios subterrâneos atingem combustíveis como raízes, turfa, materiais orgânicos que se encontram sob o solo. Sua propagação é geralmente lenta, porém letal à vegetação, destruindo inclusive o banco de semente existente no solo. Quando o fogo se propaga atingindo a vegetação sobre o solo, seja floresta ou campo ele é chamado de

superfície e sua velocidade de propagação é mais variável. Incêndios aéreos ou de copa são aqueles que se propagam por meio das copas das árvores e, em geral, se apresentam de maneira violenta e com grande velocidade de propagação (ICMBio, 2010a).

O comportamento do fogo e suas características potenciais são determinados pela interação entre uma série de fatores, dentre os quais destacam-se o combustível, as condições climáticas e a topografia (ICONA, 1993; WHELAN, 1995; ICMBio, 2010a).

Combustíveis em maior quantidade e mais secos resultam em fogo mais intenso. Combustíveis “leves”, como gramíneas e arbustos secos, resultam numa ignição e propagação mais rápidas do fogo, enquanto combustíveis “pesados”, como troncos de árvore, demoram mais a perder umidade, o fogo custa mais a acender e se propaga mais lentamente. Da mesma forma, combustíveis menos compactados, alcançam mais rapidamente um equilíbrio higroscópico com o meio, queimando mais rapidamente que os menos compactados. Também deve-se levar em consideração a distribuição espacial destes combustíveis, especialmente com relação à sua continuidade.

As **condições climáticas** influem diretamente na umidade dos combustíveis. Quanto menor a umidade relativa do ar, mais altas as temperaturas, mais fortes os ventos e mais prolongada a estiagem, mais secos e quentes ficarão os combustíveis, aumentando o risco e a intensidade do fogo. Além de aumentar o oxigênio disponível para o fogo, os ventos influem diretamente na sua velocidade e direção de propagação, além de carregar fagulhas e brasas, iniciando novas frentes de fogo.

A **topografia** ou morfologia do terreno exerce influência no microclima da área e na sua exposição à radiação solar, que favorece o ressecamento e aquecimento do combustível. A declividade, pendente ou grau de inclinação da encosta tem efeito significativo na propagação do fogo: quanto maior a inclinação maior o efeito da radiação e da convecção do fogo, ressecando e aquecendo os combustíveis ainda não queimados (Figura 7). Esse fator também tem um papel destacado nas ações de supressão do fogo, uma vez que afeta a resistência física e segurança da equipe (CHUVIECO & CONGALTON, 1989).

Também em decorrência do fator declividade o fogo encosta acima se propaga mais rapidamente que o fogo encosta abaixo, podendo resultar num fenômeno conhecido com *blow-up* na literatura de língua inglesa e denominado como erupção por Viegas (2011). Esse fenômeno consiste no rápido desenvolvimento de uma frente de chamas, cuja velocidade de propagação aumenta subitamente. Este aumento de intensidade é acompanhado por correntes de ar muito fortes, que surpreendem os que se encontram na sua vizinhança e tem causado muitos acidentes fatais em todo o mundo (VIEGAS, 2011).

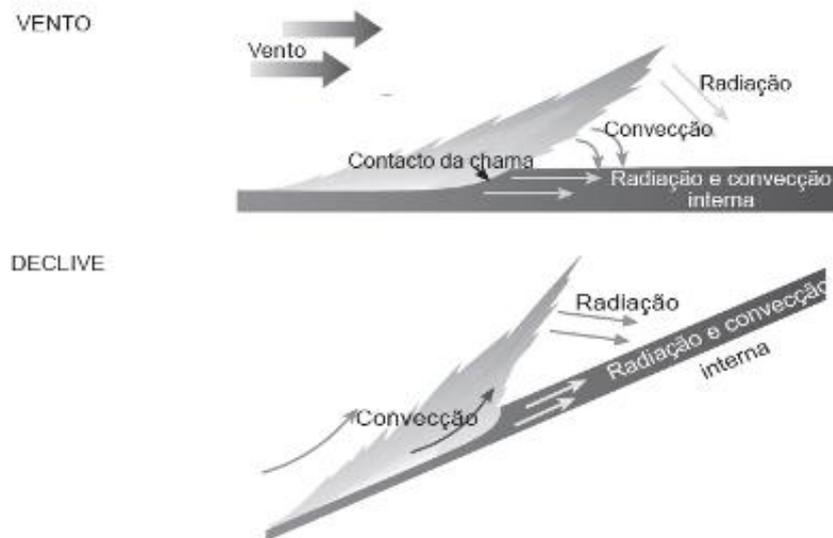


Figura 7 – Ilustração dos efeitos do vento e da declividade sobre o comportamento do fogo (FERNANDES, BOTELHO & LOUREIRO, 2002)

A Tabela 2 apresenta de forma objetiva um resumo da influência dos principais fatores que atuam sobre a intensidade do incêndio.

Tabela 2 - Fatores que afetam a intensidade do incêndio florestal durante seu desenvolvimento (Adaptado de ICMBio, 2010a)

| FOGO AUMENTA COM |
|------------------------------------|
| Maior volume de combustíveis leves |
| Uniformidade dos combustíveis |
| Continuidade horizontal |
| Baixa umidade dos combustíveis |
| Aclives à frente do incêndio |
| Ventos fortes |
| Baixa umidade relativa do ar |
| Alta temperatura do ar |

Outro importante fator a ser levado em consideração é o intervalo entre recorrências de fogo. O risco de nova ocorrência de fogo numa área queimada recentemente é reduzido em função da menor quantidade de combustível disponível e pela mesma razão a

tendência é que a intensidade do fogo seja menor. Por outro lado, o potencial de dano ecológico a uma área atingida seguidamente pelo fogo é muito grande, já que aquelas sementes cuja dormência foi quebrada pelo fogo anterior já germinaram, mas muitas vezes ainda não tiveram tempo de produzir novas sementes, reduzindo assim o banco genético disponível no solo. Portanto a ocorrência de fogo seguidamente numa mesma área tende a selecionar aquelas espécies mais resistentes à sua ação.

No sentido de prevenir o erro de tratar o fogo como um evento isolado, Whelan (1995) enfatiza a importância do conceito de **regime de fogo**, que tem sido largamente utilizado nos estudos relacionados à ecologia do fogo. O seu significado mais utilizado, e que foi adotado neste trabalho, é o de resumir as características das ocorrências de incêndios que tipicamente acontecem em determinado local. O regime de fogo é função da frequência com que o fogo ocorre em determinada área, da sua intensidade, da extensão atingida, da época do ano em que ocorre e do tipo de fogo, características estas derivadas dos fatores geocológicos de determinado local e sua variação ao longo do tempo. Segundo Myers (2006), os seres humanos têm afetado os regime de fogo durante milênios

Outro conceito correlato bastante utilizado na literatura é o de **severidade do fogo** que, segundo Hartford & Frandsen (1992), é a medida qualitativa dos efeitos do fogo no solo e nos recursos locais que controlam a sustentabilidade do ecossistema. O fogo produz um espectro de severidades que dependem da interação de diversos fatores: intensidade, duração, tipo e disponibilidade de combustível, tipo de vegetação, condições climáticas, declividade do terreno, topografia, textura e umidade do solo, conteúdo de matéria orgânica do solo, tempo desde a última queima e área atingida pelo fogo (Neary *et al.*, 1999).

Whelan (1995) explica que a percepção humana da severidade do fogo é influenciada por fatores relacionados à intensidade, como a altura da chama, velocidade de propagação, extensão da linha de fogo e a magnitude da coluna de fumaça. Hoje em dia, entretanto, é bem aceita a idéia de que um incêndio não é igual a outro com respeito ao seu impacto na biota e um fogo “não tão severo” sob a ótica da percepção humana pode alterar significativamente a estrutura de determinado ecossistema.

2.4.3.Fogo e Sociedade

Desde tempos imemoriais o fogo tem tido um importante papel na sociedade, tanto como fonte de calor e preparo de alimentos, quanto como instrumento nas mudanças na paisagem causadas pelo homem. Embora haja grande controvérsia sobre as mais antigas

evidências do uso do fogo pelo Homem entre 1,7 e 0,5 milhão de anos atrás, existe certo consenso de que há 200 mil anos o fogo já era comumente utilizado na Europa (CALDARARO, 2002).

São muitos os exemplos da utilização do fogo para a destruição de florestas e outras formas de vegetação nativa para a ocupação da terra por atividades humanas. Um dos mais impressionantes foram os incêndios florestais causados pela ocupação europeia na Ilha da Madeira. Antes da chegada dos colonizadores, no século XV, ela era coberta por vastas e antigas florestas que foram consumidas por incêndios florestais mantidos por sete anos consecutivos (CALDARARO, 2002).

Segundo Caldararo (2002), mesmo muitos incêndios considerados originários de fontes naturais de ignição têm sua extensão e intensidade aumentados em função das modificações na cobertura vegetal causadas pela ação humana, inclusive devido à redução dos grandes herbívoros silvestres, responsáveis pelo controle da biomassa (combustível) nas áreas de vegetação campestre. Entretanto, é bastante polêmica a relação dessa extinção com a ação humana.

No Brasil, a região da Mata Atlântica tem um longo histórico de ocupação e uso do fogo pelo Homem, que vem desde a sua descoberta por caçadores que invadiram as planícies sul-americanas há talvez 13 mil anos. Uma vez exaurida a megafauna que os atraía, eles passaram a utilizar o fogo como meio de penetrar a floresta e impedir o seu avanço secular sobre as áreas abertas (DEAN, 1996). No entanto, Dean (1996) levanta a hipótese de que a alteração causada por esses primeiros habitantes pode ser considerada branda quando comparada com a devastação causada pela “segunda leva de invasores” da floresta atlântica, os europeus, que usaram o fogo como instrumento para a substituição da floresta por atividades diversas nos diversos ciclos econômicos que se sucederam à sua chegada.

Os indígenas ainda hoje utilizam o fogo como instrumento de manejo do Cerrado e para caça, especialmente nas regiões Norte e Centro-Oeste. Muitos usam um regime de queima tradicional que apresenta resultados positivos no manejo da paisagem e dos recursos naturais importantes para estas comunidades e pode ser utilizado nos estudos sobre manejo e ecologia do fogo (MELO & SAITO, 2011; FALLEIRO, 2011). No Tocantins o fogo é utilizado no manejo do capim-dourado (*Syngonanthus nitens*) por populações tradicionais e estudos recentes mostram que naquela região pode ser adotado um regime de fogo sustentável (SCHMIDT *et al.*, 2011)

Olhando pela ótica de muitos pequenos agricultores e populações tradicionais, às vezes o fogo é a única ferramenta econômica e tecnologicamente viável para suas práticas

agropastoris. Segundo Mistry & Bizerril (2011), ele desempenha papel preponderante no sustento de milhões de pessoas e a maioria dos agricultores, avaliando o custo benefício, considera que não há alternativa viável ao uso do fogo como instrumento de manejo.

Poucos estudos enfocaram os aspectos históricos, sociais, econômicos e políticos do uso do fogo em escalas locais. No entanto, a análise da questão dos incêndios florestais deve levar em conta a percepção das pessoas quanto ao uso do fogo e as diversas questões culturais que explicam por que e como ele é utilizado. Essas percepções se relacionam aos aspectos “bons” e “prejudiciais” do fogo, às tradições comunitárias e familiares, à influência do ciclo lunar no comportamento do fogo, assim como em outras crenças e conhecimentos acumulados. A idade, a educação, o conhecimento e seu potencial de transferência entre gerações são fatores que parecem influenciar essas percepções (MISTRY & BIZERRIL 2011).

Nas últimas três décadas têm crescido em vários países do mundo, uma visão de que o fogo, como ocorre hoje é um evento natural bom para diversas florestas e animais, inclusive com a utilização de queimas prescritas para a eliminação de biomassa por diversas entidades ligadas ao manejo florestal. Nos Estados Unidos, a política do “let it burn” (deixe queimar) tem sido largamente utilizada nos Parques Nacionais (CALDARARO, 2002). No entanto, os ecossistemas são afetados de diversas maneiras pelo elemento fogo, desde aqueles que são completamente prejudicados por ele até aqueles que dependem de sua ação para a manutenção da biodiversidade (IBAMA 2009).

Myers (2006) destaca que o fogo pode ser benéfico ou prejudicial e tem papel distinto em diferentes ecossistemas. Desta forma, classifica-os em: independentes do fogo – quando o fogo tem um papel muito pequeno, representando ameaça somente em casos de alterações significativas no ecossistema; dependentes ou adaptados ao fogo – aqueles em que o fogo é essencial para a manutenção das espécies atuais, que se desenvolveram de forma a responder positivamente ao fogo e cuja existência não é viável sem ele; sensíveis ao fogo – ecossistemas cujas espécies não são adaptadas ao fogo e nos quais a mortalidade é alta inclusive em incêndios de pequena intensidade.

No Brasil, os estudos sobre manejo e ecologia do fogo ainda são bastante incipientes e ele é muito pouco utilizado no manejo de áreas protegidas. Nesse contexto destaca-se a experiência que vem sendo adquirida com o manejo do fogo no Parque Nacional das Emas (FRANÇA *et al.*, 2007) que, no entanto, é uma área com excepcional ocorrência de incêndios causados por raios.

O IBAMA (2009) aponta o uso do fogo para a limpeza de pastagens como a principal causa de incêndios florestais no país. No entanto outras fontes de ignição ligadas ao contexto sócio-econômico merecem destaque, como:

- a. Abertura de novas frentes agropastoris, especialmente no Cerrado e região Norte;
- b. Práticas agrícolas como eliminação de restos de culturas, limpeza de terrenos para plantio, disponibilização de nutrientes e controle de pragas;
- c. Crescimento urbano e especulação imobiliária;
- d. Conflitos fundiários e econômicos especialmente em áreas próximas ou dentro de Unidades de Conservação;
- e. Turismo desordenado e atividades de recreação com fogueiras;
- f. Questões culturais diversas como queima de lixo, ação de piromaníacos, incluindo crianças, soltura de balões, caça e ritos religiosos.

É fato que o fogo tem papel de destaque na sociedade humana, relacionado a aspectos do bem-estar, identidade cultural, sustentabilidade ecológica, diversidade de espécies e até da regulação climática (MISTRY & BIZERRIL, 2011). Ele tem grande importância no equilíbrio de determinados ecossistemas, como aqueles do Bioma Cerrado, mas mesmo lá, assim como no resto do país, foi largamente utilizado como ferramenta de devastação, conjugado com outras técnicas, como o uso do “correntão”. Não há, portanto, uma regra única segundo a qual o fogo deva ser completamente banido ou largamente utilizado. Observa-se uma tendência no sentido fazer frente aos problemas causados pelos incêndios florestais através do manejo do fogo, conjugando técnicas de prevenção, supressão e o próprio uso adequado do fogo.

Nesse contexto, deve-se compreender o papel ecológico do fogo, como e porque os incêndios ocorrem, como as pessoas se vêem afetadas por eles e, a partir daí, buscar soluções integrais para os problemas ecológicos e sociais decorrentes dos incêndios. Para isso são necessárias investigações relacionadas à ecologia do fogo, ao seu comportamento e às questões sócio-econômicas ligadas à sua ocorrência (MYERS 2006).

2.4.4. Efeitos do Fogo

O incêndio florestal é um evento com potencial devastador (FRANÇA *et al.*, 2007), representando uma ameaça ambiental de primeira ordem (CAMPO *et al.*, 2006). A frequência e severidade dos incêndios florestais e queimadas constituem fenômeno de

impacto mundial (UBEDA, 2008). Os efeitos do fogo nos ecossistemas são complexos, abrangendo desde a redução ou eliminação da biomassa na superfície do solo a impactos nos processos físicos, químicos e biológicos abaixo da superfície (NEARY *et al.*, 1999). É importante lembrar que as conseqüências do fogo são diferentes para os diversos ecossistemas, por exemplo, ao mesmo tempo em que o fogo é importante para a quebra de dormência e manutenção da sucessão ecológica em fisionomias do Cerrado, ele pode ser extremamente prejudicial para uma floresta da Amazônia, alterando completamente seus processos ecológicos, dependendo da sua dimensão e frequência.

Por ser uma técnica de manejo culturalmente consolidada, relativamente fácil e acessível a todos os produtores rurais, a queimada é bastante utilizada para a renovação de pastagens e preparo de áreas para a agricultura. Por outro lado, o fogo traz uma série de efeitos negativos para o próprio produtor, pois deteriora as condições do solo, reduz o potencial produtivo e a qualidade da vegetação nativa (JAQUES, 2003), além de aumentar a suscetibilidade à erosão (GIMENO-GARCIA *et al.*, 2000; HUBBERT *et al.*, 2005; LASANTA & CERDÁ, 2005; CAMPO *et al.*, 2006).

Mesmo no Cerrado, onde o fogo é considerado como fator importante para a manutenção dos processos ecológicos, estudos indicam que ele atua significativamente na seleção de espécies, especialmente em regimes com queimas frequentes, cujos intervalos não são longos o suficiente para permitir o estabelecimento das rebrotas de algumas espécies, influenciando assim a regeneração e, conseqüentemente, a estrutura e composição da vegetação (SILVA *et al.*, 1996; SATO & MIRANDA, 1996; FRANÇA *et al.*, 2007, IBAMA, 2009). Por outro lado, seguindo essa linha de raciocínio, pode-se considerar que a total supressão do fogo também terá um efeito na seleção de outras espécies.

Moreira (1996) indica que aparentemente a ocorrência de fogo é importante para a manutenção do equilíbrio fisionômico das formas mais abertas de cerrado, mas que a proteção contra o fogo resulta num aumento da abundância dos elementos lenhosos e favorece o surgimento de espécies sensíveis ao fogo. O fato de que algumas árvores são adaptadas ao fogo não significa que este seja bom para todas as árvores ou florestas e a tendência é que após uma ocorrência de queima haja um aumento de formações arbustivas e de gramíneas (CALDARARO, 2002).

Ribeiro e Medina (2002), num estudo sobre a biogeografia das ilhas de vegetação sobre rocha do Planalto do Itatiaia, apontam para um possível desaparecimento de determinadas espécies da flora (algumas endêmicas do Planalto, como a *Doryopteris feei*) nessas ilhas após a ocorrência de incêndios e a sua substituição por gramíneas e/ou espécies

mais resistentes ao fogo. Por outro lado, Teixeira (2003) aponta um “pseudo-aumento” de biodiversidade nos campos de altitude do Parque Nacional do Itatiaia após o incêndio de 2001, que pode ter várias causas: maior disponibilidade superficial de nutrientes, quebra de dormência de sementes de plantas adaptadas ao fogo, especialmente gramíneas, aumento do “nicho ecológico” para o estabelecimento de plantas pioneiras.

Há que se considerar também que os incêndios florestais representam uma grande fonte adicional de emissões de gases de efeito estufa (FEARNSIDE, 2002). Portanto, conforme visto, os incêndios florestais resultam em significativas mudanças físicas, químicas e bióticas nos ecossistemas, trazendo impactos em diferentes escalas, desde a local até a global.

2.5. CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Diversas têm sido as metodologias e conceitos utilizados para traçar cenários relativos à ocorrência de incêndios florestais e suas conseqüências. Desde a década de 1920 o Canadá e os Estados Unidos trabalham com cenários de avaliação para a ocorrência de incêndios, iniciando com índices de Perigo de Incêndio baseados apenas em variáveis climáticas e depois evoluindo para estudos que incluem a inter-relações entre clima, umidade do combustível e comportamento do fogo a fim de compreender a soma de fatores ou condições que determinam a capacidade de um incêndio começar, se propagar e causar danos (WILLIAM, 1967, *apud* SOARES, 1972).

Soares (1972) utiliza o conceito de perigo de incêndio como sendo a potencialidade de danos causados por este, que seria determinada em função do risco, da probabilidade de ignição, do tamanho do incêndio e da taxa de danos aos recursos.

Chuvieco & Congalton (1989) propõem, através de camadas de informações num SIG, um índice de risco de incêndio baseado na distribuição espacial de vegetação (combustível), declividade, orientação da encosta, altitude e proximidade a vias de transporte.

Pezzopane *et al.* (2001) propõem uma abordagem espacial e temporal para o Município de Viçosa/MG baseada em classes de combustível, declividade e um índice meteorológico.

González *et al.* (2005), determinam o risco de incêndio em parcelas florestais através de um modelo matemático para cálculo do índice de risco de fogo (*Fire Risk Index – FRI*). Este índice leva em consideração os dados do inventário florestal, a altitude e o tipo de

madeira e a avaliação do risco de propagação do incêndio é feita em função do risco das parcelas vizinhas.

Van Westen *et al.* (2006) propõem a quantificação do risco, quando se fala em perdas materiais, como sendo o produto da vulnerabilidade, custo ou quantidade dos elementos em risco e a probabilidade de ocorrência de um evento com determinada magnitude ou intensidade.

XU *et al.* (2006), trabalharam o mapeamento de zonas de risco de incêndios florestais com base no conceito de que estas zonas são os locais onde há probabilidade do fogo iniciar (risco de ignição) e daí se espalhar para outros locais (risco de propagação). Em seu modelo foram gerados mapas de fatores relacionados à combustibilidade, à topografia e à ação antrópica, de cuja síntese resultou o mapa de risco de incêndios.

Silveira *et al.* (2008) utilizam a metodologia de avaliação multicriterial (método da média ponderada ordenada) para o mapeamento, em ambiente SIG, do risco de ocorrência de incêndios na Bacia do Rio Corumbataí (SP). Em seu trabalho foram atribuídos pesos a nove fatores considerados importantes para a determinação do risco: face de exposição ao sol, declividade do terreno, precipitação, proximidade à malha viária, proximidade aos centros urbanos, proximidade à rede hidrográfica, vizinhança aos fragmentos de florestas e exposição aos ventos. A partir daí foram gerados mapas de critérios que combinados resultaram num mapa de riscos para a Área de Estudo.

O Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRJ (PPGG), através dos Laboratórios de Geo-Hidroecologia (GEOHECO) e Cartografia (GEOCART), inicia sua linha de pesquisas direcionadas à avaliação de cenários relacionados aos incêndios florestais quando Fernandes (1998) aborda a potencialidade à ocorrência de queimadas como vetor de transformação dos domínios geo-hidroecológicos do Maciço da Tijuca. O autor mapeia a potencialidade de ocorrência de incêndios a partir dos mapas de vegetação, orientação e forma das encostas.

Silva (2006) elabora o mapeamento da suscetibilidade à ocorrência de incêndios para o Parque Nacional do Itatiaia como função da combustibilidade e da orientação e morfologia das encostas. O risco de deflagração de incêndios foi mapeado como função do sistema viário e da ocupação antrópica. A sobreposição desses dois mapas resultou num mapa de potencialidade à ocorrência de incêndios.

Usando metodologia semelhante, Sousa (2009) chega a um mapa geológico de potencialidade de ocorrência de incêndios para o Maciço da Tijuca (RJ), porém substitui a orientação das encostas pela incidência de radiação solar como fator da suscetibilidade.

Neste trabalho, buscou-se analisar frente a dados e observações de campo, diversos fatores sócio-ambientais ligados à ocorrência de incêndios de forma a refinar a abordagem geocológica proposta. Desta forma, foram utilizados polígonos de áreas queimadas de diversos anos, analisando-os com relação à distribuição espacial, incidência de radiação solar, forma do relevo, declividade, altitude, combustibilidade, precipitação antecedente e fatores sócio-econômicos ligados à deflagração de incêndios

3. ÁREA DE ESTUDO

A partir das proposições feitas por Richter (2004) e Silva (2006) e das análises preliminares realizadas (Capítulo 5), a Área de Estudo (AE) do trabalho foi definida como sendo o polígono abrangendo o Parque Nacional do Itatiaia (PNI) e seu entorno de 3 km (Figura 8). Essa áreas representa a zona de maior risco para o PNI, constituindo o foco principal de atuação da brigada da UC e totaliza 57.924 ha ou 579,24 km².

Para entender a questão do fogo em determinado local, é preciso conhecer as variáveis que o influenciam e o contexto no qual estão inseridas. Esse capítulo apresenta resumidamente as principais características da área de estudo de forma a contextualizar a análise dos incêndios.

3.1. O PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA

Já no início do século XIX o Itatiaia chamava a atenção dos naturalistas da chamada “época clássica” da investigação da flora no Brasil. A começar por Saint Hilaire, em 1822, inúmeros nomes de destaque testemunharam a importância ecológica dessa região e gerações de cientistas têm buscado compreender e valorizar a exuberante paisagem que envolve o maciço das Agulhas Negras (BRADE, 1956; TEIXEIRA & LINSKER, 2007).

Em 1908 o Governo Federal adquiriu do Comendador Henrique Irineu de Souza sete fazendas no local para criar núcleos coloniais na região da Mantiqueira. Em 1913, o botânico Alberto Loefgren e o naturalista José Hubmayer defenderam a criação de um Parque Nacional na Mantiqueira. Em seu discurso na conferência da Sociedade Brasileira de Geografia no Rio de Janeiro, Hubmayer enfatizou a importância de proteger a região, constantemente maltratada pelo fogo e desmatamento (TEIXEIRA & LINSKER 2007). Em 1918, com o insucesso dos Núcleos Coloniais de Itatiaia e Visconde de Mauá, foi criada naquela área a Estação Biológica do Itatiaia, subordinada ao Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

No dia 14 de junho de 1937, através do Decreto nº 1.713 assinado pelo presidente Getúlio Vargas, a Estação Biológica deu origem ao primeiro Parque Nacional a ser criado no Brasil, com uma área original de 11.943 ha. Em 1982, pelo Decreto nº 87.586, o Parque teve sua área ampliada para aproximadamente 30.000 ha conforme o Decreto ou 28.086 ha calculando-se a área a partir da representação vetorial mais atualizada dos limites

da Unidade e utilizando-se a projeção cônica equivalente de Albers para a América do Sul. Situado na Serra da Mantiqueira, o PNI abrange os municípios de Itatiaia e Resende no Estado do Rio de Janeiro e Bocaina de Minas e Itamonte no Estado de Minas Gerais, onde ficam aproximadamente 60% de seu território. A Unidade está localizada entre as cidades do Rio de Janeiro e São Paulo, próximo à Rodovia Presidente Dutra, tendo como pólo econômico mais próximo a cidade de Resende.

O Parque Nacional do Itatiaia está inserido no Corredor da Serra do Mar e faz parte da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, reconhecida pela UNESCO. Também está situado em área classificada como de prioridade extremamente alta para a conservação da biodiversidade, conforme o Mapa de Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2004). No contexto regional de conservação da biodiversidade, o Itatiaia faz parte do Mosaico de Unidades de Conservação da Serra da Mantiqueira, instrumento estabelecido pelo SNUC para fortalecer a gestão integrada e participativa das UCs.

O PNI é, simplificado, dividido em “Parte Alta” e “Parte Baixa” para referência em seus instrumentos de manejo (IBAMA, 1994; FURTADO, 2001; ICMBio, 2009), porém sem uma delimitação específica. Para manter a coerência com essa literatura, foram utilizados neste trabalho os mesmos nomes, incluindo-se ainda uma terceira região com características distintas, que é a de Visconde de Mauá (Figura 8).

Para os efeitos deste estudo, delimitou-se a “Parte Alta” abrangendo o Planalto das Agulhas Negras (cota de 2.000m) e as bacias hidrográficas da vertente norte do Parque. A zona de Visconde de Mauá foi definida tendo por base a bacia hidrográfica do rio Preto, excluía a área do Planalto e a “Parte Baixa” abrangendo as bacias contribuintes para a bacia do rio Paraíba do Sul, excluía a região do Planalto e a bacia do rio Preto, que também é contribuinte deste rio. Essas delimitações foram utilizadas de forma a conciliar as referências usualmente utilizadas pela equipe do PNI, com a distribuição geográfica dos incêndios, atuação das equipes de prevenção e combate e a abrangência das estações pluviométricas que subsidiaram as análises de precipitação.

O Itatiaia recebe cerca de 83.000 visitantes por ano (média de 2005 a 2010), sendo aproximadamente 10% na “Parte Alta” e 90% na “Parte Baixa”. O Parque conta com sede administrativa, Centro de Visitantes, alojamento para pesquisadores e alojamentos para turistas e usos diversos, além de postos de controle e estruturas de apoio à visitação e à gestão. Seu Plano de Manejo é de 1982 e não abrange a área da ampliação, no entanto sua revisão está na fase final de elaboração.

Atualmente a equipe é composta por 18 servidores na ativa, 42 funcionários terceirizados para serviços de apoio administrativo, manutenção e vigilância patrimonial, além de 42 brigadistas para prevenção e combate a incêndios, que são contratados anualmente durante seis meses. A Unidade conta ainda com Conselho Consultivo ativo, com a participação de representantes de diversos setores da sociedade.

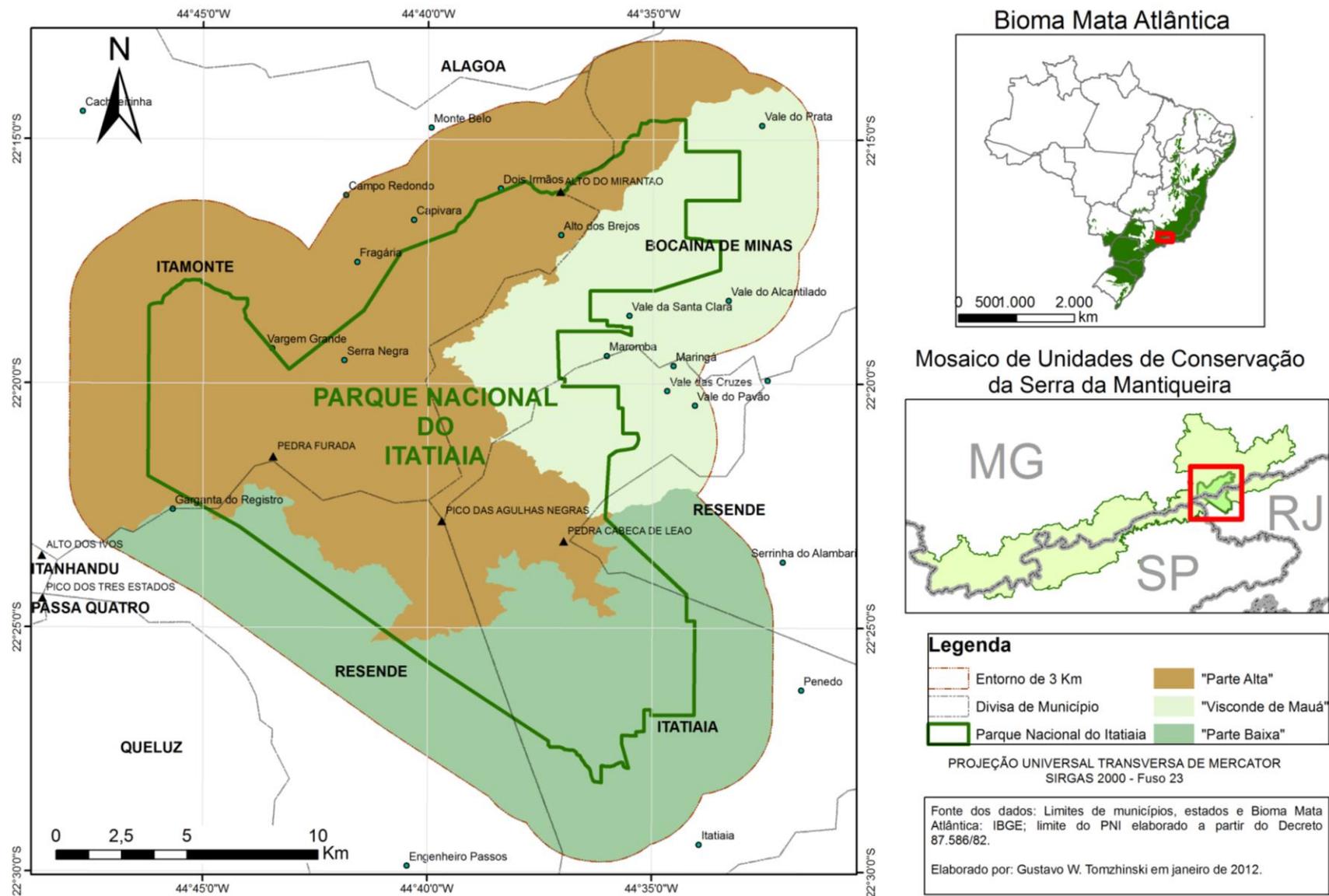


Figura 8 – Área de Estudo e sua localização no contexto do Bioma Mata Atlântica e do Mosaico de Unidades de Conservação da Serra da Mantiqueira.

3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

A cadeia montanhosa da Mantiqueira é formada por granitos ou gnaisses, que limitam o corpo alcalino do maciço do Itatiaia que, com área aproximada de 220km², alonga-se na direção NW-SE. Ele é constituído por nefelina-sienitos, quartzo-sienitos, brechas magmáticas e granito alcalino, sendo as primeiras de um tipo de rocha de ocorrência rara no Brasil, cuja elevada solubilidade resulta nas formações em canaleta características do maciço das Agulhas Negras e que deram origem ao seu nome (MOLDENESI, 1992; RIBEIRO & MEDINA, 2002).

O Itatiaia apresenta relevo montanhoso com grandes afloramentos rochosos e altitudes variando de aproximadamente 540 m a 2.791,55 m no seu ponto culminante, o Pico das Agulhas Negras, 5º mais alto do país (IBGE 2005). A sua estrutura é concêntrica, com altitudes crescentes em relação ao centro, o chamado “Planalto do Itatiaia”, a partir de onde se origina a rede de drenagem, que se ajusta às estruturas com um padrão radial, composto pelo alto curso dos rios que ali nascem (MODENESI, 1992; ALMEIDA, 2011).

No Itatiaia, que faz parte do divisor de águas das bacias do rio Grande e do rio Paraíba do Sul, estão localizadas as nascentes de 12 bacias de importância regional (RICHTER, 2004), entre as quais se destacam as do rio Campo Belo, do rio Preto, do rio Aiuruoca e do próprio rio Grande. As bacias da vertente Norte são afluentes da bacia do rio Grande, que por sua vez deságua na bacia hidrografia do rio Paraná e as demais fazem parte da bacia do rio Paraíba do Sul

(

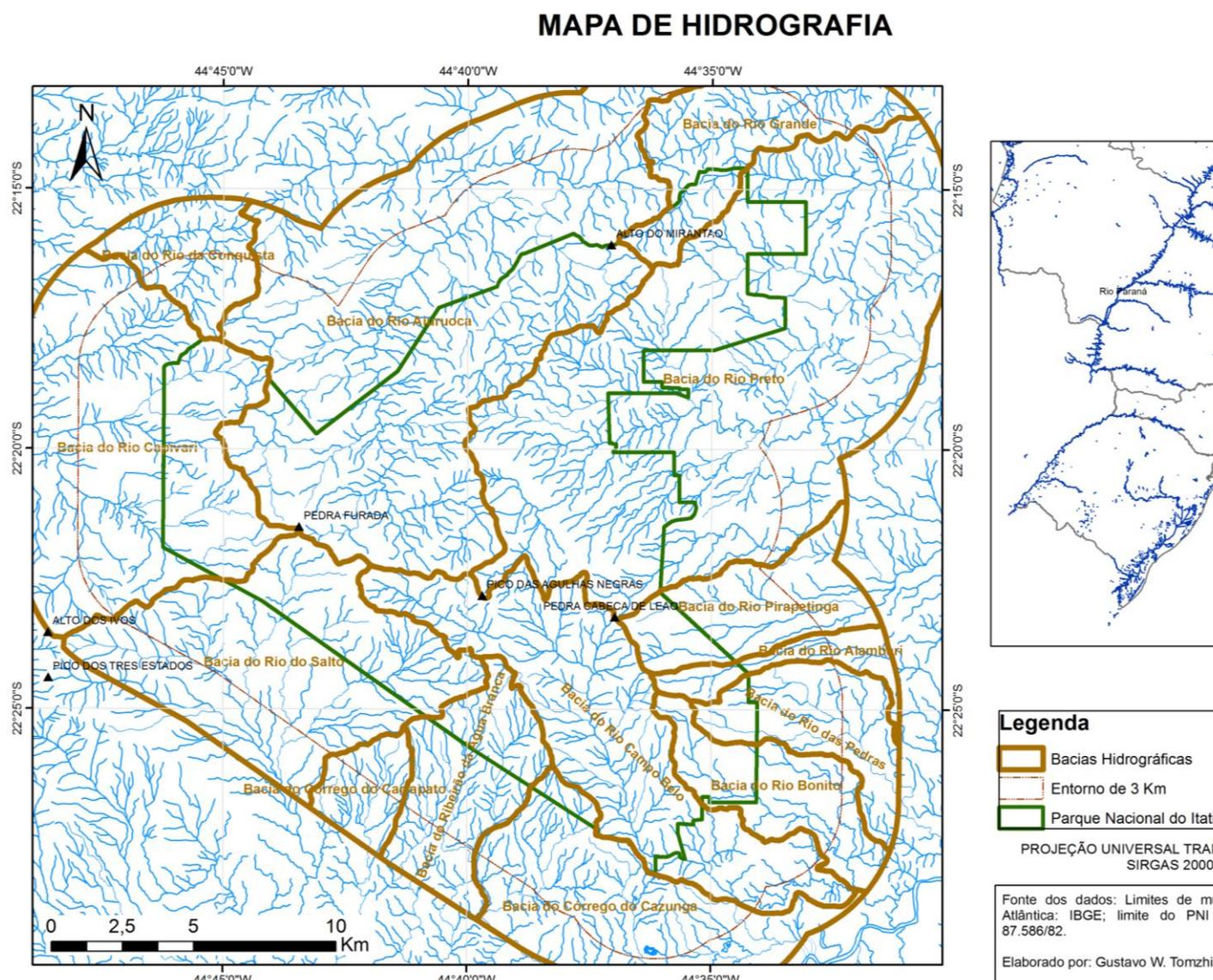


Figura 9). A abundância e a qualidade de suas águas certamente constituem uma das maiores riquezas do Parque, sendo a sua preservação um importante serviço ambiental prestado pela UC.

Com relação aos solos, encontra-se predominância de solos rasos e jovens. A classe de solos predominante é a dos Cambissolos. Nas áreas mais elevadas e/ou com maiores declividades ocorrem os Neossolos Litólicos, entre afloramentos de rochas (ALMEIDA, 2011).

MAPA DE HIDROGRAFIA

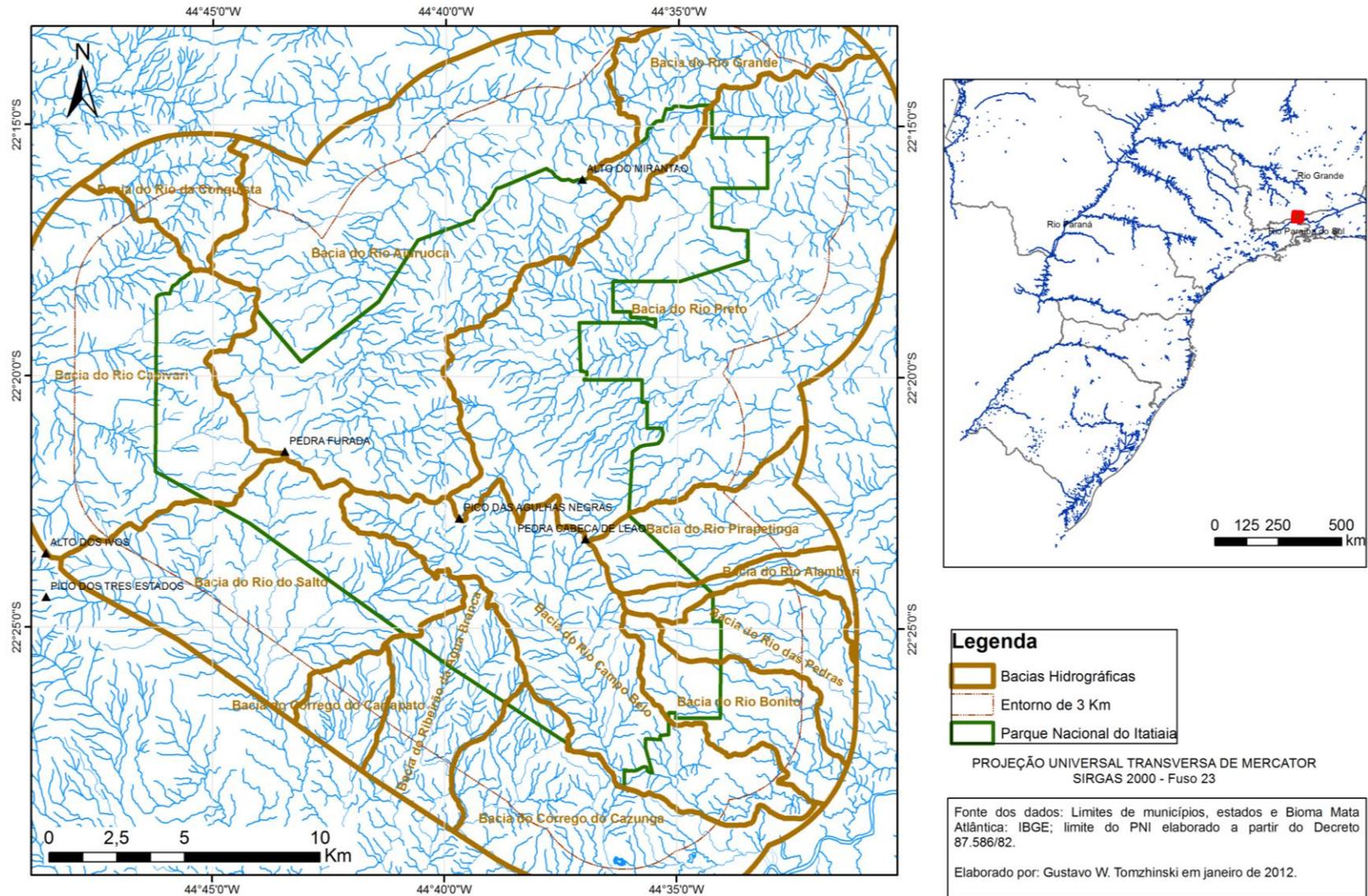


Figura 9 – Hidrografia da Área de Estudo (AE), incluindo as principais bacias hidrográficas.

3.3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

De acordo com o Plano de Manejo do PNI (IBDF 1982), a orografia é um dos principais fatores determinantes do clima na Área de Estudo. Segundo o sistema de Köppen, são de dois tipos o clima do Itatiaia:

- Tipo Cwb – mesotérmico, com verão brando que constitui a estação chuvosa, para as áreas mais elevadas, acima de 1.600 m de altitude;
- Tipo Cpb – mesotérmico, com verão brando, sem estação seca, nas partes mais baixas da encosta.

No Parque Nacional do Itatiaia registram-se chuvas intensas, principalmente no verão, com precipitação anual em torno de 2.600 mm na “Parte Alta” do Parque e 1.800 mm na “Parte Baixa”, sendo janeiro o mês mais chuvoso. No entanto, o período seco, compreendido entre junho e meados de setembro é bastante acentuado, conforme se verifica na figura 10 (médias de 1987 a 2011, a partir dos dados brutos de FURNAS para as estações pluviométricas Agulhas Negras - AGNE, a 2.455 m, e Parque - PQUE, a 825 m, ambas dentro do PNI).

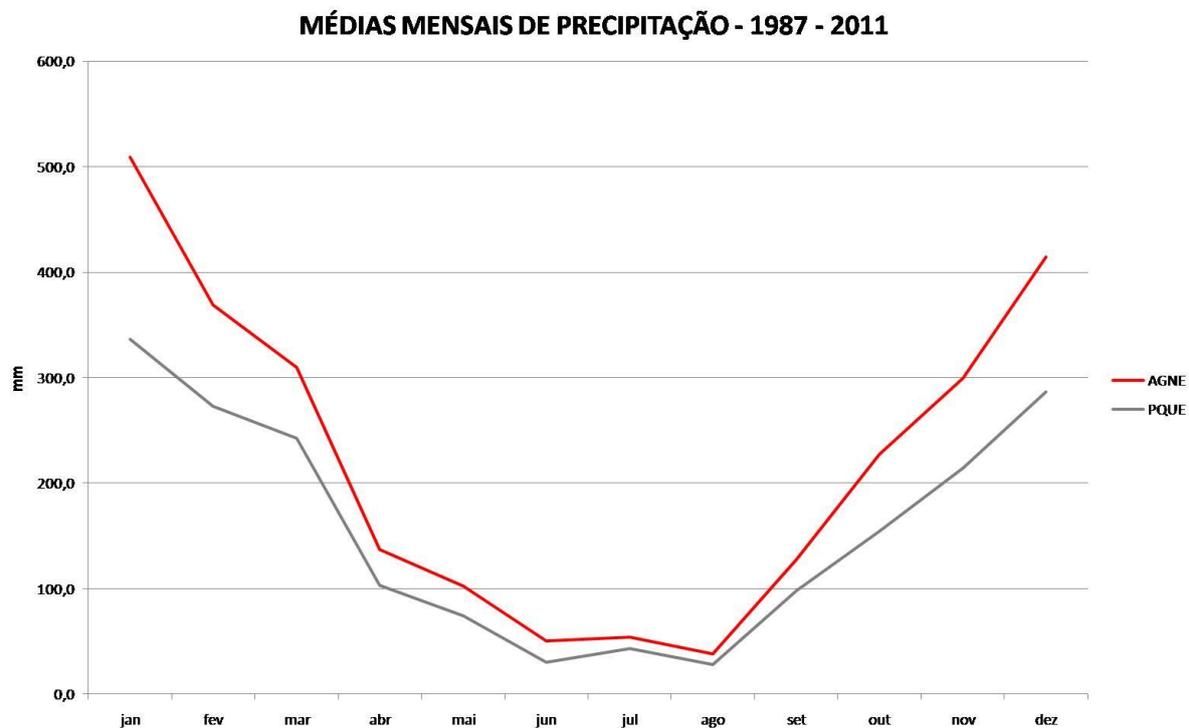


Figura 10 – Médias mensais de precipitação para as estações pluviométricas AGNE e PQUE, calculados a partir dos dados brutos de FURNAS de 1987 a 2011.

Embora não estejam disponíveis registros sistemáticos atuais de temperatura, o Plano de Manejo do PNI (IBDF, 1982) registra temperaturas médias para o Planalto variando de 8,2° C em julho a 13,6° C em janeiro. É comum a ocorrência de temperaturas negativas durante o inverno, sendo que durante o incêndio de agosto de 2010 registrou-se -8° C por volta de 20:00 horas no antigo Hotel Alsene.

Ainda segundo o Plano de manejo, a Umidade Relativa máxima é de 83% em dezembro e 62% em junho, conforme registros da estação meteorológica, hoje desativada, situada a 2.180 m de altitude. De maio a outubro são freqüentes as geadas, que também podem ocorrer em dezembro quando chove por vários dias seguidos e a temperatura cai em seguida (IBDF, 1982). Essa característica é especialmente relevante com relação aos incêndios, pois a geada resseca a vegetação, deixando-a mais susceptível ao fogo. Na figura 11 podemos verificar os dados climatológicos do PNI publicados por Segadas-Vianna & Dau (1965, *apud* RIBEIRO & MEDINA, 2002)

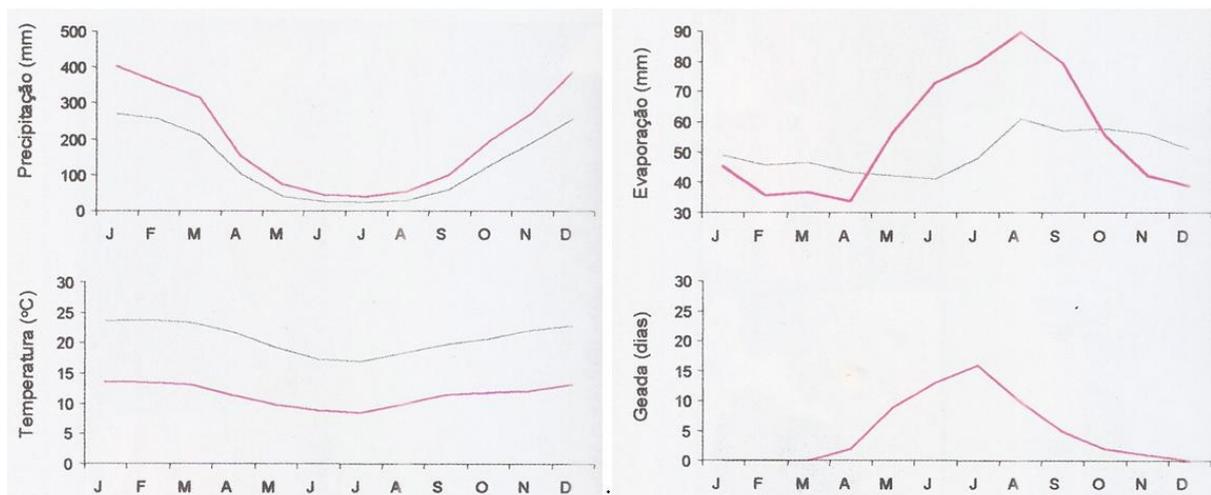


Figura 11 – Dados climáticos do Maciço do Itatiaia publicados por Segadas-Vianna & Dau (1965, *apud* RIBEIRO & MEDINA, 2002). Os dados se referem às altitudes de 410m (em cinza, série de 1911 a 1942) e 2.199m (em vermelho, série de 1916 a 1940).

3.4. CARACTERÍSTICAS BIÓTICAS

A extraordinariamente rica flora do PNI sofreu diversas intervenções humanas ao longo de sua história, sendo especialmente afetada por queimadas e desmatamentos parciais ou completos. Assim, são raros os trechos em estado completamente virgem (BRADE, 1956).

O acentuado gradiente altitudinal e a variação climática propiciam a existência de diversos ecossistemas do bioma Mata Atlântica no Itatiaia, abrigando várias espécies endêmicas da flora e da fauna. É marcante a variação da vegetação na medida em que sobe-se de 540 m no limite sul do Parque em direção aos 2.000 m do Planalto. Barros (1955) destaca a sensível diferença de composição florística entre as faces norte e sul dessa parte da Mantiqueira, em função das diferenças climáticas e de altitude.

Segundo Pereira *et al.*(2006), a flora arbórea das florestas do maciço do Itatiaia pode ser considerada como uma das de maior riqueza florística entre áreas de floresta ombrófila montana no sudeste do Brasil. Conforme o sistema de classificação proposto no Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 1991), a vegetação do Itatiaia se distribui em Floresta Ombrófila Densa Montana até a altitude de 1.500m, Floresta Ombrófila Densa Alto Montana, acima de 1.500m de altitude; Floresta Ombrófila Mista Montana em altitudes de cerca de 1.200m com a presença de *Araucaria angustifolia* e Floresta Estacional Semidecidual Montana na vertente continental do parque (SANTOS & ZIKAN, 2000). Segundo Brade (1955) as “matas higrófilas subtropicais” mostram, principalmente acima dos 1.700m composição e aspecto bastante diferentes das florestas de altitude mais baixa, com árvores de menor porte, entremeadas com uma vegetação arbustiva e densa e o solo coberto por musgos e Pteridófitas. Já a *A. angustifolia* aparece a 1.600 m no lado ocidental da serra e a 1.900 no lado oriental, enquanto outra espécie de pinheiro, *Podocarpus lambertii*, se concentra na região da Serra Negra, sendo ambas as espécies bastante sensíveis às mudanças nas condições ecológicas.

As formações campestres têm particular importância nesse trabalho devido à sua alta combustibilidade. Elas são encontradas a partir de 1.460m, de forma localizada em áreas bastante antropizadas na Serra Negra e na região dos Dois Irmãos, aparecendo de forma espacialmente mais bem distribuída a partir dos 1.800 – 1.900m. No entanto é a partir dos 2.100m que essa fisionomia é dominante na paisagem do Itatiaia, possivelmente porque o frio, os fortes ventos, as secas periódicas e o rápido escoamento das águas superficiais, conjugados aos frequentes incêndios, restringiram as matas a ilhas isoladas onde existe água disponível no solo ou no ar (BARTH, 1957).

Os campos de altitude e campos rupestres abrigam inúmeras espécies endêmicas como *Fernseea itatiaiae* e *Pleurostima gounelleana* (RIBEIRO *et al.*, 2007). Aximoff (2011) destaca que metade dos campos de altitude do Estado do Rio de Janeiro está no interior e entorno do Parque Nacional do Itatiaia e que este abriga 40 espécies da flora constantes do livro vermelho de espécies ameaçadas de extinção, sendo que 73% delas são restritas ao PNI.

Assim como a vegetação, a variada fauna do Itatiaia também distribui sua grande diversidade pelas diferentes faixas de altitude, possuindo aspecto endêmico peculiar (IBAMA, 1994).

Entre os artrópodes, os insetos constituem o grupo mais representativo, já tendo sido registradas mais de 50.000 espécies de ocorrência no Parque, sendo que pelo menos 90 são exclusivas da “Parte Alta” (IBAMA, 1994). Apesar da riqueza hídrica do PNI, suas águas não têm abundância de plâncton e microorganismos e por esse motivo são relatadas apenas cinco espécies de peixes para o Itatiaia (BARTH, 1957).

A fauna de anfíbios, por outro lado é abundante e variada, com mais de 60 espécies de anuros, sendo que pelo menos 24 ocorrem no Planalto. A espécie mais conhecida é certamente o sapo flamenguinho (*Malanophryniscus moreirae*), símbolo do Parque, mas novas espécies vêm sendo identificadas (AXIMOFF, 2011) e certamente muitas ainda são desconhecidas.

Barth (1957) relata a existência de 50 espécies de mamíferos no PNI, o Plano de Ação Emergencial do Parque fala em 67 (IBAMA, 1994) e estudos recentes para a renovação do Plano de Manejo apontam para mais de uma centena. Estes números mostram quão rica e pouco conhecida é a fauna do Parque. Apenas de primatas são relatadas quatro espécies enquanto de felinos outras cinco, inclusive espécies raras e ameaçadas como o macaco muriqui (*Brachyteles arachnoides*) e a suçuarana (*Puma concolor*).

As aves têm grande importância para a Unidade, tanto sob o ponto de vista ecológico, quanto pelo seu potencial turístico. Atualmente pelo menos 357 espécies são relatadas para o PNI, sendo 51 consideradas endêmicas (HONKALA & NIIRANEN, 2010) e 42 vivendo em altitudes elevadas (IBAMA, 1994)

Apesar de ter sofrido grandes alterações durante longo período, o Parque Nacional do Itatiaia serve como um dos últimos refúgios para os animais do devastado Vale do Paraíba, abrigando uma rica fauna. Em 1957, Barth diagnosticou que “a região do Itatiaia não atinge mais o tamanho mínimo essencial para a existência de algumas espécies tais como: *Felis onca* – onça pintada (*Panthera onca*, atualmente); *Tapirus terrestris* – anta; *Chrysocyon brachiurus* – Guará e *Harpia harpya* – gavião real”. Talvez o fato que recentemente registrou-se diversos relatos não confirmados de avistamento de onça pintada na região e de que em agosto de 2010 foi avistado um lobo guará no entorno da Unidade indique que está havendo uma melhora nas condições ecológicas da região que permitem a sobrevivência dessas espécies localizadas no topo da cadeia alimentar.

3.5. CARACTERÍSTICAS SÓCIO-ECONÔMICAS, HISTÓRICAS E CULTURAIS

Algumas centenas de anos antes do “descobrimento do Brasil”, a região do Vale do Paraíba e da Mantiqueira já era ocupada por diversas etnias indígenas, entre as quais se destaca a dos Puris, que provavelmente deram o nome Itatiaia (Lugar de Pedras Pontudas) ao local onde hoje se situa o PNI (DRUMMOND, 1997; TEIXEIRA & LINSKER, 2007).

A ocupação da Mantiqueira pelo homem branco data de cerca de um século após a chegada dos europeus ao Brasil (HERRMANN, 2011), resultando em raras, ou mesmo nenhuma, áreas livres de alguma influência antrópica. Portanto, mesmo as Unidades de Conservação classificadas como de Proteção Integral tiveram, e certamente continuarão a ter, suas características de alguma forma alteradas pelo homem.

A “Parte Alta” do Parque Nacional do Itatiaia ainda mantém algumas das características rurais ligadas à pecuária extensiva, que passou a ser uma das principais atividades econômicas da região da Mantiqueira a partir do início do século XX, atuando como indutora do desmatamento e dos incêndios florestais, especialmente por utilizar o fogo no manejo das pastagens ou campos nativos (HERRMANN, 2011). Tradicionalmente os criadores do entorno do Parque têm o costume de levar o gado para os campos situados nas altitudes mais elevadas para engordar, criando um ciclo de pastoreio e fogo que impede a regeneração da vegetação arbórea nessas áreas, que diferem dos campos de altitude acima dos 2.000, onde as espécies arbóreas são naturalmente mais restritas.

A agricultura apresenta pequena expressão na região em função dos solos e relevo desfavoráveis, sendo que a pequena produção é basicamente destinada à subsistência e ao consumo local. Apesar de não serem comuns novos desmatamentos, em 2006 a equipe do Parque flagrou a derrubada e queima de uma área de mata em regeneração para o plantio de milho e feijão na região da Serra Negra.

Essa zona da AE apresenta baixa densidade demográfica e nenhuma ocupação urbana e abrange os bairros rurais de Vargem Grande e Serra Negra (parcialmente inseridos no PNI), Fragária, Capivara, Dois Irmãos e Campo Redondo, sendo este último o maior deles e onde está localizada a única escola para alunos a partir do 5º ano do ensino fundamental. É interessante registrar que ultimamente observou-se que crianças têm provocado propositalmente incêndios, seja por brincadeira ou por influência de adultos.

Sem entrar no mérito das restrições relativas às UCs de Proteção Integral, recentemente observa-se um gradual crescimento da atividade turística e da produção de mel,

que são incompatíveis com as queimadas, apesar de, ocasionalmente, também serem causa de incêndios florestais, especialmente por negligência.

A zona de Visconde de Mauá, apesar de também estar inserida no contexto da pecuária leiteira, teve a sua ocupação influenciada pela implementação fracassada de um núcleo colonial na região no início do século XX. Com o insucesso da iniciativa agropecuária e a proximidade do Rio de Janeiro e São Paulo, a região acabou por se tornar um dos mais importantes pólos turísticos do Estado do Rio. Se por um lado essa ocupação amenizou, sem eliminar, a utilização do fogo como instrumento de manejo agropecuário, por outro lado trouxe uma acentuada ocupação desordenada e especulação imobiliária. É comum a utilização de fogo na região para a manutenção de áreas “limpas” para parcelamento ou para construção, já que a legislação da Mata Atlântica (BRASIL, 2006) protege a vegetação nos estágios médio e avançado de regeneração.

Uma informação importante é que a maior parte dessa zona que está inserida no PNI fazia parte da antiga Estação Biológica do Itatiaia, ligada ao Jardim Botânico do Rio de Janeiro e não foi tão explorada pelos pecuaristas no passado. Talvez por isso a maior parte dos incêndios nessa região ocorra fora do Parque, apesar de oferecer sério risco à Unidade. Uma situação distinta é encontrada no extremo norte do Parque, no “Alto dos brejos” e no Vale do Prata, onde os conflitos fundiários e a pecuária extensiva conjugada com o uso do fogo ainda resultam em diversos incêndios dentro ou muito próximos da Unidade.

A “Parte Baixa” do Parque sofreu grande influência do ciclo do café e em seguida da pecuária leiteira do Vale do Paraíba, além de outro núcleo colonial cuja implantação fracassou. No entanto, com a criação do Parque Nacional e o desenvolvimento da atividade turística em Itatiaia, inicialmente distrito de Resende e desde 1989 município, propiciou-se a regeneração da mata que hoje domina essa parte do PNI, onde são raras as ocorrências de incêndio que oferecem risco de atingir os limites da Unidade.

No entorno do Parque, entretanto, reina a cultura do fogo, assim como em quase todo o Vale do Paraíba, identificado por Tanizaki & Boherer (2009, *apud* AXIMOFF & RODRIGUES, 2011) como a primeira das sete unidades geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro em relação ao número absoluto de focos de incêndio. Apesar do forte desenvolvimento industrial e turístico que os municípios de Itatiaia e Resende vêm registrando neste século XXI, ainda são freqüentes as queimadas para manutenção de pastagens ou “limpeza” de áreas urbanas e rurais.

3.6. A QUESTÃO FUNDIÁRIA

A questão fundiária está na raiz de grande parte dos conflitos que resultam em incêndios florestais dentro do Itatiaia, especialmente na “Parte Alta” e no “Alto dos Brejos”. Mesmo antes da ampliação do Parque, em 1982, os criadores do entorno levavam o gado para “invernar” nas alturas do Planalto do Itatiaia e, sem cercas, o gado se espalhava indistintamente dentro e fora do Parque, em terras públicas ou privadas, que eram queimadas para favorecer a rebrota do capim. (Paulo Manoel do Santos, com. pess.) Desta forma, a questão do fogo está em grande parte diretamente conectada ao gado e à situação fundiária.

Com a ampliação da Unidade, o conflito se agravou, já que diversas pequenas fazendas foram incorporadas à Unidade de Conservação sem serem devidamente adquiridas pelo poder público. É comum ouvir dos proprietários o argumento de que mantém gado dentro do Parque porque a terra não foi devidamente indenizada. A inércia histórica do Governo Federal em relação à regularização fundiária não é um “privilégio” do Itatiaia, e é originária de um emaranhado de causas concorrentes que vão desde a falta de verbas e “vontade política” a inúmeros entraves burocráticos. No entanto tem havido progressos com relação a essa questão.

A Figura 12 ilustra o contexto fundiário da Unidade com base no levantamento e mapa elaborados pela empresa DIVISA (1999). Os polígonos numerados representam as propriedades levantadas, no entanto o mapeamento ficou incompleto, com algumas áreas em branco sem identificação. Supostamente a área compreendida nos antigos limites de 1937 (em verde), à exceção dos lotes numerados, é constituída por terras públicas.

MAPA DA SITUAÇÃO FUNDIÁRIA DO PNI

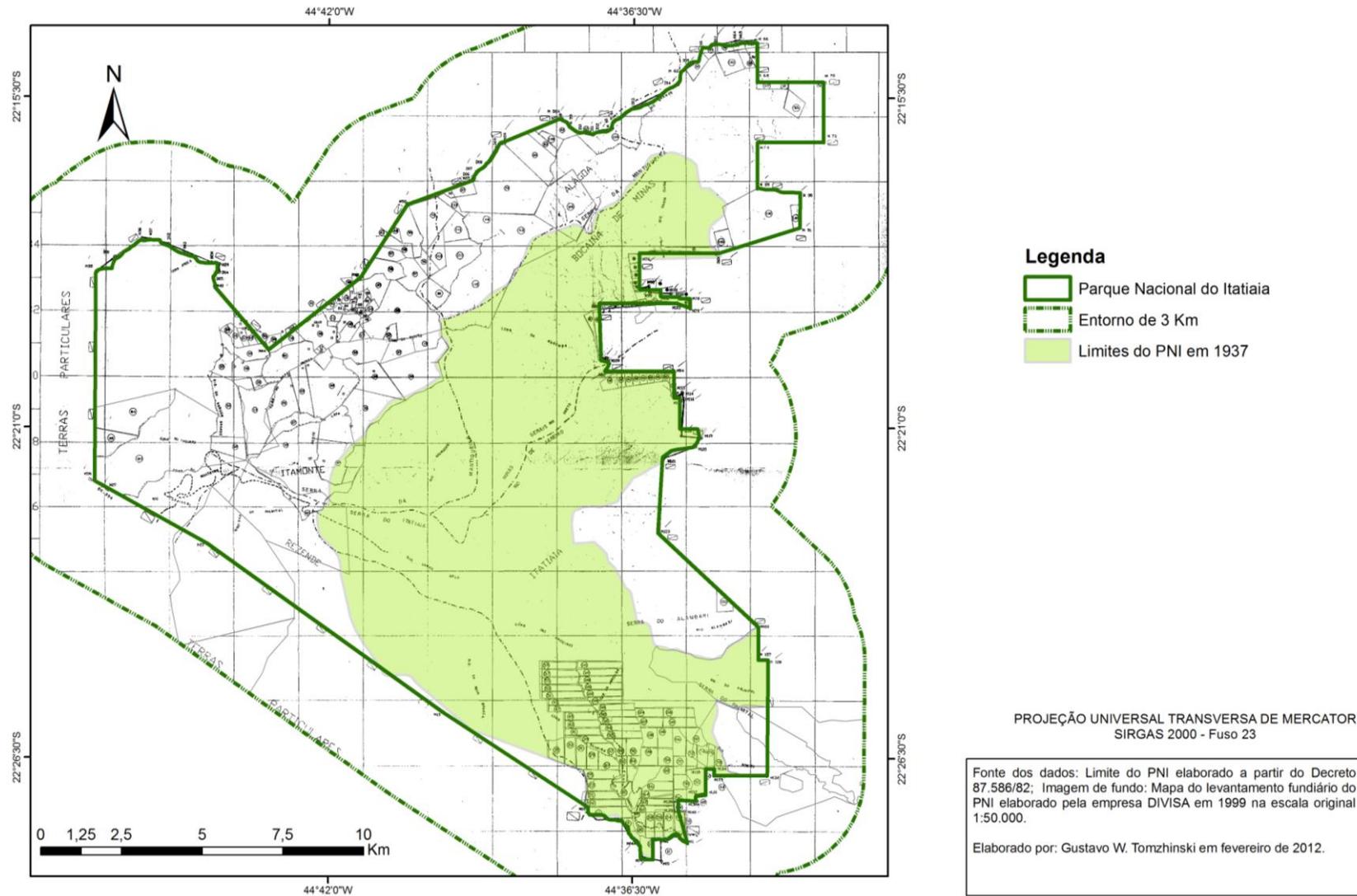


Figura 12 – Mapa da situação fundiária do Itatiaia. Os polígonos numerados equivalem às propriedades levantadas pela empresa DIVISA.

4. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DOS INCÊNDIOS NO ITATIAIA

Um histórico detalhado da ocorrência de incêndios no Parque Nacional do Itatiaia e entorno, por si só já constitui assunto para uma dissertação, o que foge dos objetivos desse trabalho. No entanto, considerou-se importante um resumo histórico atualizado das principais informações, de forma a melhor contextualizar a dinâmica de incêndios na área.

Em outubro de 1903, Pär Karl Hajalmar Dusén, renomado botânico sueco, observou o efeito do fogo em grandes áreas que haviam sido queimadas no Itatiaia para “melhorar os pastos”. Segundo seu relato, os campos eram anualmente queimados e, em geral, a vegetação da mata detinha o fogo, salvo em raras vezes em que a violência do incêndio causava graves danos às florestas (DUSÉN, 1955).

Brade (1956) também cita a influência dos incêndios pretéritos no Itatiaia, registrando que no Planalto a vegetação primitiva foi alterada pelas queimadas incontroladas, onde em áreas de florestas destruídas pelo fogo aparecem formações arbustivas.

O primeiro registro oficial de fogo do Parque encontrado é de 1937 (COSTA, s. d.) e essas informações só passaram a ter um tratamento sistematizado a partir de 2001, com a adoção do ROI (Relatório de Ocorrência de Incêndio). Mesmo assim as diferenças de metodologia para os registros entre 2001 e 2007 dificultam a comparação dos dados. A partir de 2008, passou-se a utilizar sistematicamente a medição dos polígonos de incêndios com aparelhos GPS de navegação, melhorando a precisão das informações de área e localização geográfica, que antes eram geralmente estimadas.

As informações anteriores a de 2001 são baseadas em referências, nem sempre específicas, feitas em relatórios e documentos diversos, cujas informações foram compiladas por Costa (sem data), Magro (1999) e Teixeira (2006). Do período de 1937 a 2011 foram compiladas informações de 453 registros de incêndios em documentos diversos (COSTA, s. d.; MAGRO, 1999; TEIXEIRA, 2006), e nos Bancos de Dados do PREVFOGO (IBAMA, 2008A) e do Núcleo de Prevenção e Combate a Incêndios do PNI (ICMBio, 2011).

Deu-se inicialmente um tratamento cronológico um pouco mais detalhado dos fatos mais relevantes para a compreensão da dinâmica dos incêndios no PNI, para numa segunda etapa abordar de forma resumida todos os registros encontrados.

1937 – Primeiros registros de incêndios depois da criação do PNI. Dois incêndios no Planalto de 06 a 13/09 e de 16 a 21/09;

1943 – Um grande incêndio em área particular, sem maiores informações sobre localização ou área atingida;

1951 – Incêndio no final de março no Planalto. No ano, total de seis registros, sendo um o primeiro registro de apoio da Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN) no combate. Primeiro dos dois registros de incêndio causados por raio (ASSIS, 1988);

1952 – Dois incêndios no Planalto em julho e setembro, ambos com dois dias de duração, sendo o segundo na base das Agulhas Negras, direção Oeste;

1955 – Dois registros: um de 12 ha, no Planalto em maio e outro de 600 ha no final do ano, porém sem informação sobre data. Interessante observar que não são comuns grandes incêndios no final do ano. Esse é o único registro, mas carece de maiores detalhes.

1959 – Registro de incêndio de três dias no final de setembro, possivelmente na base das Agulhas Negras;

1961 – Registro de diversos incêndios no Parque e entorno, com grande área de matas atingidas. Duas semanas de mobilização e dois funcionários feridos em acidente de caminhão;

1963 – Incêndio de três dias de duração em maio. Grande incêndio em setembro, iniciando em Minas Gerais. Combate ampliado com reforço externo, iniciando em 05/09 e durando pelo menos até 15/10. Provavelmente o maior incêndio da história do PNI;

1971 – Incêndio com duração de dois dias no Planalto;

1979 – Registro de cinco incêndios, sendo um de três dias no final do mês de maio em que o combate teve o apoio da AMAN;

1980 – Incêndio no Planalto em junho, com dois dias de duração;

1981 – Grandes incêndios no Planalto em agosto e setembro, com suspeita de causa criminosa por conflito com criadores de gado. Repercussão nacional com matérias no Estado de São Paulo, Jornal da Tarde e Veja (DEAN, 1996);

1984 – Grande incêndio no Planalto, de 11 a 15/08. Área estimada de 1.200 ha;

1988 – Maior incêndio das últimas quatro décadas no PNI. A partir de croqui do polígono do incêndio, elaborado com o auxílio do Cel. Edson Ferreira Santiago, que participou do combate, estimou-se aproximadamente 3.100 ha queimados, incluindo campos de altitude e matas. É interessante notar que esse incêndio abrangeu as áreas dos grandes incêndios de 2001, 2007 e 2010 (Figuras 14, 15 e 16) e que nesse intervalo de tempo não foram registrados outros incêndios nos campos de altitude a volta dos Maciços das Agulhas Negras e Prateleiras.

Nesse incêndio desapareceu um servidor que jamais foi encontrado;

1989 – Único registro de incêndio por curto circuito, que ocorreu próximo à entrada da “Parte Baixa” do Parque;

1990 – Registro de um incêndio cuja causa foi identificada como sendo provocado por caçadores;

1993 – Incêndio de grandes proporções na região de Mauá, atingindo os Vales do Pavão, Cruzes, Marimbondo, inclusive com área dentro do Parque;

1995 – Um incêndio de aproximadamente 20 ha no divisor de águas das bacias dos rios Aiuruoca e Preto, um de 30 ha na região da Santa Clara, na divisa do Parque e um terceiro entre Penedo e a Fazenda da Serra, todos atingindo floresta;

1999 – Incêndio de pelo menos quatro dias no Morro Cavado;

2001 – Transformação do PREVFOGO (criado em 1989) em Centro Especializado dentro da estrutura do IBAMA – Primeira brigada de prevenção e combate a incêndios do Parque Nacional do Itatiaia, coordenada pelo servidor Marcos Botelho.

Incêndio causado por turistas perdidos atinge grandes proporções queimando todo o entorno do maciço das Prateleiras e envolvendo diversas instituições no combate, incluindo aeronaves (RIBEIRO, 2001, NASCIMENTO, 2001). A imagem de satélite da área atingida pode ser vista na Figura 16;

2007 – Grande incêndio no Planalto, atingindo a parte Leste das Agulhas. Por pouco o fogo não destruiu o Abrigo Rebouças e o Posto Marcão (antigo Posto 3). Grande mobilização incluindo brigadistas de diversas outras UCs e aeronaves. Boa parte da vegetação arbustiva e arbórea de pequeno porte que estava se regenerando desde o incêndio de 1988 foi queimada e em alguns locais não se recuperou até hoje (Figura 13). A imagem de satélite da área atingida pode ser vista na Figura 17;

2008 – Incêndio criminoso simultâneo na Pedra do Camelo e na Pedra Furada com fogo de copa em pequeno trecho de mata ciliar próximo a trilha Alsene-Serra Negra e fogo de turfa em área aberta que durou 2 dias e atingiu aproximadamente 25 ha. O incendiário iniciou o fogo enquanto a brigada estava concentrada em treinamento no Abrigo Rebouças.

Segundo (e último até hoje) registro de incêndio iniciado por raio, em 18/10, a aproximadamente 1,5 km dos limites do PNI;

2009 – Ano bastante chuvoso, sem nenhum registro de incêndio maior do que 10 ha;

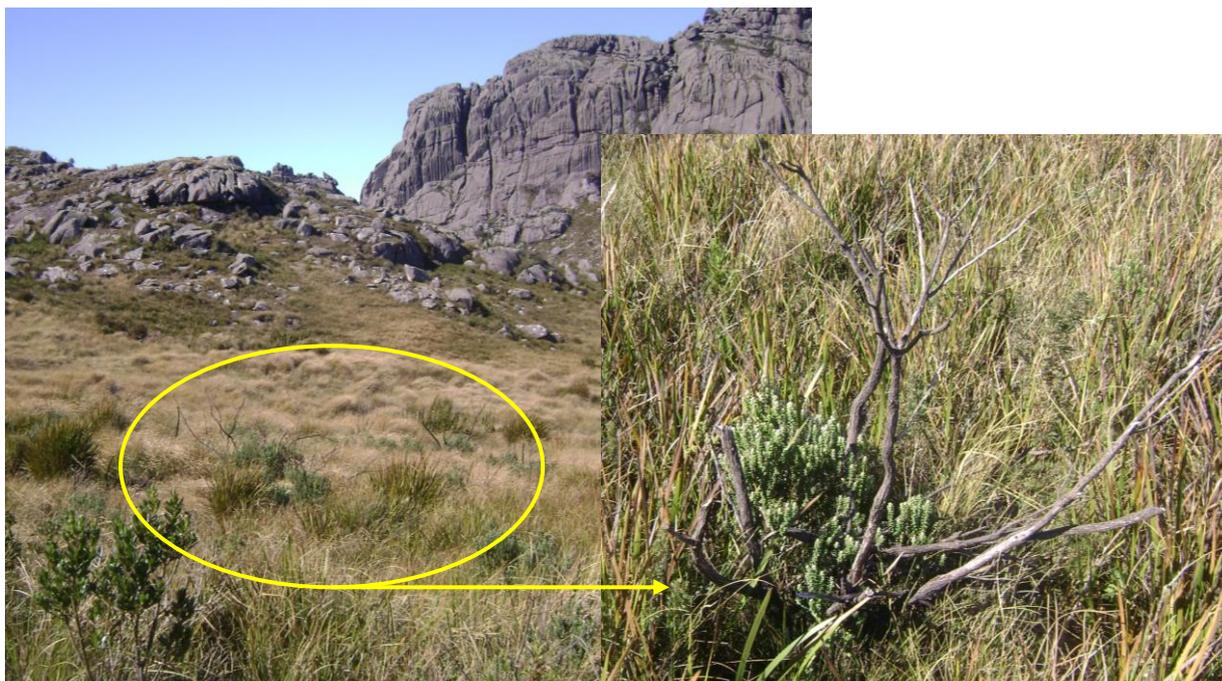


Figura 13 – Área queimada em agosto de 08/2007 junto à trilha para o “Altar”. Na foto, de 09/2011, podemos observar resquícios de uma vegetação de porte arbustivo que não se regenerou (detalhe), sendo substituída por gramíneas.

2010 – Ano extremamente seco e com grandes incêndios em praticamente todo o país.

Mobilização emergencial mais de 30 dias no Planalto em função de uma série de incêndios criminosos, incluindo um de grandes proporções iniciado em 13/08 na região do Rancho Caído, a Leste das Agulhas Negras, que não era queimada desde 1988. O fogo só não atingiu o restante do Planalto devido à mobilização imediata da brigada, ao combate noturno e apoio de aeronaves. A imagem de satélite da área atingida pode ser vista na Figura 18;

2011 – Estação seca bastante pronunciada. Ocorrência de uma série de incêndios criminosos, inclusive vários provocados por crianças, especialmente entre 13 e 18/08, quando foram registrados 11 incêndios no Morro Cavado e nos bairros rurais de Itamonte próximos ao Parque.

Dois grandes incêndios no Alto dos Brejos e Morro Cavado, em 04 e 06/09 respectivamente, atingiram áreas de mata fechada causando grande destruição. O fogo de copa (Figura 14) em algumas áreas e o fogo subterrâneo em grandes frentes mataram inúmeras árvores possivelmente centenárias (Figura 15). Diversos relatos de moradores antigos da região davam conta de que nunca tinham visto incêndios na floresta naquelas proporções. Na mesma época, em outros locais na região grandes incêndios em matas também

foram registrados, como na Serra dos Borges, Parque Estadual da Serra do Papagaio (PESP) e Serra Fina, resultando em grandes mobilizações no PNI, Área de Proteção Ambiental da Mantiqueira (APA Mantiqueira) e PESP, com apoio de aeronaves;



Figura 14 – Fotografia aérea do incêndio no Morro Cavado, tirada em 07/09/2011.



Figura 15 – Árvores atingidas pelo incêndio no Morro Cavado, foto de 10/09/2011.

CARTA IMAGEM DO INCÊNDIO DE 2001

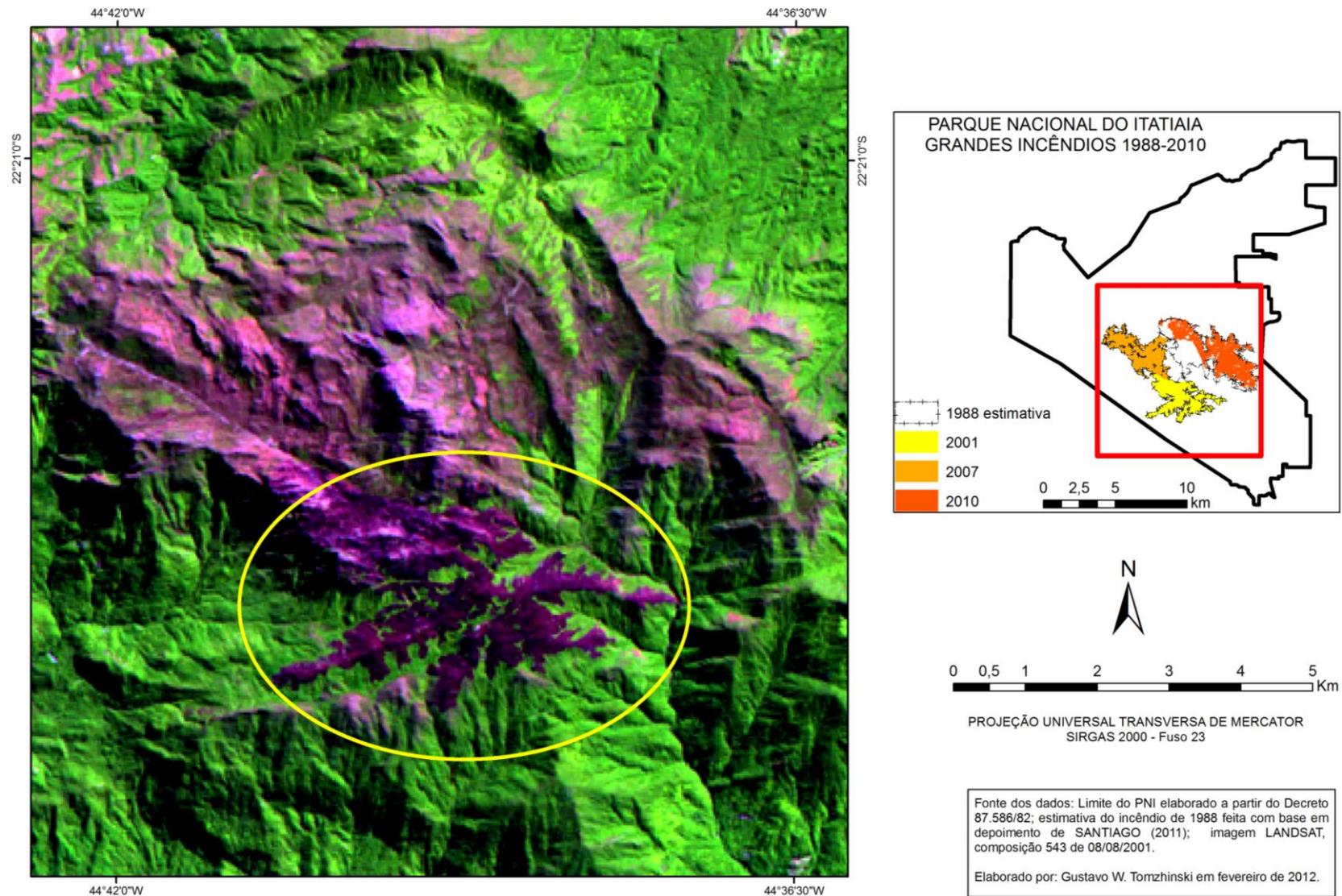


Figura 16 – Carta Imagem do Incêndio no Planalto de 2001, com destaque para a área queimada dentro da elipse amarela.

CARTA IMAGEM DO INCÊNDIO DE 2007

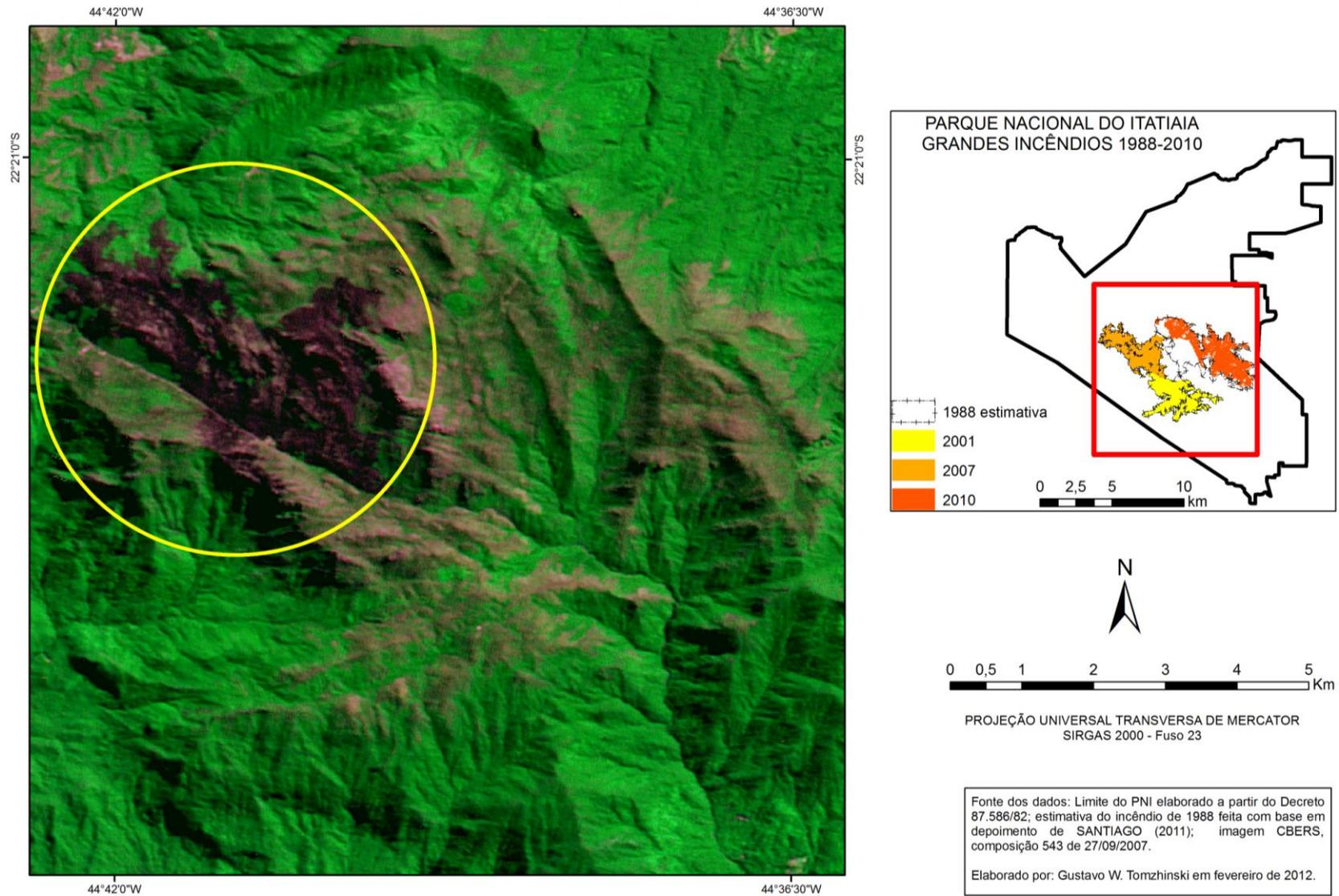


Figura 17 – Carta Imagem do Incêndio no Planalto de 2007, com destaque para a área queimada dentro da elipse amarela.

CARTA IMAGEM DO INCÊNDIO DE 2010

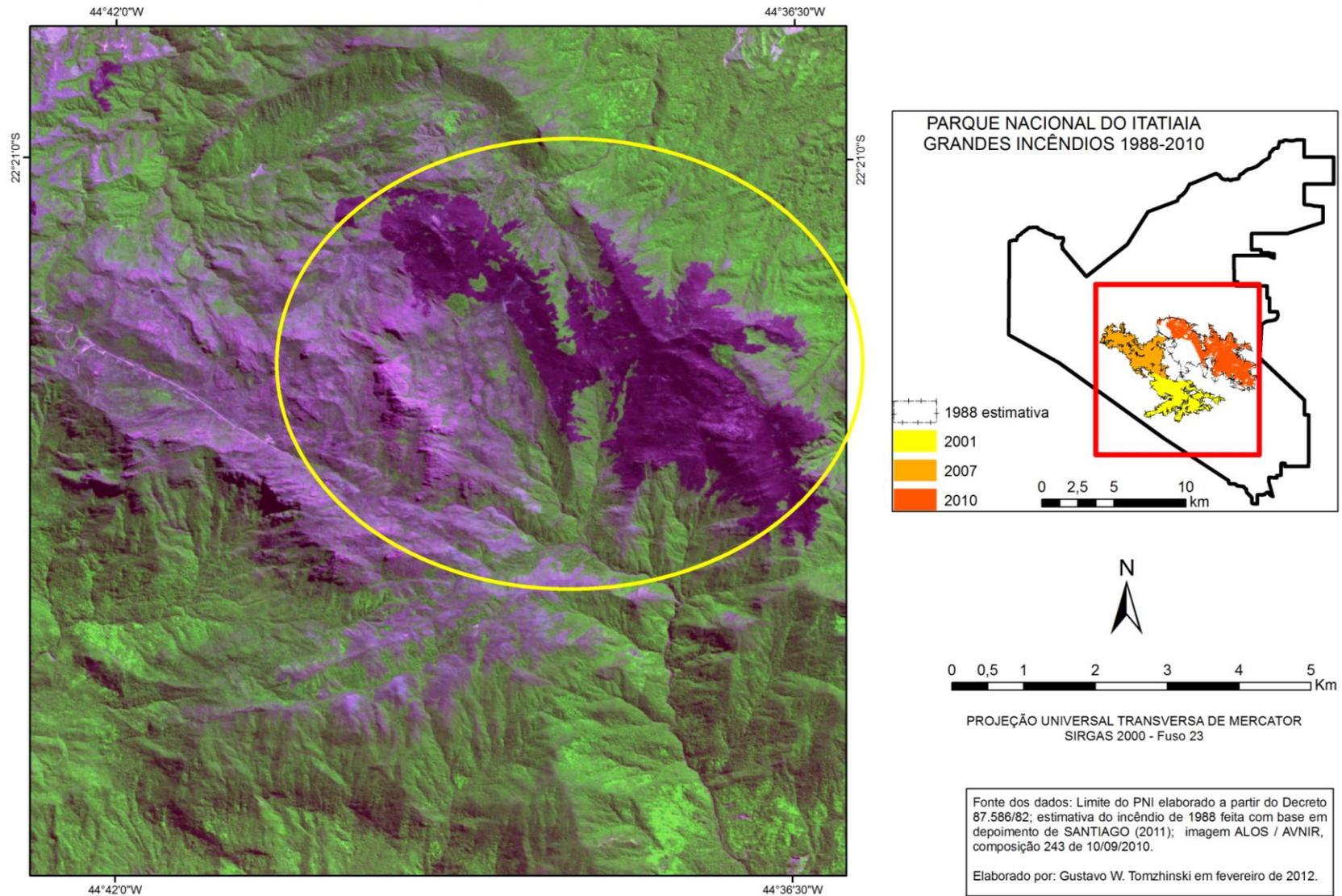


Figura 18 – Carta Imagem do Incêndio no Planalto de 2010, com destaque para a área queimada dentro da elipse amarela.

4.1. ANÁLISE TEMPORAL DOS INCÊNDIOS

Dos 453 registros iniciais, foram separados aqueles que estão inseridos dentro da Área de Estudo, que totalizaram 332 registros. Essa diferença ocorre porque muitos incêndios combatidos pela equipe do Parque estão localizados em Unidades vizinhas, como a APA Mantiqueira e Parque Estadual da Serra do Papagaio, ou na antiga zona de entorno de 10 km.

Mesmo oriundos de fontes distintas e metodologias diversas, estes registros agregam informações importantes para entender a dinâmica dos incêndios no Itatiaia. Dos 332 registros, 325 tinham informação sobre o mês e 319 sobre a data exata do início. A análise dos incêndios em relação aos meses do ano mostrou uma concentração dos incêndios nos meses de julho a setembro (Figura 19), com maior número de ocorrências em agosto (35%) e maior área queimada em setembro (57%). Esse padrão já havia sido observado por Teixeira (2006) e Aximoff & Rodrigues (2011) e é similar ao registrado na maior parte das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste Brasil, em função da época mais seca do ano (IBAMA, 2009), o que foi confirmado pelas análises do capítulo 7. Na análise por dia da semana observa-se uma concentração um pouco maior de segunda a domingo (Figura 20).

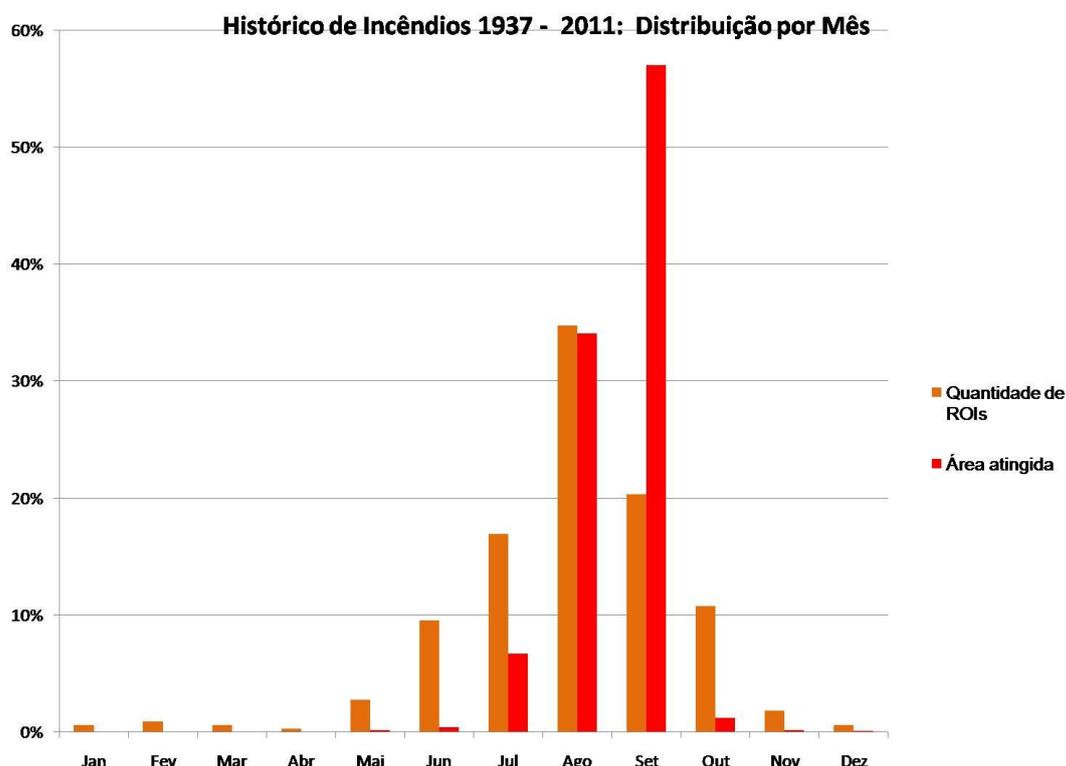


Figura 19 – Distribuição dos registros de incêndios de 1937 a 2011, por mês de início da ocorrência. Os dados se referem ao percentual do total de ocorrências de incêndios e área queimada registrados no período com informações sobre o mês de início (325).

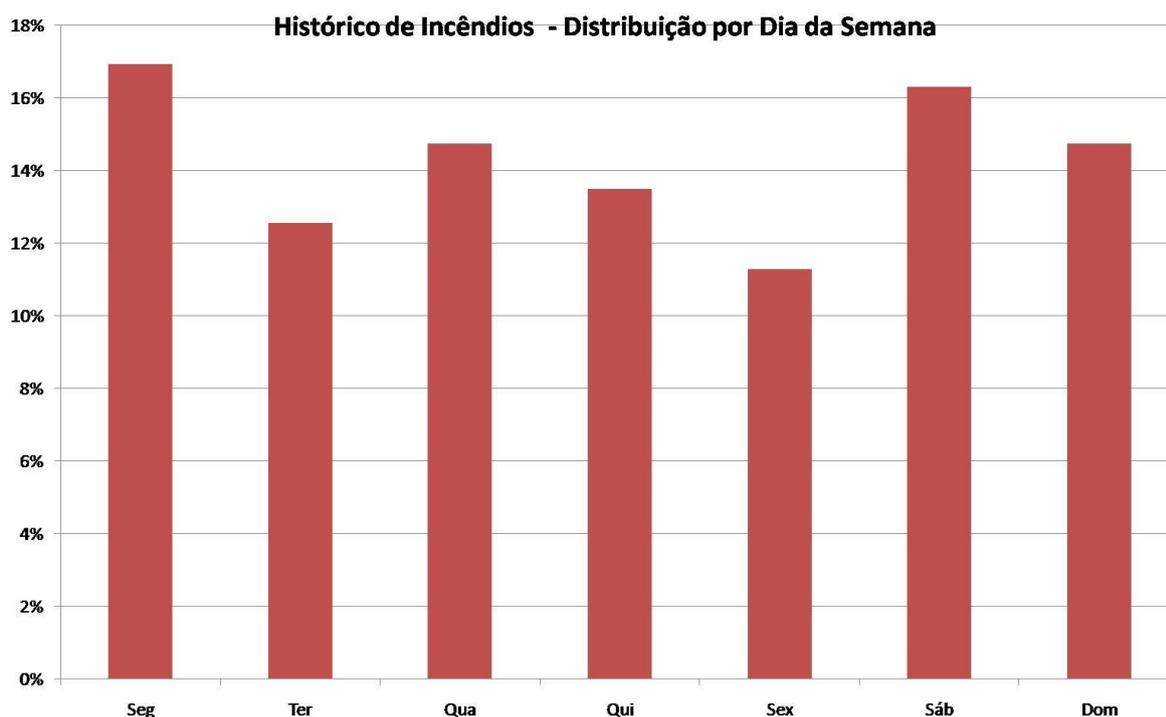


Figura 20 – Gráfico de distribuição dos registros de incêndios de 1937 a 2011, por dia da semana de início da ocorrência. Percentual sobre o total de registros para o período com informações sobre a data de início (319).

A distribuição dos 332 registros ao longo dos anos está representada na Figura 21. Nem todos os registros incluem informações sobre a área atingida, e os anteriores a 2008 essa medida estimada, com exceção dos grandes incêndios de 2001 e 2007 cujos polígonos foram obtidos através de imagens de satélite. Foram levantadas ou estimadas áreas de 265 registros e, apesar de muitas carecerem de precisão, constituem um parâmetro para entender a magnitude da questão dos incêndios na Área de Estudo. A área atingida pelos incêndios anualmente está representada na Figura 22. Para efeito de visualização gráfica, estimaram-se as áreas atingidas pelos grandes incêndios relatados em 1937 (2) e 1981 (2) em 600 ha cada e no de 1963 em 4.000 ha. Em ambos os gráfico percebe-se claramente a influência de mudanças na forma de registro das ocorrências a partir da criação do PREVFOGO e da brigada do PNI, em 2001, e a adoção de medições sistemáticas de todas as ocorrências com GPS a partir de 2008. Deve-se atentar também para o fato de que em 1982 a área do Parque aumentou de aproximadamente 133%.

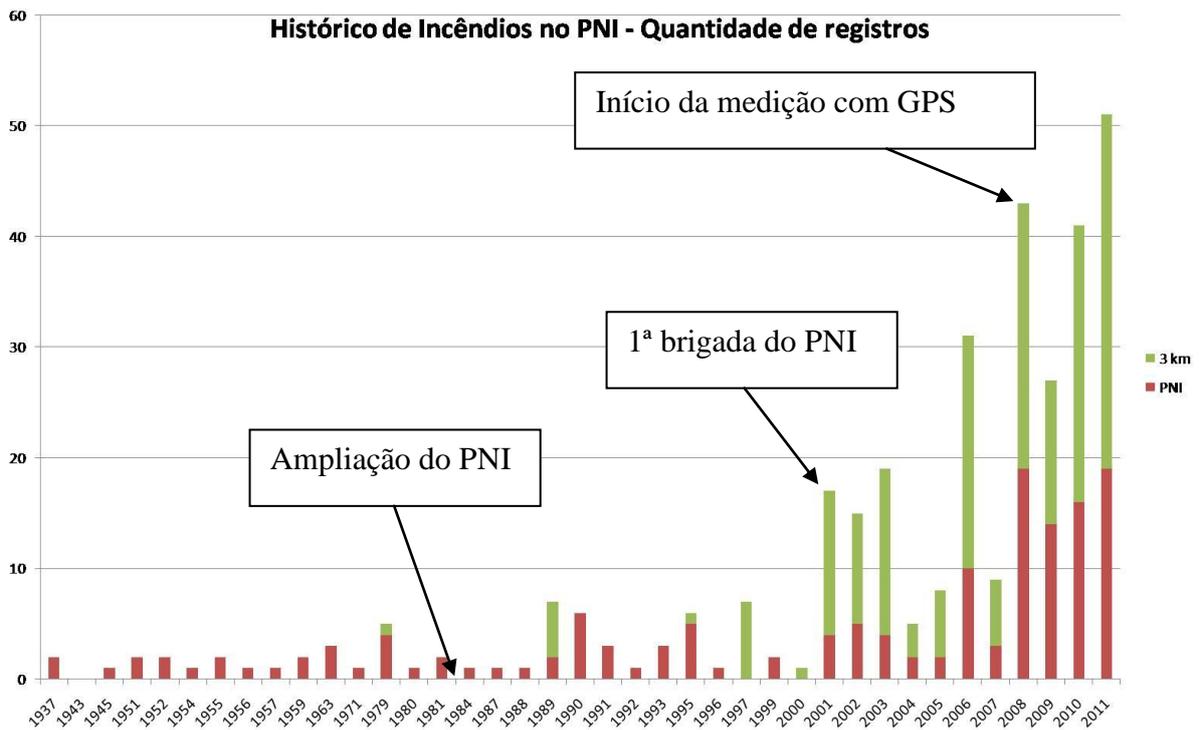


Figura 21 – Gráfico de distribuição por ano dos registros de incêndios no PNI e entorno de 3Km, de 1937 a 2011, por ano. Em 2001 foi criado o PREVFOGO, iniciando-se a elaboração dos ROIs e a partir de 2008 as áreas queimadas passaram ser sistematicamente medidas com GPS.

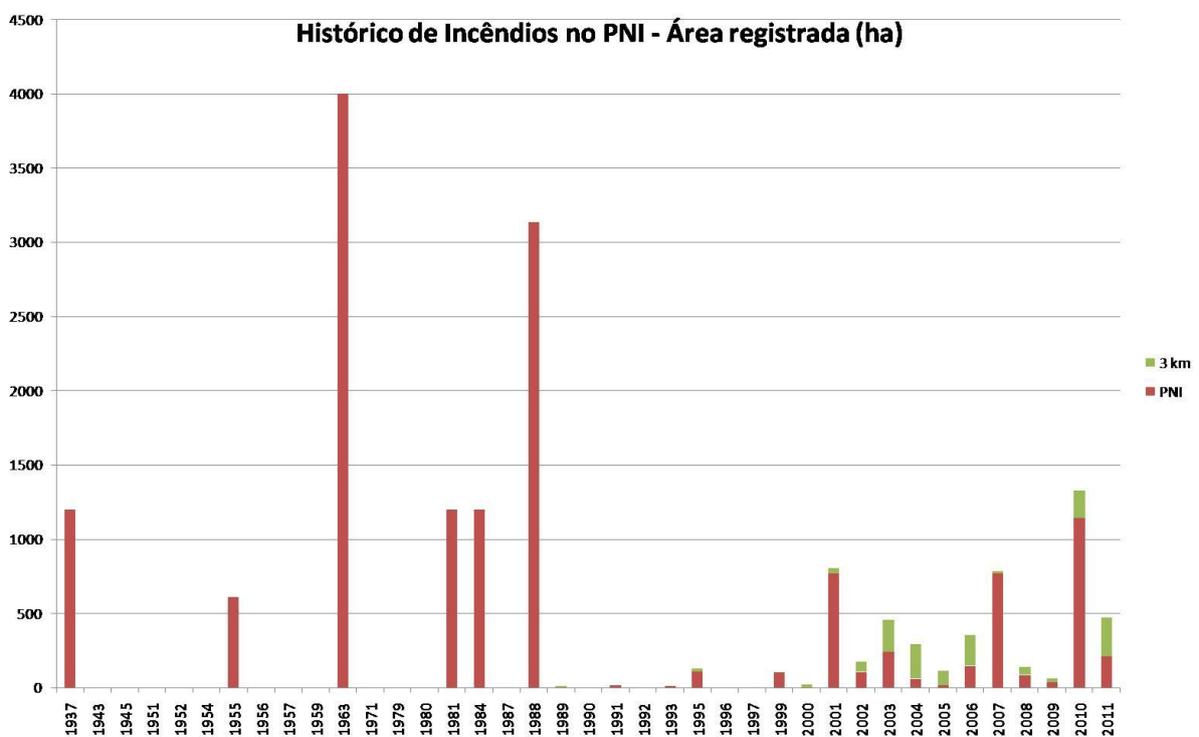


Figura 22 – Gráfico de distribuição por ano das áreas informadas nos registros de incêndios de 1937 a 2011, no PNI e entorno de 3Km.

Aqueles incêndios que puderam ter a sua área estimada foram divididos em três categorias de ordem de grandeza, considerando o parâmetro de 500 ha para incêndios classificados como de grande porte pelo Projeto *Megafires* europeu (BOVIO & CAMIA, 1997) e a mobilização de combate exigida (Tabela 3). Essa mesma categorização por tamanho será utilizada nas análises dos próximos capítulos.

Tabela 3 - Classificação dos registros históricos de incêndios, segundo a estimativa de área atingida.

| Categoria | Quant. | |
|--------------------------|---------------|-----|
| A: Acima de 500 hectares | 11 | 4% |
| B: 10 a 500 hectares | 73 | 28% |
| C: abaixo de 10 hectares | 181 | 68% |
| TOTAIS | 265 | |

Dos onze incêndios da categoria “A” registrados, pelo menos nove atingiram a região do Planalto da Agulhas Negras, dominada pelos campos de altitude. Os dois outros provavelmente também estavam lá localizados, no entanto não foram obtidas informações suficientes para afirmar com certeza. Uma possível explicação para isso é que certamente esta é a maior área contínua de vegetação campestre na região estudada. Os próprios incêndios favorecem a seleção de espécies resistentes, como o capim “cabeça-de-nêgo” (*Cortaderia modesta*), que em função da proteção da área e possivelmente da ausência de grandes herbívoros silvestres acumula grande quantidade de biomassa, conforme a teoria de Caldararo (2002).

A partir dos dados disponíveis, observou-se que não há uma relação direta entre a quantidade de registros de incêndios e a área atingida. Enquanto o primeiro está diretamente relacionado com a capacidade de mobilização e registro da equipe da Unidade, a segunda está mais relacionada com as condições climáticas, acúmulo de biomassa, continuidade dos combustíveis e acesso para o combate. Estes dois últimos fatores são mais significativos dentro do Parque do que no seu entorno, o que é uma das explicações para ocorrerem mais incêndios no entorno do Parque, porém com maiores áreas atingidas no seu interior.

Esta análise histórica foi baseada nos registros disponíveis, no entanto poderá ser grandemente enriquecida por estudos futuros que incluam um amplo levantamento de imagens de sensoriamento remoto, que poderão auxiliar na melhora das informações geográficas desses registros e incluir incêndios que por diversos motivos podem não ter sido identificados.

5. AVALIAÇÃO DA DETECÇÃO DE FOCOS DE CALOR POR SATÉLITES PARA O PNI

A detecção de focos de calor por satélites é hoje o sistema de monitoramento de incêndios mais abrangente do país, sendo largamente utilizado para o gerenciamento de recursos para prevenção e combate a incêndios, bem como para o estabelecimento de estratégias a nível nacional. No entanto, devido às suas limitações de precisão, este sistema pode levar a análises equivocadas em escalas locais. Neste capítulo compararam-se as detecções de focos por satélite com os registros de campo a fim de melhor compreender a sua utilização para o Parque Nacional do Itatiaia.

Para ampliar a compreensão dos incêndios na região do Parque Nacional do Itatiaia, inicialmente analisou-se a distribuição geográfica dos focos de calor detectados por satélites comparando-os com aqueles registrados pela equipe do PNI. Os dados e resultados contidos nesse capítulo referem-se à fase preliminar do projeto, realizada no 2º semestre de 2010 e constituíram importante subsídio para a definição da Área de Estudo, além de resultarem em publicação específica (TOMZHINSKI *et al.*, 2011).

5.1. SISTEMAS DE DETECÇÃO DE INCÊNDIOS

Um dos principais fatores para a prevenção e combate eficaz aos incêndios florestais é a detecção destes no menor tempo possível, a fim de se tomar as medidas necessárias em tempo hábil. Além disso, os sistemas de detecção constituem importantes fontes de informação para o entendimento da distribuição espacial e temporal dos incêndios, por isso é importante conhecê-los e às suas características. Eles são divididos em quatro tipos (ICMBio, 2010a):

- Terrestre fixo: baseado no estabelecimento de pontos fixos no terreno com grande amplitude de visada, de forma a propiciar uma boa observação da área monitorada;
- Terrestre móvel: consiste na vigilância da área pelo deslocamento da equipe por meio de rondas a pé ou motorizadas;
- Aéreo: consiste na utilização de aeronaves, tripuladas ou não, para monitoramento de grandes extensões territoriais. Pouco utilizado no Brasil devido à carência de recursos;

- Detecção por satélites: atualmente existe uma constelação variada de satélites com sensores de calor e radiação eletromagnética, que fornecem cerca de 16 leituras diárias de possíveis focos de incêndios em todo o território nacional. Esse sistema cobre extensas áreas da superfície terrestre e é indicado para a detecção de grandes incêndios, no entanto embute certo grau de incerteza nas leituras dos sensores e nas análises das imagens, necessitando de validação de campo para seu refinamento.

Desde 1987 o INPE vem trabalhando no aperfeiçoamento de um sistema de detecção de queimadas baseado na identificação de focos de calor em imagens geradas pelos sensores capazes de captar a faixa termal-média de 3,7 a 4,1 μm do espectro óptico, a bordo de diversos satélites. São analisadas mais de 100 imagens por dia especificamente para detectar focos de queima de vegetação e os dados são disponibilizados gratuitamente. O monitoramento de queimadas em imagens de satélites é especialmente útil para regiões remotas, no entanto informações de outras áreas que auxiliem a interpretação e calibração desses dados são importantes para aprimorar a metodologia (INPE, 2011).

A detecção de focos de calor por imagens de satélite tem uma série de limitações que precisam ser compreendidas para a sua utilização. Teoricamente, segundo trabalhos de validação de campo, uma frente de fogo com cerca de 30m de extensão por 1m de largura poderiam ser detectadas pelos satélites, porém diversos fatores podem impedir ou prejudicar a detecção dos focos, como:

- Queimadas de pequena duração, ocorrendo entre o período de passagem dos diversos satélites;
- Fogo em uma das encostas de determinada montanha, enquanto que o satélite só observou o outro lado;
- Nuvens cobrindo a região na hora do imageamento;
- Fogo apenas no chão de uma floresta densa (INPE, 2011).

O elemento de resolução espacial (“pixel”) dos satélites de órbita polar tem 1 km x 1 km ou mais, portanto uma queimada de algumas dezenas de metros quadrados será registrada como tendo pelo menos 1km² ou, no caso dos satélites geoestacionários, 16 km² (SETZER *et al.*, 2010). Segundo INPE (2011), a imprecisão na localização dos focos de calor

é de cerca de 1km, podendo chegar a 6km, portanto um foco localizado dentro dos limites do Parque na verdade pode ter ocorrido bem distante..

O sistema de detecção de incêndios do PNI baseia-se em sistemas terrestres fixos e móveis, principalmente no monitoramento de áreas críticas e pontos de observação (mirantes), que são ocupados diariamente pela brigada em regime de escala. Também são recebidos alertas de incêndios detectados por moradores do entorno, que são avaliados e atendidos conforme o risco para a UC e disponibilidade de equipe. Os alertas e possíveis focos detectados são monitorados e caso se confirme um incêndio, uma equipe é mobilizada e suas informações registradas através dos Relatórios de Ocorrência de Incêndios (ROIs).

A contratação e distribuição dos esquadrões de brigadistas são feitas de acordo com um zoneamento baseado no histórico de ocorrência de incêndios, risco para o Parque e na estrutura logística disponível. A Unidade é dividida em três zonas, que vão da de maior risco (Zona 1 ou “Parte Alta”) até a de menor risco (Zona 3 ou “Parte Baixa” (TOMZHINSKI & COSLOPE, 2011). As rotas de monitoramento e o zoneamento para a prevenção e combate a incêndios podem ser observados na Figura 23.

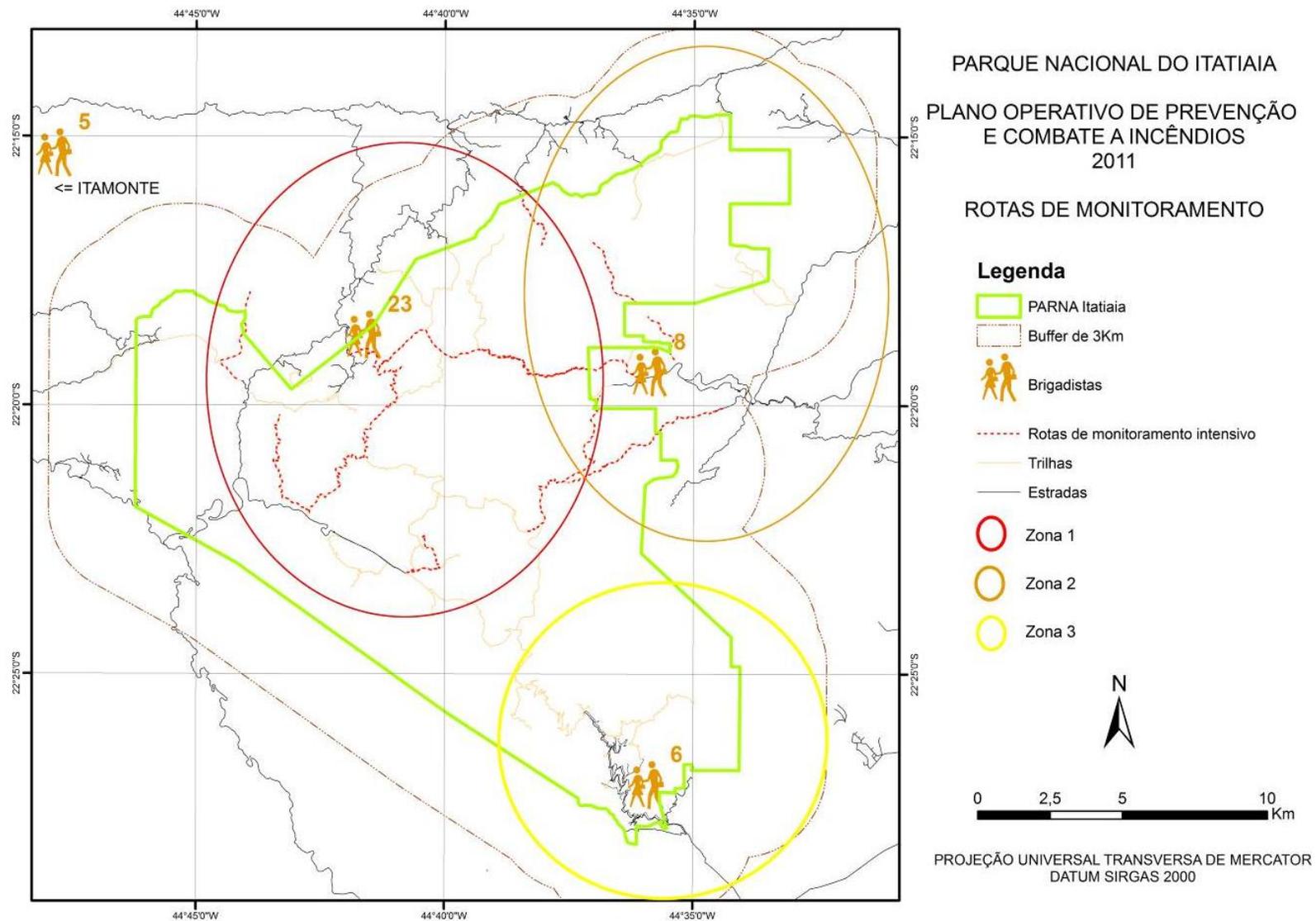


Figura 23 – Mapa de Monitoramento do Plano Operativo de Prevenção e Combate a Incêndios do PNI (TOMZHINSKI & COSLOPE, 2011)

5.2. DADOS DE ENTRADA

5.2.1. Relatórios de Ocorrência de Incêndios

Os registros de ocorrência são feitos regularmente desde 2001, no entanto apenas a partir de 2008 as áreas atingidas passaram a ser sistematicamente perimetradas com a utilização de aparelhos receptores de navegação GPS - *Global Positioning System* ou, no caso de grandes incêndios, com a utilização de imagens de satélites.

Desta forma, foram obtidos inicialmente dois conjuntos de dados de ROIs georreferenciados na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 - SIRGAS 2000 (ICMBio, 2010b):

- a) Arquivo de pontos extraídos de coordenadas aproximadas, contendo estimativas pouco precisas da área queimada, para os anos de 2001 a 2007;
- b) Arquivo de polígonos georreferenciados dos incêndios de 2008 a 2010, com posicionamento e medidas de área precisas, considerando-se a escala de 1:50.000. Estes dados foram complementados pelos polígonos dos grandes incêndios de 2001 e 2010, obtidos a partir da análise das imagens do satélite LANDSAT de 09/09/2001 e 02/09/2010, respectivamente, e o polígono do incêndio de 2007, que foi gerado pela empresa Geodesign a partir de imagem CBERS de 25/08/2007 e doado ao Parque naquele ano.

5.2.2. Focos de Calor Detectados por Satélites

A partir do Banco de Dados de Queimadas (BD Queimadas) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2010), foram obtidos os dados pontuais de detecção de focos de calor pelos diversos satélites, no período de 2001 a 2010. Os dados são fornecidos no formato *shapefile* com projeção Equirretangular Cilíndrica Normal datum SAD 69 (South America Datum 1969) e foram transformados para a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS 2000) segundo os parâmetros oficiais do IBGE.

Os dados pontuais de focos de calor não trazem informações sobre as dimensões dos eventuais incêndios detectados, no entanto é comum que grandes ocorrências correspondam a mais de um registro em função de sua duração e da existência de mais de uma frente de fogo.

No presente trabalho, foram analisadas detecções de focos de calor pelos satélites NOAA (12, 15, 16, 17, 18 e 19), AQUA, TERRA, ERS-2, GOES (10 e 12) E MSG-02, equipados com diferentes sensores, cujas principais características estão resumidas na Tabela 4.

Tabela 4 - Satélites com respectivos sensores que captaram os focos de calor estudados no presente trabalho (EMBRAPA, 2011; INPE, 2011)

| SATÉLITE TIPO | SENSOR | RESOLUÇÃO ESPACIAL | REVISITA |
|-------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Órbita Polar | | | |
| NOAA | AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) | 1,1 km | 12 horas |
| AQUA | MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) | 1 km | 1 a 2 dias |
| TERRA | MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) | 1 km | 1 a 2 dias |
| ERS-2 | ATSR (Along Track Scanning Radiometer) | 1 km | 3, 35 e 176 dias |
| GEOESTACIONÁRIOS | | | |
| GOES-10 | GOES I-M (Imager Radiometer e Vertical Sounder) | 4 km | a cada 30 minutos |
| GOES-12 | GOES I-M (Imager Radiometer e Vertical Sounder) | 4 km | a cada 30 minutos |
| MSG-02 | SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) | 3 km | a cada 30 minutos |

5.3. ANÁLISE PRELIMINAR DA DISTRIBUIÇÃO DOS FOCOS DE CALOR E DOS ROIS

Para Druck *et al.* (2004) o objetivo da análise espacial é mensurar propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo de forma explícita. Ainda segundo este mesmo autor, no caso da análise de padrões de pontos, o objeto de interesse é a própria localização espacial dos eventos em estudo, sendo o objetivo principal estudar a distribuição espacial destes pontos, testando hipóteses sobre o padrão observado, ou seja, se é aleatório, regularmente distribuído ou se apresenta aglomerados.

O estimador de intensidade de Kernel constitui uma técnica de representação de fácil visualização para fenômenos pontuais e resulta do ajuste de uma função bi-dimensional sobre determinado evento, formando uma superfície onde o valor será proporcional à intensidade de amostras por unidade de área. Desta forma, esta função

realizará a contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse. O raio de influência define a área centrada no ponto de estimação da localização do evento, e isso indica quantos eventos contribuem para a estimativa da função de intensidade (DRUCK *et al.*, 2004). Esse raio de busca é atribuído pelo pesquisador a partir dos dados disponíveis e do resultado visual de testes.

Para essa análise, os dados dos ROIs de 2001 a 2010 foram todos unificados em um arquivo de pontos georreferenciados, totalizando 210 registros, dos quais foram separados os 204 localizados num raio de até 10km dos limites do PNI, para comparação com os dados do INPE. É importante lembrar que esta parte do trabalho foi elaborada antes da definição da área de estudo com o entorno de 3km do PNI.

Os focos de calor detectados na mesma área e período totalizaram 104 pontos. Para a comparação quantitativa dos dados, o arquivo de focos detectados pelo INPE foi analisado de forma a procurar identificar e retirar os focos que correspondiam a um mesmo incêndio, i.e., focos de calor registrados num mesmo dia em locais muito próximos, resultando numa redução para 58 pontos. Para a representação de Kernel utilizou-se a totalidade dos pontos, de forma a dar peso aos incêndios maiores e com mais duração, peso este que no mapa dos ROIs foi dado pela área.

A partir dos dados acima, foram testados diversos parâmetros customizados para a geração dos mapas de Kernel, chegando-se a um resultado visualmente satisfatório com um pixel de 25 m, raio de busca de 3.000 m e divisão do histograma em cinco categorias de intensidade de ocorrências, conforme se verifica na Figura 24.

Através da análise dos dados pontuais e mapas, verificou-se que aproximadamente 79% dos ROIs estão situados num raio de até 3 km dos limites do Parque, enquanto que apenas 31% dos supostos incêndios detectados pelos satélites se encontram nessa mesma área. Esta discrepância pode ser explicada principalmente pela grande limitação dos satélites em detectar incêndios de menor magnitude e duração, conforme discutido anteriormente e pela prioridade de ação da brigada no monitoramento e combate dos incêndios mais próximos ao PNI, levando ao maior número de registros próximos ao Parque.

Observa-se uma grande concentração de ocorrências de incêndios registradas na parte norte do Parque, especialmente na bacia do rio Aiuruoca, que vem a estar inserida na região de maior risco indicada no Plano Operativo de Prevenção e Combate a Incêndios do

PNI. No entanto, analisando-se simplesmente os focos de calor detectados pelos satélites, essa concentração de incêndios passa praticamente despercebida.

Por outro lado, a gravidade dos incêndios que ocorrem no Planalto das Agulhas Negras se reflete tanto na representação dos focos de calor detectados quanto dos incêndios registrados, o que se confirma pela comparação dos registros pontuais com os polígonos dos 3 maiores incêndios do período estudado.

A utilização do estimador de densidade de Kernel para a representação dos dados pontuais de focos de calor e registros de incêndios se mostrou bastante interessante para representar os dados de uma forma didática e de fácil visualização, no entanto a sua aplicabilidade em análises está diretamente ligada à precisão dos dados utilizados e a compreensão do alcance e limitações destes.

REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS INCÊNDIOS NO PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA 2001 - 2010

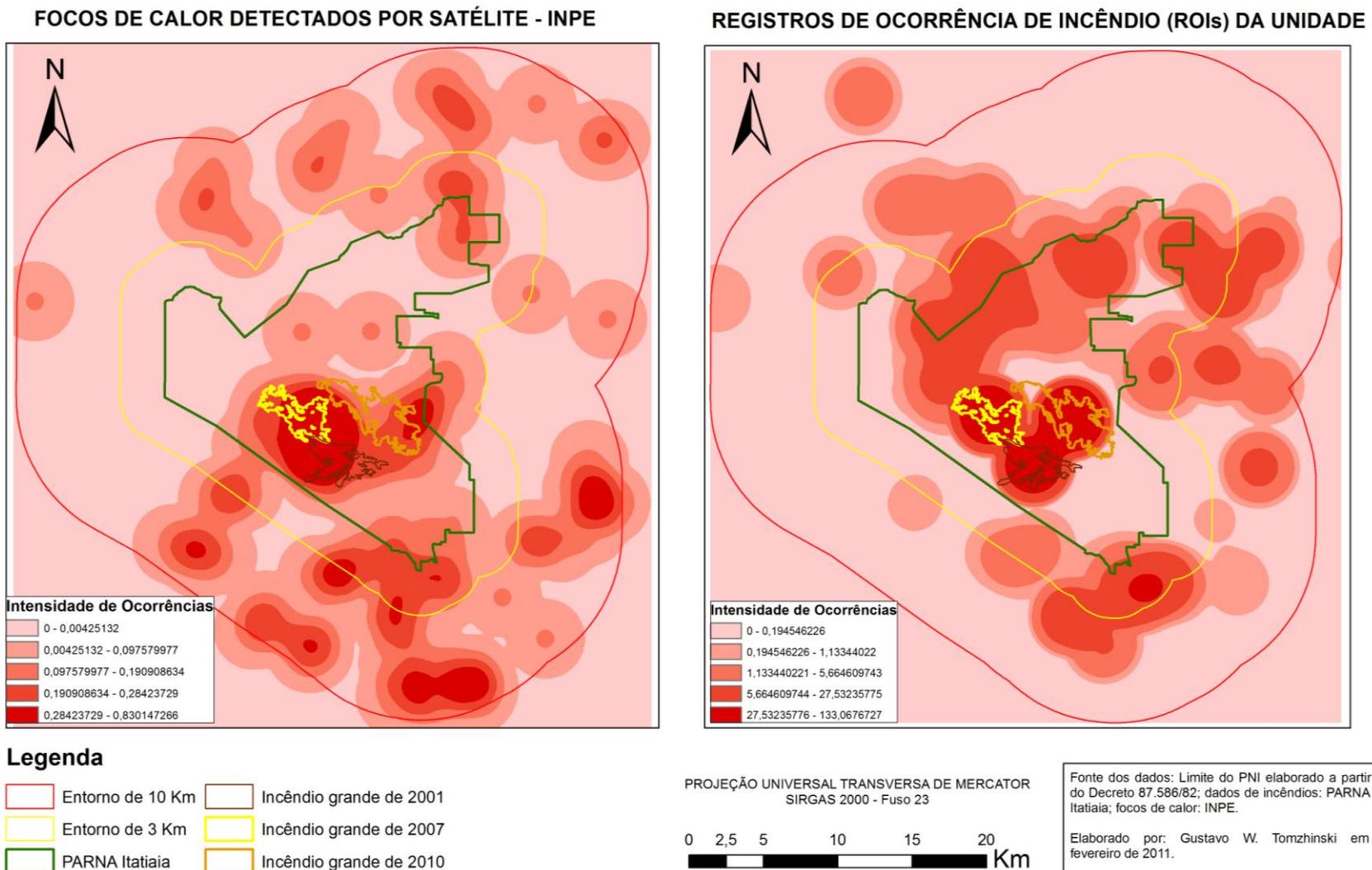


Figura 24 – Mapa comparativo da densidade de Kernel para os focos de calor detectados por satélites e os ROIs do PNI

5.4. ANÁLISE DA DETECÇÃO DE FOCOS DE CALOR POR SATÉLITES

O sensoriamento remoto e, em particular, a detecção de focos de calor por satélite constituem parte importante do sistema de monitoramento de incêndios florestais dos dois principais órgãos federais ligados à prevenção e combate dessas ocorrências, o ICMBio e o IBAMA. No entanto, existe certo grau de incerteza e imprecisão nos sistemas de detecção por satélites, sendo necessária para seu refinamento, uma validação de campo e o retorno dessas informações (ICMBio, 2010a).

Buscando melhorar a compreensão das aplicações e limitações da utilização do sistema de detecção por satélites para a realidade do PNI, bem como identificar pontos vulneráveis no sistema de monitoramento de incêndios da Unidade, foram analisados comparativamente os dados de detecção por satélites adquiridos através do Programa de Monitoramento de Focos do INPE com os Registros de Ocorrência de Incêndio (ROIs) do PNI que têm polígonos georreferenciados, que são aqueles de 2008 a 2010 e os grandes incêndios de 2001 e 2007. Observa-se que aproximadamente 85% das ocorrências e 92% da área registrada se encontram na faixa de entorno de 3 km, o que confirma a tendência observada na análise dos registros pontuais. No total foram analisados 118 polígonos de ROIs, dos quais foram selecionados os 101 inseridos na Área de Estudo.

Em função da disponibilidade dos dados descritos acima foi definido o recorte temporal da análise abrangendo os dados dos ROIs dos anos de 2008 a 2010, além dos períodos de duração dos grandes incêndios de 2001 (18 a 21/07/2001) e 2007 (21/08/2007 a 25/08/2007).

A partir do Banco de Dados de Queimadas (BD Queimadas) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2010), foram obtidos os dados pontuais de detecção de focos de calor compreendidos num raio de até 6 km (margem de imprecisão prevista pelo INPE) de algum polígono dos ROIs estudados, totalizando 166 registros. Destes, foram selecionados para análise apenas aqueles compreendidos no período de análise, ou seja, 92 registros.

Através de análises espaciais efetuadas no *software* ArcGIS 9.3[®] da Environmental System Research Institute - ESRI (ESRI, 2008) os focos de calor e os polígonos foram separados por ano e calculada a distância entre cada foco e o polígono mais próximo, considerando-se a distância máxima de 6 km. Em seguida, os registros foram

analisados individualmente para a correlação com os ROIs em função da data e da distância. Dos 92 focos analisados, 71 puderam ser relacionados a um incêndio registrado pela brigada.

Esses registros foram então agrupados por tipo de satélite e por tipo de sensor, calculando-se o número de focos detectados por cada um e as distâncias máximas, mínimas e médias de cada um ao respectivo polígono de área queimada.

Dos 101 polígonos de incêndios analisados, 85 podem ser considerados pequenos, com áreas menores que 10 ha, 13 de médio porte, atingindo áreas entre 10 e 52 ha e 3 ocorrências de grandes proporções para a Unidade, com áreas de 742 ha, 764 ha e 1.255 ha, em 2001, 2007 e 2010, respectivamente. Nenhum dos incêndios menores que 10 ha foi detectado pelos satélites, apenas 1 dos incêndios médios foi detectado (23 ha em 2008) e todos os grandes foram detectados por pelo menos 3 satélites, totalizando 4 incêndios que puderam ser associados aos focos de calor estudados. Considerando todos os incêndios analisados, os satélites deixaram de detectar 96% das ocorrências, enquanto que, levando em conta apenas os de médio e grande porte, a omissão foi de 75%.

Estas observações são compatíveis com os resultados de outros estudos similares para a região Norte do Brasil, onde são relatadas omissões dos satélites entre 65 a 100% das ocorrências de fogo (Pantoja *et al.*, 2005; Pantoja & Brown, 2007). As omissões dos incêndios pequenos já eram esperadas neste estudo em função do curto período de duração e do menor tamanho das frentes de fogo no Itatiaia. Em relação as omissões dos eventos de médio porte, pensou-se estas estarem associadas principalmente ao espaço temporal de passagem dos satélites e ao relevo acidentado, já que a vegetação atingida apresenta fisionomia aberta, não cabendo a hipótese das copas de floresta densa prejudicarem a detecção.

As distâncias dos focos de calor aos polígonos foram compatíveis com as resoluções e limitações para cada satélite e estão apresentadas na totalidade na Tabela 5, incluindo as distâncias máximas, mínimas, médias e desvio padrão (σ) observados. Já a Tabela 6 traz um resumo das observações por cada satélite.

Tabela 5 - Relação anual dos focos de calor com os polígonos dos respectivos ROIS.

| Satélites | ROI 02/2001 | | | | ROI 14/2007 | | | | ROI 10/2008 | | | | ROI 23/2010 | | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------------------|------|-------|-------------|-----------|-----------------------|------|-------------|----------|-----------|-----------------------|-------------|-------|----------|-----------|-----------------------|------|-------|----------|
| | No. Focos | Dist. do polígono (m) | | | | No. Focos | Dist. do polígono (m) | | | | No. Focos | Dist. do polígono (m) | | | | No. Focos | Dist. do polígono (m) | | | |
| | | Máx | Min | Média | σ | | Máx | Min | Média | σ | | Máx | Min | Média | σ | | Máx | Min | Média | σ |
| TERRA | 7 | 358 | 0 | 91 | 139 | 7 | 2685 | 0 | 457 | 921 | | | | | | 7 | 4012 | 0 | 650 | 1374 |
| AQUA | | | | | | 19 | 786 | 0 | 171 | 219 | 2 | 3124 | 0 | 1562 | 1562 | 5 | 111 | 0 | 22 | 44 |
| ERS-2 | 3 | 946 | 0 | 613 | 434 | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOAA-12 | 3 | 5933 | 4176 | 5056 | 717 | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOAA-15 | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 1935 | 305 | 1120 | 814 |
| NOAA-16 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 5364 | 5364 | 5364 | 0 |
| NOAA-17 | | | | | | 2 | 5856 | 5650 | 5753 | 103 | | | | | | | | | | |
| NOAA-18D | | | | | | 2 | 736 | 440 | 588 | 148 | | | | | | 1 | 1184 | 1184 | 1184 | 0 |
| NOAA-19D | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 4302 | 3905 | 4103 | 198 |
| GOES-10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GOES-12 | | | | | | 2 | 3085 | 32 | 1558 | 1526 | | | | | | 5 | 3223 | 320 | 1143 | 1055 |
| MSG-02 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1773 | 1773 | 1773 | 0 |

Nenhum satélite detectou todos os quatro incêndios do período de estudo, no entanto o AQUA captou todos os que ocorreram durante o período em que estava ativo, i.e., desde 2002 até a atualidade. Se forem considerados os dados do sensor MODIS, a bordo dos satélites AQUA e TERRA, os quatro incêndios foram detectados.

Tabela 6 – Resumo das detecções de focos de calor por satélite.

| Satélite | No. Focos | Dist. dos polígonos (m) | | | |
|---------------------|-----------|-------------------------|----------|--------------|--------------|
| | | Máx | Mín | Média | σ |
| TERRA | 21 | 4.012 | - | 399 | 986 |
| AQUA | 26 | 3.124 | - | 249 | 608 |
| Terra + Aqua | 47 | 4.012 | - | 316 | 803 |
| ERS-2 | 3 | 946 | - | 613 | 434 |
| NOAA | 13 | 5.933 | 305 | 3.449 | 2.116 |
| GOES | 7 | 3.223 | 32 | 1.262 | 1.223 |
| MSG-02 | 1 | 1.773 | 1.773 | 1.773 | - |
| TOTAL | 71 | 5.993 | - | 1.016 | 1.682 |

Na média geral, o satélite AQUA apresentou os melhores resultados tanto em quantidade de detecções como na proximidade dos focos em relação à área atingida. Vale lembrar que o foco de calor detectado pode ser resultante de uma frente de fogo em outro local dentro do polígono relacionado. Com os dados disponíveis não é possível determinar a exata localização da frente de fogo, portanto foi medida a menor distância do foco com relação à borda do polígono de incêndio para todos os casos.

Os satélites AQUA e TERRA, munidos de sensores MODIS, giram em órbita assíncrona e, juntos, os dois instrumentos conseguem adquirir imagens da Terra de 1 a 2 dias.

Desta forma, o conjunto de informações dos sensores MODIS mostra-se a base de dados de focos de calor mais precisa e completa, dentre as analisadas. Essas características conferem a esse sensor especial utilidade para análises espaciais e históricas onde se procura a comparação de dados com mesmos parâmetros.

Dos 92 focos estudados, 21 não puderam ser relacionados a nenhum ROI em função das datas de ocorrência e localização. Destes, apenas 1 no ano de 2007 e 2 no ano de 2010, possivelmente caracterizam uma falha de monitoramento por parte da brigada, já que estão localizados dentro do PNI e ocorreram em data em que seria esperado que fossem identificados e registrados pelas equipes de campo. Apesar de por si só não serem conclusivos, esses números apontam para uma boa eficiência do sistema de monitoramento atualmente adotado no PNI. Esta conclusão é corroborada pelo grande número de ocorrências pequenas combatidas pela brigada, que aponta para uma rápida detecção e pronta mobilização.

5.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO DE FOCOS DE CALOR DETECTADOS POR SATÉLITES

As análises confirmam estudos para outras regiões que mostraram que o método de detecção de focos de calor por satélites, se utilizado isoladamente, omite parte significativa das ocorrências de fogo. Este fato é ainda mais acentuado para a região da Serra da Mantiqueira, onde as propriedades são em geral pequenas e médias, o relevo acidentado e a maioria das ocorrências de incêndios é de menores proporções e duração que em outras regiões do país, como a Norte e a Centro-Oeste.

Os dados analisados no presente estudo podem ser particularmente úteis para a calibração do sistema do INPE quando somadas à experiência acumulada por aquela Instituição, já que ainda é bastante limitada a informação sistemática de ocorrências de incêndios com datas e medições de campo.

Essas considerações não minimizam a importância desse sistema de detecção, mas apenas confirmam a informação do próprio INPE (2011) de que a sua utilidade é maior para áreas remotas e que ele não substitui os sistemas de monitoramento terrestres, mas os complementa.

Cabe lembrar que a maior parte do território nacional não dispõe de equipes de campo para monitoramento e que, nesses casos, a detecção dos incêndios é feita quase que unicamente pelo sistema do INPE. Nesses casos, a utilização de mapas de Kernel para a análise dos dados pode ser particularmente útil para análises gerais, onde se busca identificar regiões com maior incidência de incêndios.

6. ANÁLISE DOS REGISTROS DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS COM POLÍGONOS DELIMITADOS

Este capítulo tem o objetivo de apresentar e analisar espacial e temporalmente as ocorrências de incêndio que tiveram seus polígonos medidos e que foram utilizados para as análises geoecológicas.

Foram utilizados os polígonos dos Registros de Ocorrência de Incêndios (ROIs) dos anos de 2008 a 2011, quando o Núcleo de Prevenção e Combate a Incêndios do Parque Nacional do Itatiaia passou a perimetrar sistematicamente as áreas atingidas com a utilização de aparelhos receptores de navegação GPS - *Global Positioning System* (ICMBio, 2011). Além destes foram analisados também os polígonos dos grandes incêndios de 2001, 2007 e 2010. O de 2001 foi obtido através da análise visual de imagem do satélite LANDSAT de 09/09/2001, o de 2007 foi gerado pela empresa Geodesign a partir de imagem CBERS de 25/08/2007 e doado ao Parque naquele ano e o de 2010 foi obtido através de classificação supervisionada da imagem obtida pelo sensor AVNIR-2 do satélite ALOS de 04/09/2010. É importante chamar a atenção que estes dados são diferentes dos utilizados nas análises preliminares, tanto em função do período temporal, quanto em relação a alguns polígonos, que tiveram sua geometria ajustada.

Em função da disponibilidade dos dados descritos acima foi definido o recorte temporal da análise espacial abrangendo os dados dos ROIs dos anos de 2008 a 2011, além dos períodos de duração dos grandes incêndios de 2001 (18 a 21/07/2001) e 2007 (21 a 25/08/2007). No total foram obtidos 164 polígonos de ROIs, dos quais foram selecionados aqueles que interceptavam o polígono circundante do PNI num raio de até 3 km de distância dos limites da Unidade, totalizando 147 polígonos analisados, conforme a Tabela 7 e a Figura 25.

Tabela 7 - Distribuição na Área de Estudo dos polígonos analisados.

| Localização | Quant. | Área atingida (ha) | | |
|-------------------------------------|------------|--------------------|-------------|--------------|
| | | Total | Média | σ |
| Total ou parcialmente dentro do PNI | 59 | 2983,5 | 50,6 | 186,3 |
| Entorno de 3 Km | 88 | 515,8 | 5,9 | 10,5 |
| TOTAL | 147 | 3.499,30 | 23,8 | 120,3 |

MAPA DOS REGISTROS DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS (ROIs) ANALISADOS

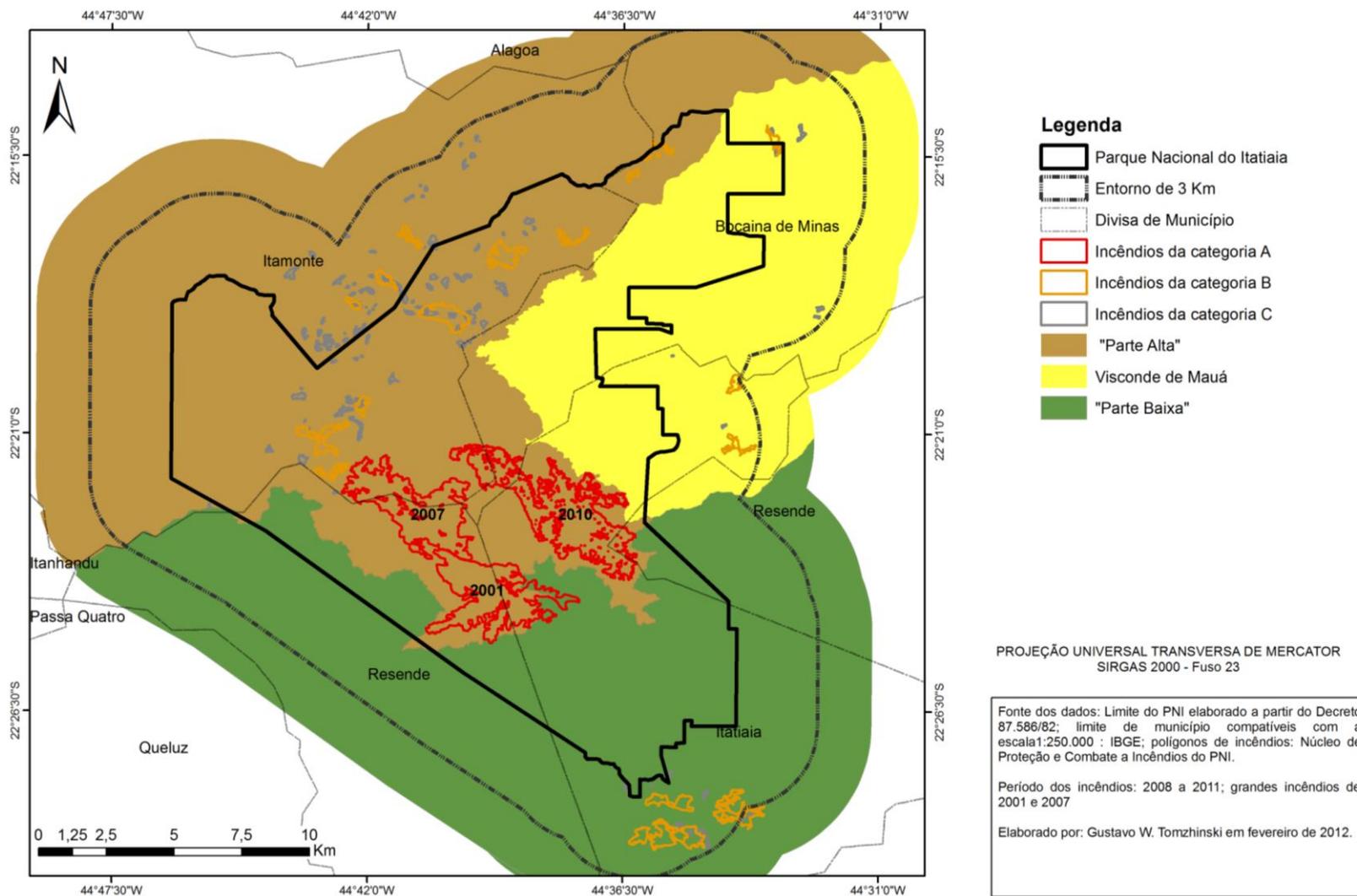


Figura 25 – Mapa dos ROIs analisados, abrangendo o período de 2008 a 2011 e os grande incêndios de 2001e 2007

Observou-se uma grande disparidade entre as áreas atingidas pelos diversos incêndios, resultando num elevado desvio padrão. Para possibilitar uma melhor análise dos diferentes tamanhos de incêndios e sua relação com os fatores geocológicos estudados, estes foram divididos em categorias de acordo com a ordem de grandeza da área atingida, utilizando-se as mesmas categorias definidas no capítulo 4, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação dos polígonos de incêndios estudados, segundo a área atingida.

| Categoria | Quant. | Área (ha) | | | | | σ |
|---------------------------|------------|-----------|---------|-------|----------------|-------|----------|
| | | Mín. | Máx. | Média | Soma | | |
| A: Maior que 500 hectares | 3 2% | 741,6 | 1.023,3 | 842,9 | 2.528,7 | 127,9 | |
| B: 10 a 500 hectares | 25 17% | 10,0 | 98,1 | 28,3 | 707,4 | 20,4 | |
| C: Abaixo de 10 hectares | 119 81% | 0,01 | 9,83 | 2,2 | 263,3 | 2,2 | |
| TOTAIS | 147 | | | | 3.499,3 | | |

É importante ressaltar que essas categorias de tamanho foram assim definidas apenas para facilitar a análise e a compreensão dos fatores estudados e não para determinar a severidade do incêndio, para o que deverão ser levados em conta outros fatores, como biodiversidade atingida, proximidade da UC, dificuldades de combate, possibilidade de propagação para outras áreas, entre outros. Na Tabela 9 verifica-se a distribuição desses registros de incêndio por ano.

Tabela 9 - ROIs analisados separados por ano e por categorias de tamanho dos incêndios.

| Categoria | A | | B | | C | | TOTAL | |
|---------------|----------|----------------|-----------|--------------|------------|--------------|------------|----------------|
| | Quant. | Ha | Quant. | Ha | Quant. | Ha | Quant. | Ha |
| 2001 | 1 | 741,6 | | | | | 1 | 741,6 |
| 2007 | 1 | 763,8 | | | | | 1 | 763,8 |
| 2008 | | | 3 | 56,0 | 40 | 80,1 | 43 | 136,2 |
| 2009 | | | | | 23 | 61,4 | 23 | 61,4 |
| 2010 | 1 | 1.023,3 | 10 | 241,4 | 22 | 60,3 | 33 | 1.325,0 |
| 2011 | | | 12 | 409,9 | 34 | 61,4 | 46 | 471,3 |
| TOTAIS | 3 | 2.528,7 | 25 | 707,3 | 119 | 263,2 | 147 | 3.499,3 |

As figuras 26 e 27 mostram a distribuição desses registros e a área atingida por ano.

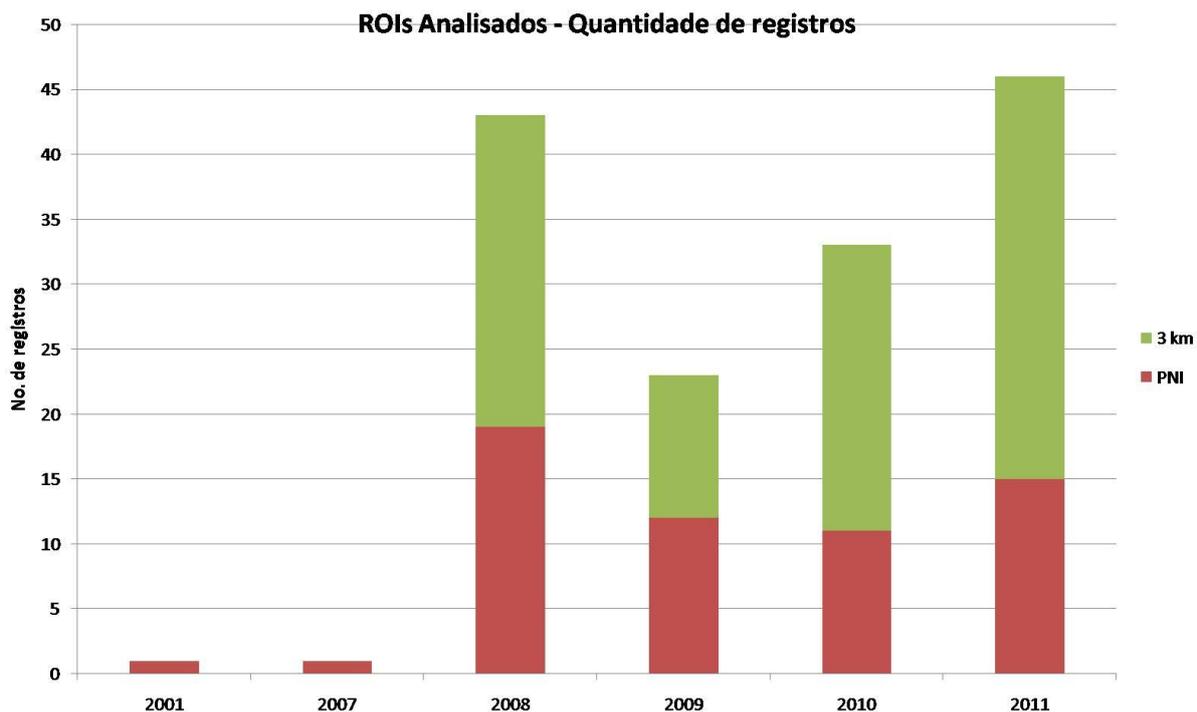


Figura 26 – Gráfico de distribuição por ano dos ROIs analisados. Para esse estudo, foi utilizado apenas um incêndio de 2001 e um de 2007.

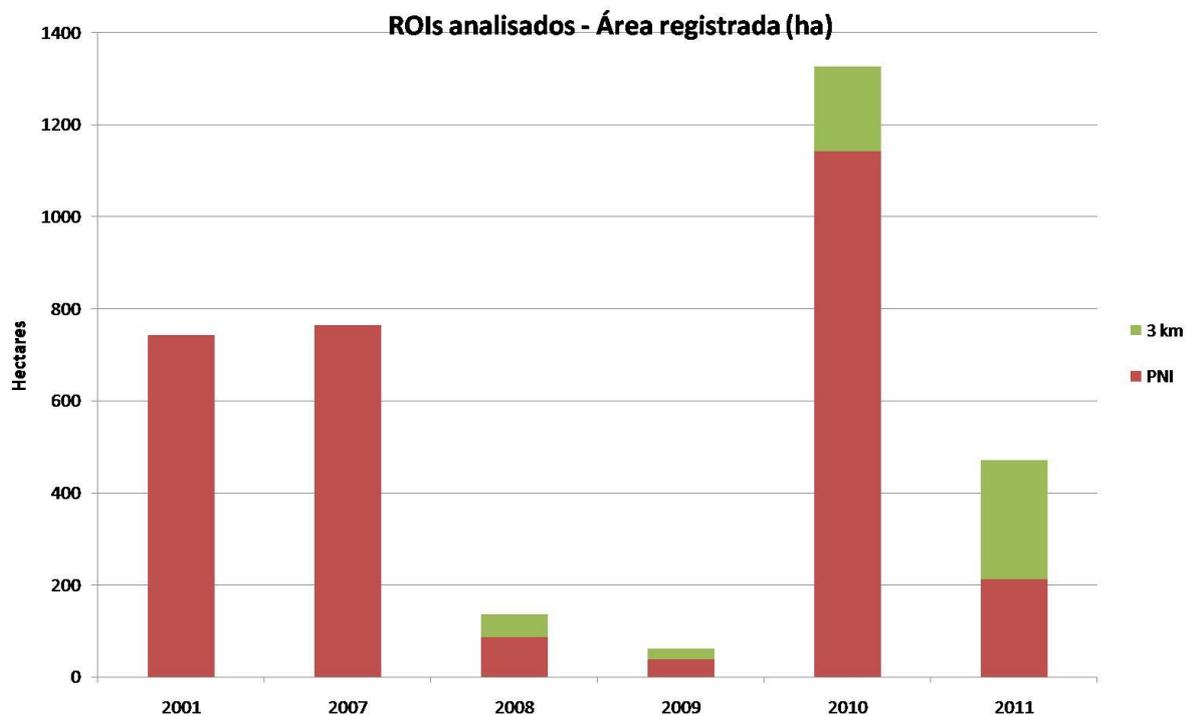


Figura 27 – Gráfico de distribuição por ano das áreas calculadas a partir dos polígonos dos ROIs analisados. Para esse estudo, foi utilizado apenas um incêndio de 2001 e um de 2007.

Conforme já havia sido verificado anteriormente, não há uma proporcionalidade direta entre a quantidade de ocorrências e a área atingida, especialmente em anos de grandes incêndios. De maneira geral o número de ocorrências é maior fora da Unidade, mas as áreas internas atingidas muitas vezes são maiores em função da continuidade dos combustíveis e dificuldade de acesso.

Quando se analisou os polígonos de incêndio com relação à sua localização geográfica, foi constatado que eles se concentram na “Parte Alta”, tanto em quantidade (79,6%) quanto em área atingida (88,8%), especialmente na bacia do rio Aiuruoca, que concentra a maior parte das propriedades rurais incluídas na ampliação de 1982. Os três maiores incêndios estão localizados no Planalto das Agulhas Negras, conforme a tendência observada no Capítulo 4. A Tabela 10 mostra a distribuição dos ROIs analisados em relação à sua localização. A “Parte Baixa” apresenta um número maior de ocorrências que a região de Visconde de Mauá, no entanto esta oferece maior risco de atingir os limites do Parque.

Tabela 10 - ROIs analisados por Zonas.

| Categoria | A | | B | | C | | TOTAL | |
|---------------|----------|----------------|-----------|--------------|------------|--------------|------------|----------------|
| | Quant. | Ha | Quant. | Ha | Quant. | Ha | Quant. | Ha |
| “PARTE ALTA” | 3 | 2.528,7 | 12 | 362,2 | 102 | 217,0 | 117 | 3.107,9 |
| “MAUÁ” | | | 3 | 54,1 | 8 | 15,0 | 11 | 69,2 |
| “PARTE BAIXA” | | | 10 | 291,0 | 9 | 31,2 | 19 | 322,2 |
| TOTAIS | 3 | 2.528,7 | 25 | 707,3 | 119 | 263,2 | 147 | 3.499,3 |

Verificou-se também a distribuição dos incêndios por município. Nesta análise não foram computados os três grandes incêndios, que atingiram sempre áreas em mais de um município. O de 2001 foi nos municípios de Itatiaia e Resende, o de 2007 em Itamonte, Bocaina de Minas e Resende e o de 2010 em Itamonte, Bocaina de Minas, Itatiaia e Resende.

A Tabela 11 mostra que o município de Itamonte lidera o *ranking* de incêndios tanto em número de registros quanto em área atingida, com o agravante de que muitas dessas ocorrências afetaram o Parque. Em seguida vem o município de Itatiaia, principalmente em função do fogo colocado em pastagens no Vale do Paraíba. Esses incêndios oferecem menor risco ao PNI, no entanto um deles atingiu o limite sul da Unidade, em 2010.

Tabela 11 - ROIs analisados por município.

| Município | Quantidade | | Área (ha) | |
|------------------|-------------------|-----|------------------|-----|
| Itamonte | 113 | 78% | 578,3 | 60% |
| Itatiaia | 24 | 17% | 362,0 | 37% |
| Bocaina de Minas | 6 | 4% | 28,8 | 3% |
| Resende | 1 | 1% | 0,8 | 0% |
| | 144 | | 969,9 | |

Um dos principais agravantes dos incêndios quanto à perda de biodiversidade e degradação do solo é a sua recorrência periódica num mesmo local. Ao analisar a relação da união das áreas atingidas pelos incêndios com a soma da área de cada um deles, pode-se calcular um indicador dessa recorrência em determinado período, ou seja, qual a proporção da área atingida pelos incêndios analisados queimou mais de uma vez durante o período estudado. Na figura 28 observa-se um exemplo de requeima em que duas áreas foram atingidas por incêndios em períodos diferentes e que se sobrepuseram parcialmente. A soma das áreas dos dois registros é maior que a união dos seus polígonos e a diferença representa a área que queimou mais de uma vez naquele espaço de tempo.

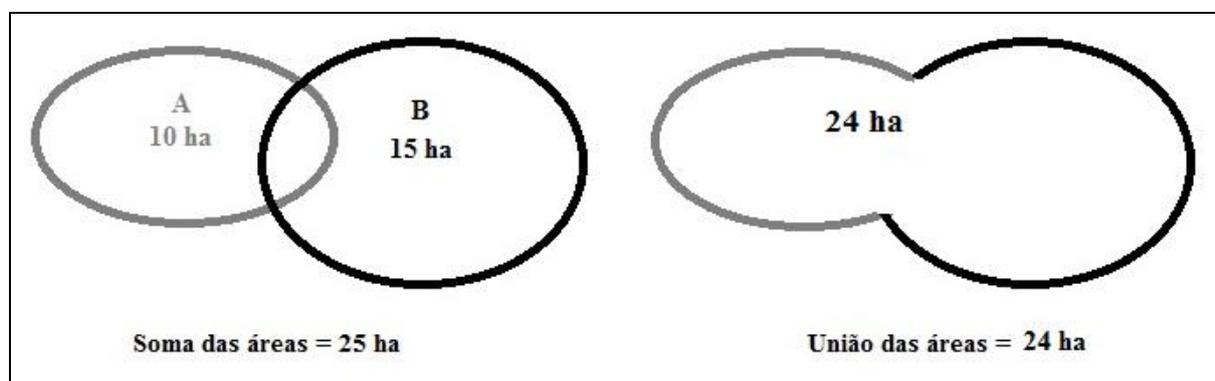


Figura 28 – Ilustração de exemplo de ocorrência de requeima.

A partir dessa observação, formulou-se um indicador para calcular essa sobreposição de áreas queimadas, ao qual denominou-se Índice de Requeima (IR). Este índice indica, de forma geral, qual o percentual da área que foi queimada mais de uma vez num dado período de tempo (T) e é calculado pela fórmula:

$$IR = \left(1 - \frac{\text{Área Total Atingida (T)}}{\sum \text{Área dos Polígonos (T)}} \right) \times 100$$

Quando calculado o IR para todos os polígonos analisados (que inclui os grandes incêndios de 2001 e 2007), obteve-se um valor de 2% de requeima, já quando se calcula apenas para o período de 2008 a 2011, verificou-se que esse valor aumenta para 3,4%, que significa que nesse espaço de tempo pelo menos 67 ha foram queimados por mais de uma vez.

Esse índice é relativamente pequeno em função do curto período para o qual estão disponíveis polígonos de incêndios, apenas quatro anos. No entanto, a partir dos dados históricos, estima-se que o grande incêndio de 1988 abrangeu os de 2001, 2007 e 2010 e que não houve sobreposição entre estes. Neste caso, dentro do PNI, em treze anos, pelo menos 742 ha teriam queimado mais de uma vez; em 19 anos, 1.505 ha e em 22 anos pelo menos 2.528 ha, que corresponde a aproximadamente 9% da área total do Parque.

Estas estimativas são limitadas em função dos dados disponíveis, mas são indicadores genéricos do regime de fogo no Itatiaia, do acúmulo de biomassa e da potencial perda de biodiversidade, subsidiando as ações de proteção e manejo da UC e estudos mais aprofundados. Elas poderão ser melhoradas a partir de estudos futuros baseados em séries temporais de imagens de sensoriamento remoto, conforme metodologia utilizada por FRANÇA *et al.* (2007).

7. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS GEOECOLÓGICAS FRENTE AOS REGISTROS DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIO

Segundo Rodriguez (2007), pode-se considerar seis tipos de fatores, aqui chamados variáveis, na formação da paisagem: geológicos, climáticos, geomorfológicos, hídricos, edáficos e bióticos. Neste capítulo abordamos as variáveis geológicas que estão mais diretamente ligadas à questão dos incêndios florestais, condicionando-os: forma do relevo, declividade e altitude (geomorfológicas); incidência de radiação solar e precipitação (climáticas); combustibilidade (biótica) e as variáveis ligadas aos impactos antropogênicos ou sócio-econômicas. Apesar da incidência de radiação solar ser uma variável climática, neste trabalho ela foi tratada em conjunto com as geomorfológicas por estar diretamente condicionada pelo relevo e estar sendo utilizada em substituição à orientação das encostas.

Neste capítulo buscou-se analisar individualmente a influência de cada uma das variáveis geológicas analisadas na distribuição espacial e magnitude dos incêndios, estabelecendo parâmetros para o mapeamento geológico de suscetibilidade a ocorrência de incêndios.

7.1. VARIÁVEIS GEOMORFOLÓGICAS

Diversos fatores derivados do relevo influenciam o comportamento do fogo e a suscetibilidade aos incêndios. Nesse capítulo as ocorrências de incêndios são analisadas em função da incidência de radiação solar, forma da encosta, declividade e altitude. Todos esses fatores foram mapeados a partir do Modelo Digital de Elevação gerado com a base cartográfica disponível.

7.1.1. Dados de entrada

7.1.1.1. Base Cartográfica

A principal base cartográfica utilizada foi as cartas topográficas do Mapeamento Sistemático Brasileiro, na escala 1:50.000, mais especificamente as cartas Agulhas Negras (MI-2712/4), Passa Quatro (MI-2712/3), Alagoa (MI-2712/2) e São José do Barreiro (MI-2742/2), editadas pelo IBGE. Essa base já consta do Sistema de Informações Geográficas do PNI, em formato vetorial, na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS 2000). Estes dados foram complementados pelos levantamentos de campo realizados pela equipe do

Parque e por aqueles realizados especificamente para o presente trabalho, além das informações extraídas dos produtos de sensoriamento remoto.

A base, toda em formato *shapefile* (*.shp), possui um bom ajuste em termos de posicionamento e topologia, entretanto, as feições lineares de hidrografia tiveram que passar por um ajuste topológico. Todas as feições de hidrografia foram revistas num raio de 5 km dos limites do PNI, de forma a unir os vetores de um mesmo canal, formando uma única feição no banco de dados, o que traz maior praticidade e segurança no manejo desse banco. Uma vez unificados os canais, estes foram redirecionados de forma a garantir que a hidrografia vetorizada esteja toda conectada e orientada no sentido do escoamento superficial, ou seja, de montante para jusante. Esse tratamento é necessário para a geração de um Modelo de Elevação Digital (MDE) hidrológicamente consistente.

7.1.1.2. Modelo Digital de Elevação

Modelo Digital de Elevação (MDE) pode ser definido como qualquer representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço (BURROUGH, 1986). Na forma trivial, modelos digitais de elevação (MDE) são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel (VALERIANO, 2008).

Os MDEs constituem importante elemento para as análises geocológicas. Entre os produtos derivados dos MDEs, Fernandes & Menezes (2005) destacam o cálculo de volumes, a construção de perfis e seções transversais, a geração de imagens sombreadas ou em níveis de cinza, mapas de declividade e orientação (aspecto), perspectivas tridimensionais, e o cálculo de áreas e distâncias em superfície real. Nesse projeto especificamente, os MDE constituem a base para os mapas de incidência de radiação solar, forma das encostas, declividade e hipsometria.

Dentre os diversos métodos de interpolação baseados em grades regulares retangulares (GRID) e irregulares triangulares (TIN) testados por Fernandes & Menezes (2005), os dois com melhor comportamento e que apresentaram erros, para cada ponto de controle, menores que o Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC (classe A) para a escala utilizada foram o método de triangulação de Delaunay com restrições e o módulo TOPOGRID do software ARCGis[®]. O primeiro, um TIN, se mostrou mais adequado para os pontos de maior altitude e relevo mais acidentado, enquanto o segundo, um GRID, apresentou melhores resultados em áreas de relevo mais suave e menor altitude. No entanto, a conclusão dos testes demonstrou que as diferenças dos erros dos dois métodos foi muito pequena.

Segundo Fernandes & Menezes (2005), o TIN resulta em arquivos vetoriais, de processamento mais pesado, sendo mais adequado para as observações em superfície real. Já o GRID origina arquivos matriciais, como processamento mais leve que o TIN e como a precisão é bastante similar, optou-se por trabalhar com esse tipo de estrutura.

Embora existam MDE de origens diversas, as curvas de nível constituem uma importante fonte de dados para sua construção (VALERIANO, 2008). O MDE utilizado com base nesse projeto foi gerado com a ferramenta Topo to Grid do software ARCGis®, utilizando os vetores de curvas de nível, topos cotados e hidrografia das cartas topográficas 1:50.000 constantes do Sistema de Informações Geográficas (SIG) do PNI. É importante citar que a ferramenta utilizada gera um modelo hidrológicamente consistente, tendo por base os vetores de hidrografia revisados, como visto anteriormente. O modelo resultante pode ser observado na Figura 29.

MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO - GRID

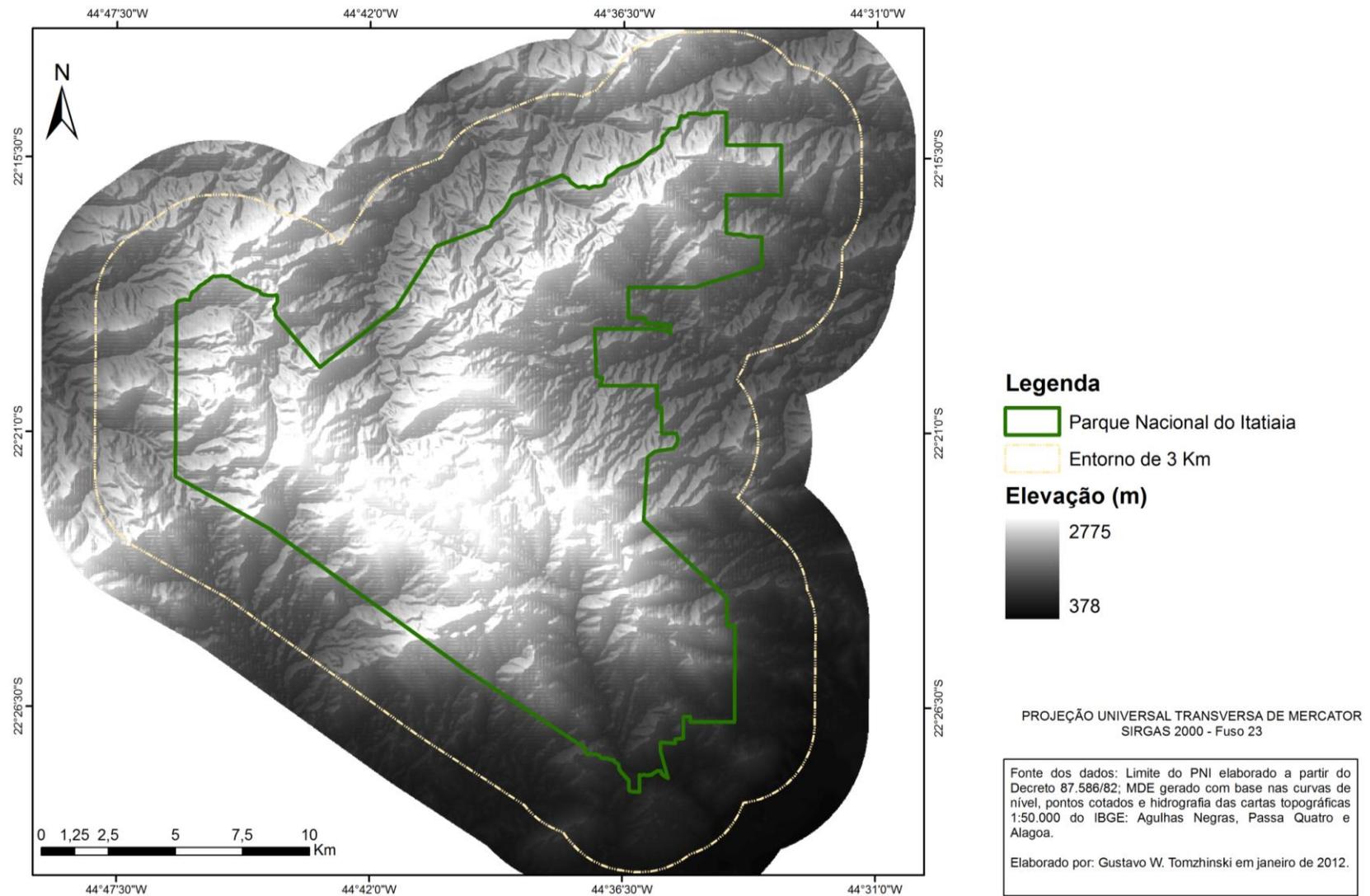


Figura 29 – Modelo Digital de Elevação gerado para a Área de Estudo

7.1.2. Orientação das Encostas e Incidência de Radiação Solar

Em estudo sobre o significado ecológico da orientação das encostas no Maciço da Tijuca, Oliveira *et al.* (1995) destacam que as encostas voltadas para o Norte recebem os primeiros e os últimos raios solares, o que ocasiona uma maior e mais rápida perda de umidade na serrapilheira, resultando numa maior suscetibilidade a ocorrência de incêndios. No caso do Maciço da Tijuca, assim como ocorre no Itatiaia, também foi observada a relação entre orientação das encostas e precipitação, com as encostas voltadas para o sul apresentando maior pluviosidade em função da influência da orografia no regime de chuvas, condicionado pelas massas de ar úmido vindas do mar.

Chuvieco & Congalton (1989) e Koproski *et al.* (2011) utilizaram a orientação da encosta em modelos para mapeamento de risco de incêndios na costa mediterrânea da Espanha e na região noroeste do Paraná, respectivamente. Silva *et al.* (2009) utilizaram a orientação das encostas, simplificando o mapeamento em duas classes: encostas orientadas para o norte e para o sul como um dos componentes do mapeamento de potencialidade de ocorrência de incêndios para o Parque Nacional do Itatiaia.

Sousa (2009) e Coura *et al.* (2009) expõem as vantagens de utilizar o mapeamento direto da incidência de radiação solar em substituição à simples orientação das encostas, fornecendo informações mais detalhadas e suprimindo omissões do primeiro método, como as áreas planas do Planalto e as encostas sombreadas por outras em determinado período do dia em função do relevo acidentado da Área de Estudo.

Desta forma decidiu-se por utilizar a incidência de radiação solar ao invés da orientação das encostas. Apesar de ser uma variável climática, está relacionada entre as geomorfológicas pela sua relação intrínseca com o relevo e por estar substituindo a orientação das encostas. A operacionalização foi feita através da ferramenta *Area Solar Radiation* do software ARCGIS®, que calcula a incidência total anual de radiação solar em determinada área, considerando o ângulo de incidência nas diferentes épocas do ano, latitude, efeitos atmosféricos e fatores relacionados à topografia, como elevação, declividade, orientação da encosta e sombra causada pelo relevo. O cálculo foi feito para os anos de 2001 a 2011, verificando-se não haver diferença entre os valores obtidos dentro desse período, portanto o mapa de radiação foi elaborado utilizando a incidência total de radiação de 2011 (Figura 30).

MAPA DE CLASSES DE INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO SOLAR

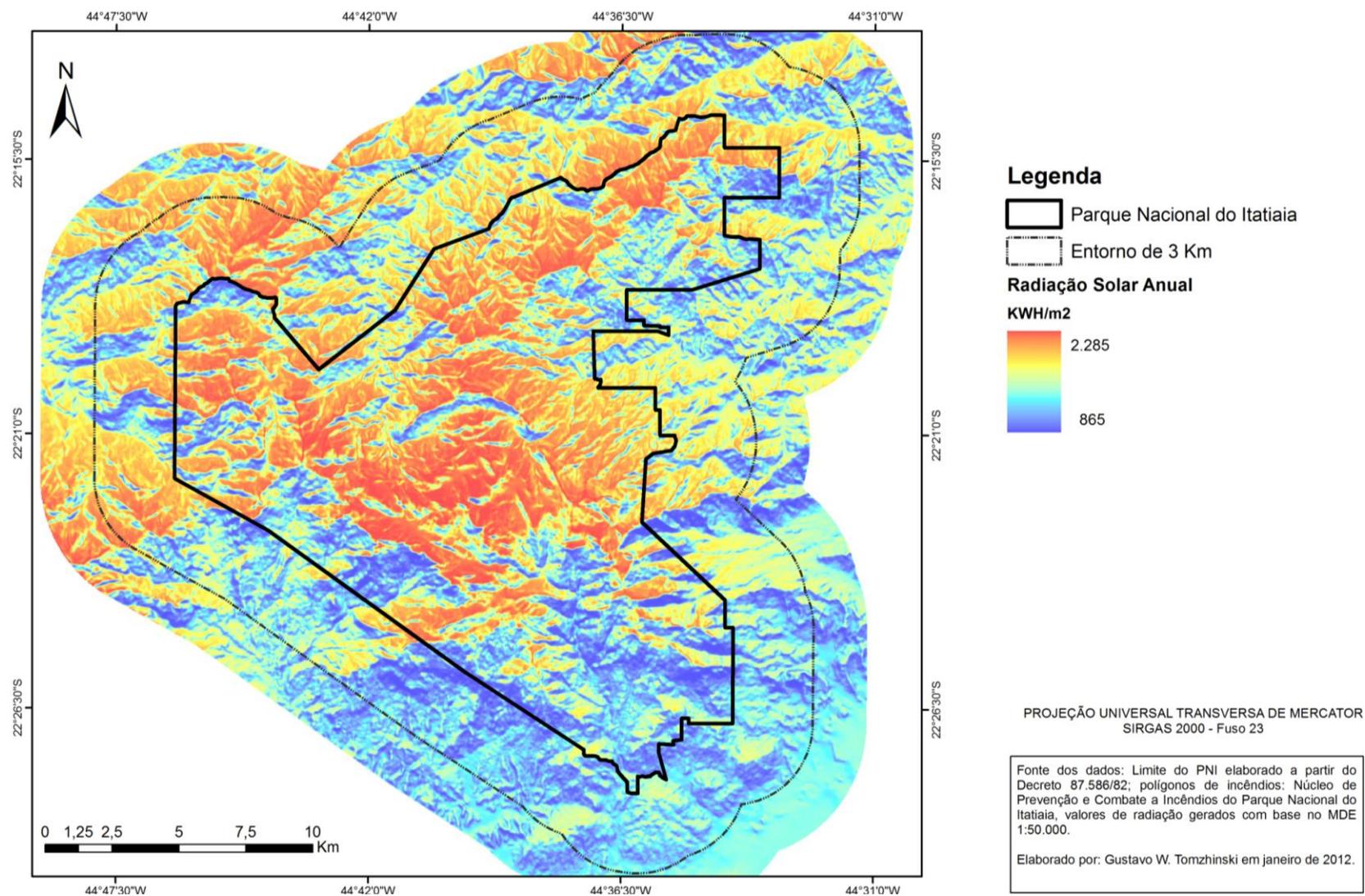


Figura 30 – Mapa de incidência de radiação solar na Área de Estudo

Em seguida, calcularam-se os valores médios de incidência anual de radiação para cada polígono de incêndio estudado, que foram analisados em função das categorias de tamanho de cada um (Figura 31).

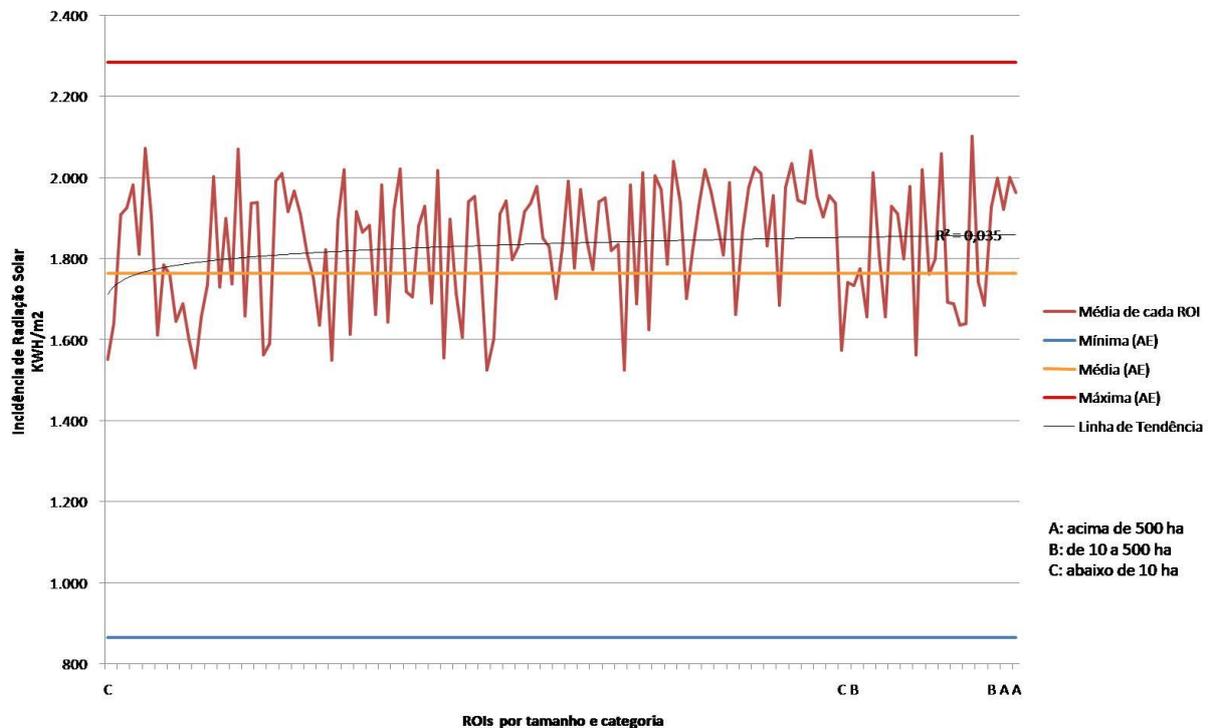


Figura 31 – Incidência média de radiação solar para os polígonos de incêndios estudados em comparação com os valores máximo, mínimo e médio encontrados para toda a Área de Estudo (AE).

A partir da análise do gráfico acima, observa-se que todos os incêndios analisados atingiram áreas que recebem insolação média entre 1.524 KWH/m² e 2.103 KWH/m². As áreas abaixo dessa faixa possivelmente retêm umidade suficiente para torná-las menos susceptíveis à ocorrência de incêndios. Uma explicação possível para o limite superior é a de que as áreas mais elevadas e que conseqüentemente recebem maior insolação, são afloramentos rochosos, com pouco ou nenhum material combustível.

Nota-se também, que há uma grande variação na relação entre o tamanho das áreas queimadas e a incidência de radiação solar. Isso pode ser explicado pela influência das outras variáveis geológicas relacionadas aos incêndios. No entanto, mesmo assim percebe-se uma tendência de que as áreas onde ocorrem os maiores incêndios são aquelas que recebem maior insolação. Essa observação é corroborada pelas análises quantitativas e qualitativas que são apresentadas a seguir.

Através do método de quebra natural dos valores do histograma obtido do arquivo *raster* de incidência de radiação solar (Figura 32), foram obtidos valores limites para uma possível classificação desse fator com relação à ocorrência de incêndios no PNI.

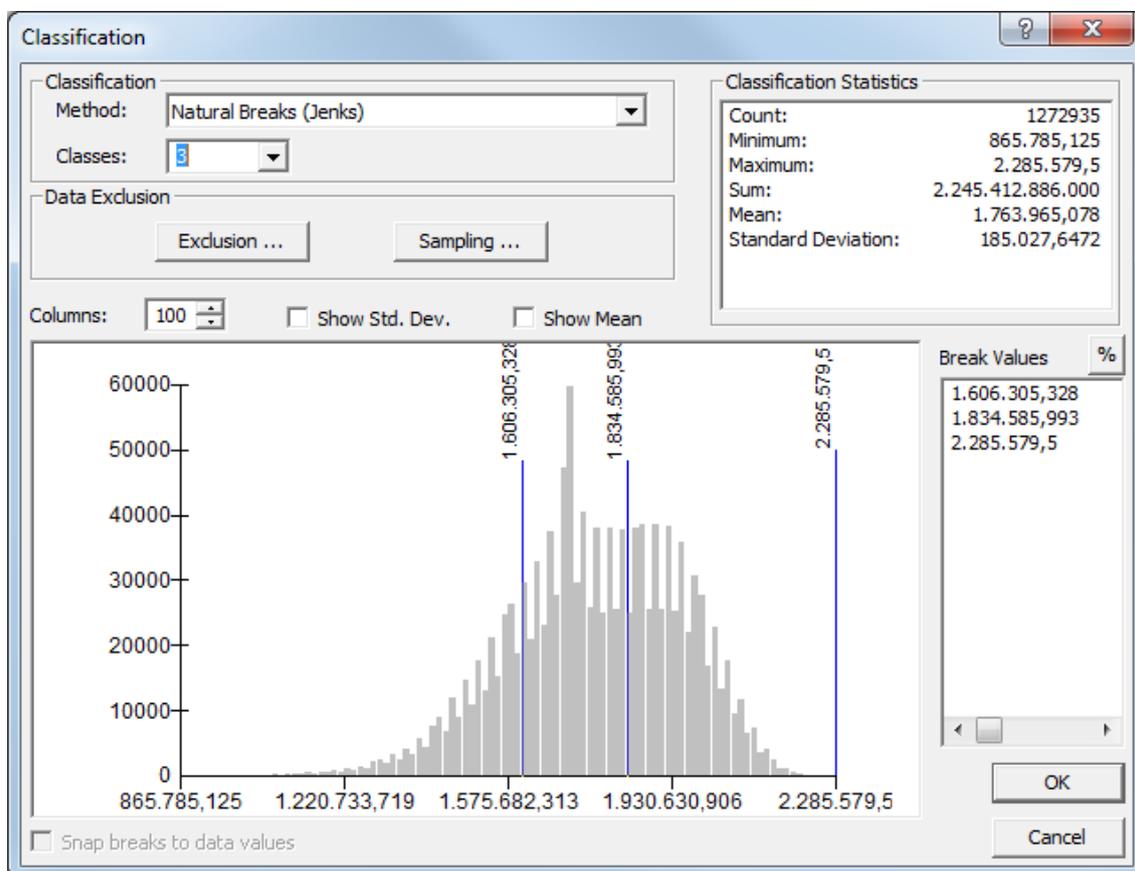


Figura 32 – Divisão de classes pela técnica de quebra natural do histograma de valores de radiação.

Estes valores foram testados com relação ao número de ocorrências de incêndios e à área atingida. Os resultados são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Distribuição da quantidade de incêndios e da área atingida em função dos limites de classes de incidência de radiação solar propostos.

| | Quantidade de ROIs | | Área atingida (Ha) | |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|
| Polígonos com radiação média até 1.606,3 KWH/m ² | 13 | 9% | 40 | 1% |
| Polígonos com radiação média de 1.606,4 a 1.834,5 KWH/m ² | 56 | 38% | 435 | 12% |
| Polígonos com radiação média superior a 1834,5 KWH/m ² | 78 | 53% | 3.024 | 86% |
| TOTAL | 147 | 100% | 3.499 | 100% |

A partir dos dados acima, foram adotadas essas faixas de valores para as classes baixa, média e alta incidência de radiação solar para a ocorrência de incêndios na Área

de Estudo. Na análise da distribuição dos polígonos de incêndio dentro dessas classes, constatou-se que todos os incêndios maiores que 500 ha ocorreram em área de alta incidência de radiação, bem como elevado percentual dos incêndios das categorias B e C (Tabela 13).

Tabela 13 – Distribuição do número de ROIs nas classes de incidência de radiação, segundo as classes de tamanho previamente estabelecidas.

| | A | | B | | C | | Geral | |
|----------------------------------------------------------------------|----------|------|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|
| Polígonos com radiação média até 1.606,3 KWH/m ² | 0 | 0% | 1 | 4% | 12 | 9% | 13 | 9% |
| Polígonos com radiação média de 1.606,4 a 1.834,5 KWH/m ² | 0 | 0% | 15 | 60% | 41 | 35% | 56 | 38% |
| Polígonos com radiação média superior a 1834,5 KWH/m ² | 3 | 100% | 9 | 36% | 66 | 56% | 78 | 53% |
| TOTAL | 3 | | 25 | | 118 | | 147 | |

A comparação das áreas atingidas pelos incêndios estudados com a Área de Estudo em função das classes de radiação foi representada através da Figura 33 e o mapa com essas classes na Figura 34.

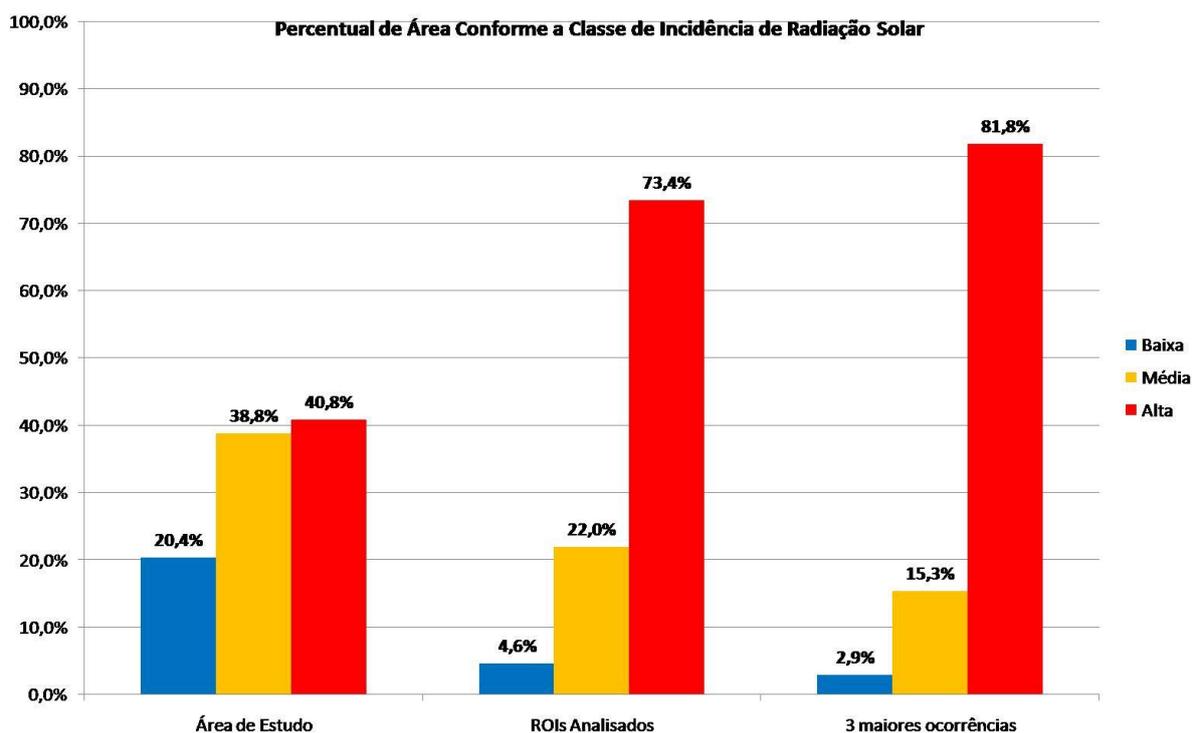


Figura 33 – Gráfico do percentual de área conforme as classes de incidência de radiação solar para toda a Área de Estudo, para os polígonos dos ROIs analisados e para as três maiores ocorrências.

MAPA DE CLASSES DE INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO SOLAR

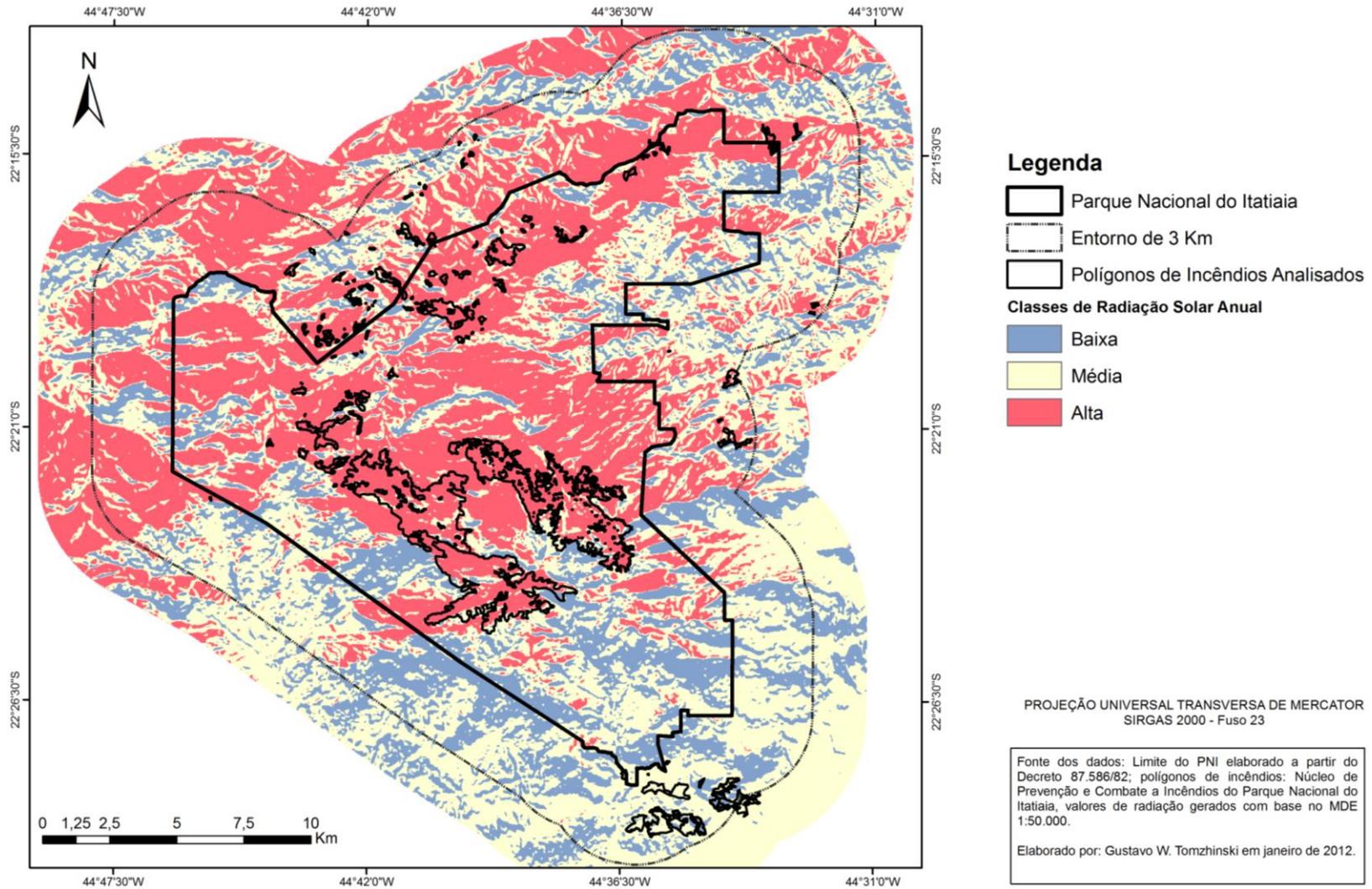


Figura 34 – Mapa de classes incidência de radiação solar na Área de Estudo

Apesar de o percentual de áreas com alta incidência de radiação solar já ser maior do que as áreas de média e baixa incidência para toda a Área de Estudo (AE), a proporção aumenta muito quando se analisa as áreas atingidas por incêndios, especialmente onde ocorreram os de grande magnitude. É importante ressaltar que os intervalos de valores e classes de radiação estabelecidas são específicos para o PNI, já que a radiação depende da localização no globo e do relevo de cada local, tanto em função do sombreamento quanto da altitude, porém podem servir de referência para outras áreas.

7.1.3. Forma do relevo

A forma do relevo está diretamente ligada aos processos de transporte e acúmulo de água e, portanto, à umidade dos combustíveis. Neste aspecto, as formas côncavas se caracterizam como zonas de convergência de fluxo e, conseqüentemente, de maior concentração de umidade, ao passo que as convexas condicionam a formação de zonas de divergência de água e baixa umidade (SILVA, 2009).

Dentre diversas maneiras de se classificar a morfologia, pode ser destacada a interpretação da curvatura vertical e horizontal. A primeira está relacionada à identificação de formas côncavas, convexas e retilíneas assumindo a análise de um perfil topográfico, por isso esse tipo de interpretação é denominado observação em perfil.

Já a curvatura horizontal, que utilizaremos nesse trabalho, expressa o formato da vertente quando observada em projeção ortogonal e pode ser descrita como a variação da orientação das vertentes ao longo de uma determinada distância, caracterizando formas côncavas, convexas e planares. Ao percorrer uma curva de nível num mapa, pode-se perceber a situação de divergência (forma convexa) se o lado interno da curva apontar para montante e de convergência (forma côncava), se for o contrário (VALERIANO, 2008). Quando as curvas assumem uma forma retilínea e paralela às vizinhas é caracterizada uma forma planar, que pode ser de maior dispersão do fluxo d'água em situações de alta declividade ou de menor dispersão quando situadas em área de baixa declividade e relevo aplainado. Entretanto, nos dois casos são áreas de transição de fluxo d'água. Esses conceitos podem ser mais bem compreendidos através da Figura 35.

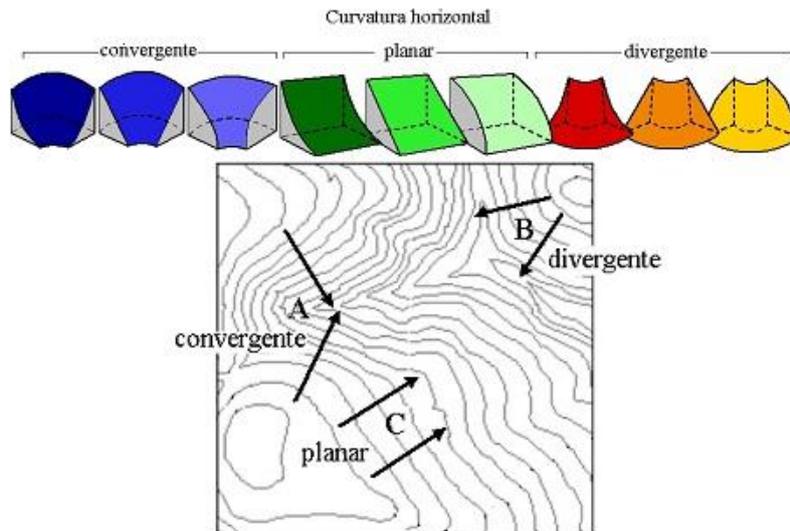


Figura 35 – Ilustração da curvatura horizontal (adaptado de VALERIANO, 2008).

O mapeamento dessas variáveis geomorfológicas foi derivado do MDE gerando um arquivo *raster* com os valores da curvatura horizontal expressos em graus por metro ($^{\circ}/m$), que foi reclassificado em três categorias com base no intervalo de $-0,038^{\circ}/m$ a $+0,051^{\circ}/m$ para a classe planar, intermediária entre a côncava negativa e a convexa positiva, conforme sugerido por Valeriano (2008). Estes valores foram estipulados com base em testes para o projeto TOPODATA (INPE, 2008), que gerou um produto reamostrado (30 m) por krigagem dos MDE derivados do SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission). Esta classificação teve uma boa correspondência quando analisada visualmente para a Área de Estudo. O resultado foi verificado com base nas curvas de nível e na hidrografia e pode ser observado na Figura 36.

A partir da classificação acima, foi verificado se cada polígono atingiu prioritariamente zonas de convergência, planares ou divergência. O resultado aponta para uma maior suscetibilidade de incêndios nas áreas prioritariamente divergentes ou convexas, como havia sido sugerido por Silva (2006) e Sousa (2009). Os resultados podem ser verificados na Tabela 14.

Tabela 14 – Distribuição das ocorrências de incêndios analisadas em função da curvatura horizontal, distribuídos nas categorias de tamanho previamente estabelecidas.

| | A | | B | | C | | Geral | |
|----------------------------------------------|----------|------|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|
| Incêndios em áreas majoritariamente côncavas | 0 | 0% | 1 | 4% | 24 | 20% | 25 | 17% |
| Incêndios em áreas majoritariamente planares | 0 | 0% | 2 | 8% | 1 | 1% | 3 | 2% |
| Incêndios em áreas majoritariamente convexas | 3 | 100% | 22 | 88% | 94 | 79% | 119 | 81% |
| TOTAL | 3 | | 25 | | 119 | | 147 | |

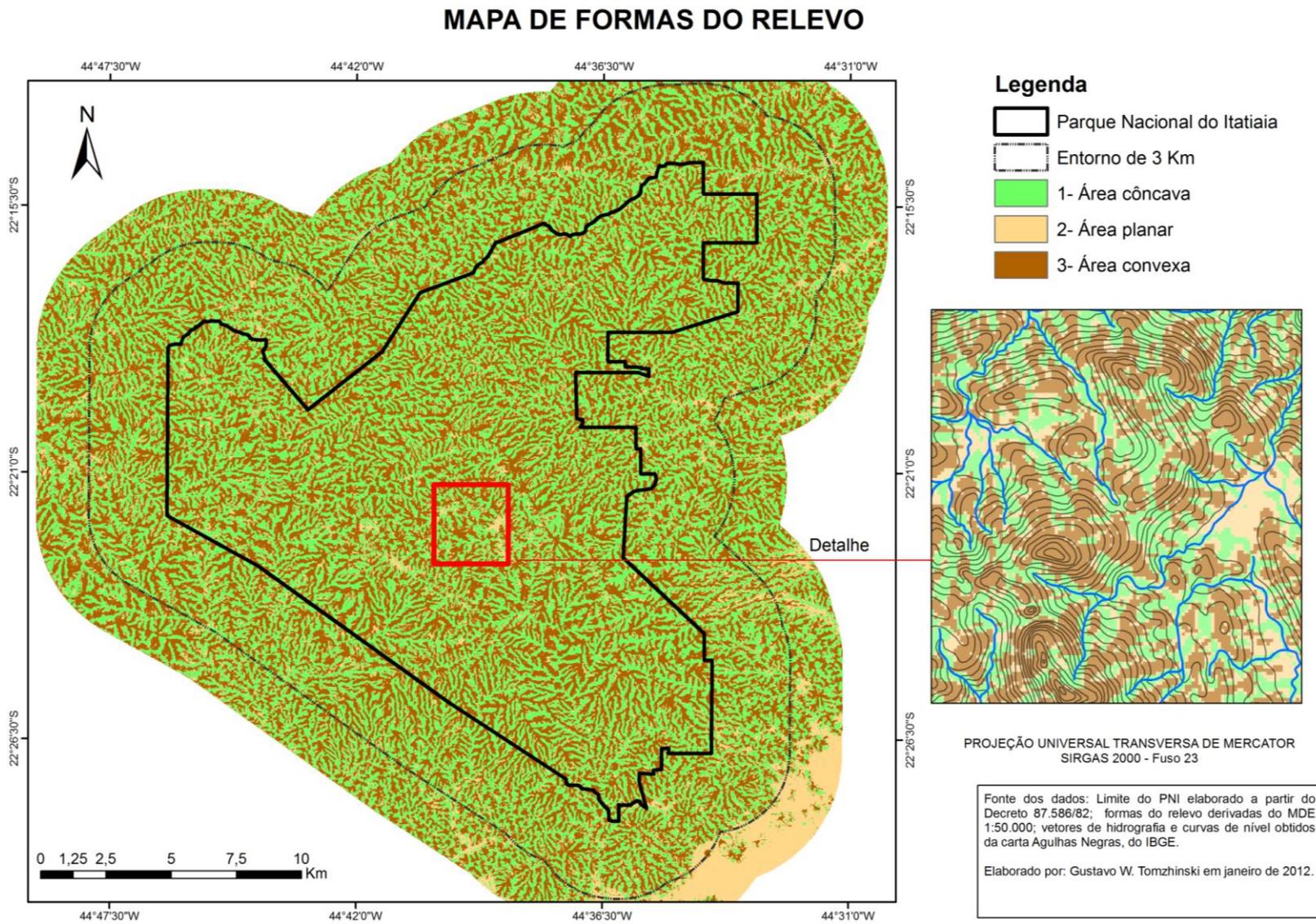


Figura 36 – Mapa de formas do relevo

Quando se compara a distribuição de área atingida pelos incêndios estudados em cada uma das categorias, percebe-se que a tendência observada anteriormente se mantém, embora menos acentuadamente. Inclusive apresentando um percentual maior de áreas convexas e planares atingidas do que o percentual observado na Área de Estudo como um todo (Figura 37).

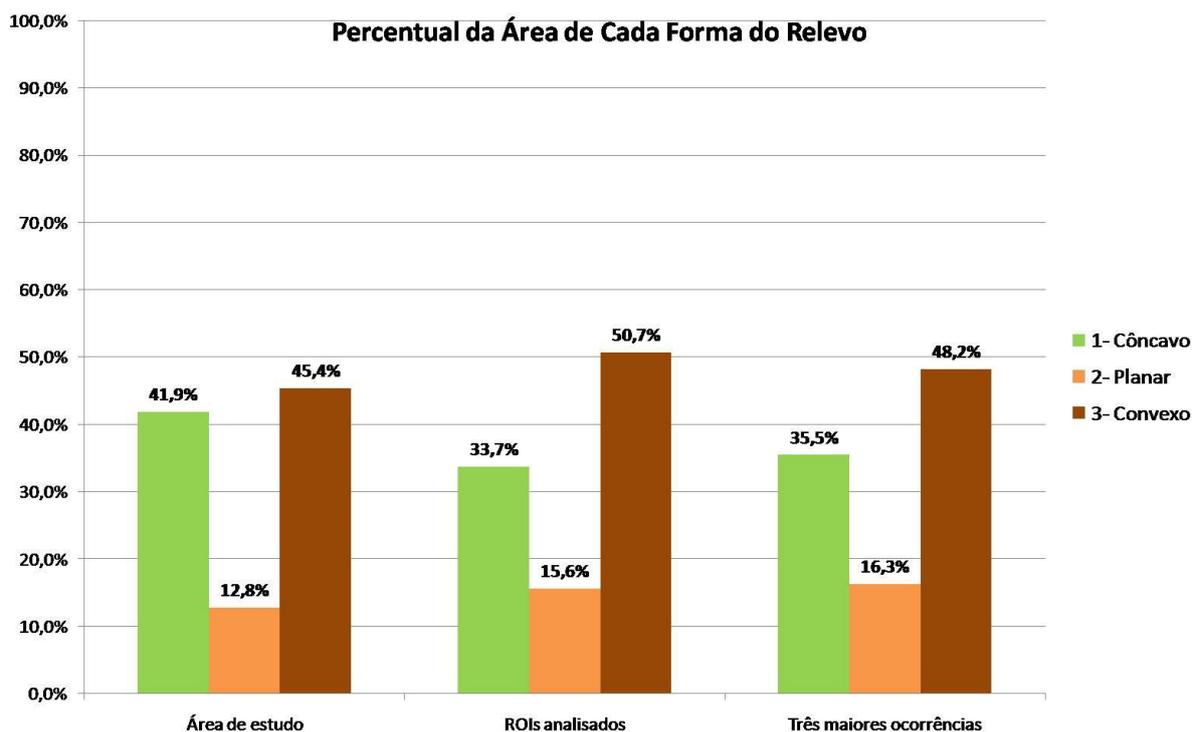


Figura 37 – Gráfico comparativo do percentual de área de cada forma de relevo na Área de Estudo, nos polígonos de incêndios analisados e nas três maiores ocorrências.

Por outro lado, cabe ressaltar que a maior suscetibilidade nas áreas convexas não é determinante, uma vez que, especialmente nos grandes incêndios, o fogo atinge inclusive áreas alagadas, como observado no grande incêndio de 2007. Desta forma, analisaram-se separadamente os três maiores incêndios estudados, localizados na região do Planalto, onde foram registrados todos os incêndios considerados de grande porte nos últimos 23 anos. Os resultados foram similares ao total dos ROIs analisados, com 48% e 16% de área convexa e planar atingidas, respectivamente.

Vale chamar a atenção para o fato de que as áreas planares na região do Planalto estão majoritariamente relacionadas a áreas de baixa declividade, entretanto se caracterizam como áreas de dispersão de fluxo d'água, o que corrobora com a baixa umidade.

Esta baixa umidade é acentuada por uma série de outros fatores, como solos rasos, fisionomia aberta da vegetação, estrutura radicular dessas feições vegetacionais, dentre outros.

7.1.4.DECLIVIDADE

É consenso entre diversos autores que a declividade é dos fatores que influenciam o comportamento do fogo, sendo especialmente importante na compreensão dos grandes incêndios (WHELAN, 1995; BOVIO & CAMIA, 1997; CHUVIECO *et al.*, 1997). Em função disso tem sido considerado como componente de diversas metodologias de cenários de avaliação relacionados ao risco de ocorrência de incêndios ou modelos de propagação do fogo.

Um arquivo *raster* de declividades para a Área de Estudo foi gerado a partir do MDE, em função do qual se verificou que a AE apresenta uma declividade variando de 0 a 57°, com uma média de 20,2° (desvio padrão (σ) = 8,7°), representada através do mapa de declividade (Figura 38). Diversos autores relacionam faixas de declividades com o risco de incêndios e propõem limites para esses intervalos (Tabela 15). A maioria dos valores propostos na literatura se encontra expressa em percentual de inclinação, portanto os mesmos foram transformados para graus a fim de serem comparados ao mapeamento.

Tabela 15 – Classes de declividade relacionadas ao risco de ocorrência de incêndios propostas por Chuvieco & Congalton (1989); Pezzopane *et al.* (2001); Dalcumune & Santos (2005); Koproski *et al.* (2011).

| Risco/ Autor | Chuvieco & Congalton | Pezzopane <i>et al.</i> | Dalcumune & Santos | Koproski <i>et al.</i> |
|--------------|----------------------|-------------------------|--------------------|------------------------|
| Baixo | 0 a 6,83° | 0 a 10° | 0 a 6,83° | 0 a 8,4° |
| Moderado | 6,8 a 21,8° | 10 a 20° | 6,8 a 21,8° | 8,5 a 13,9° |
| Alto | maior que 21,8° | maior que 20° | maior que 21,8° | 14,0 a 19,2° |
| Muito Alto | | | | 19,3 a 24,2° |
| Extremo | | | | maior que 24,2° |

Como parâmetro de comparação com a classificação da forma do relevo usualmente adotada, é interessante também considerar a classificação utilizada pela EMBRAPA (1999, adaptado de SOUSA JÚNIOR, 2008), onde o relevo é classificado em função da declividade como: plano (0° a 1,7°), suave ondulado (1,8° a 4,5°), ondulado (4,6° a 11,3°), forte ondulado (11,4° a 24,2°), montanhoso (24,3° a 35,8°) e escarpado (35,9° a 45°).

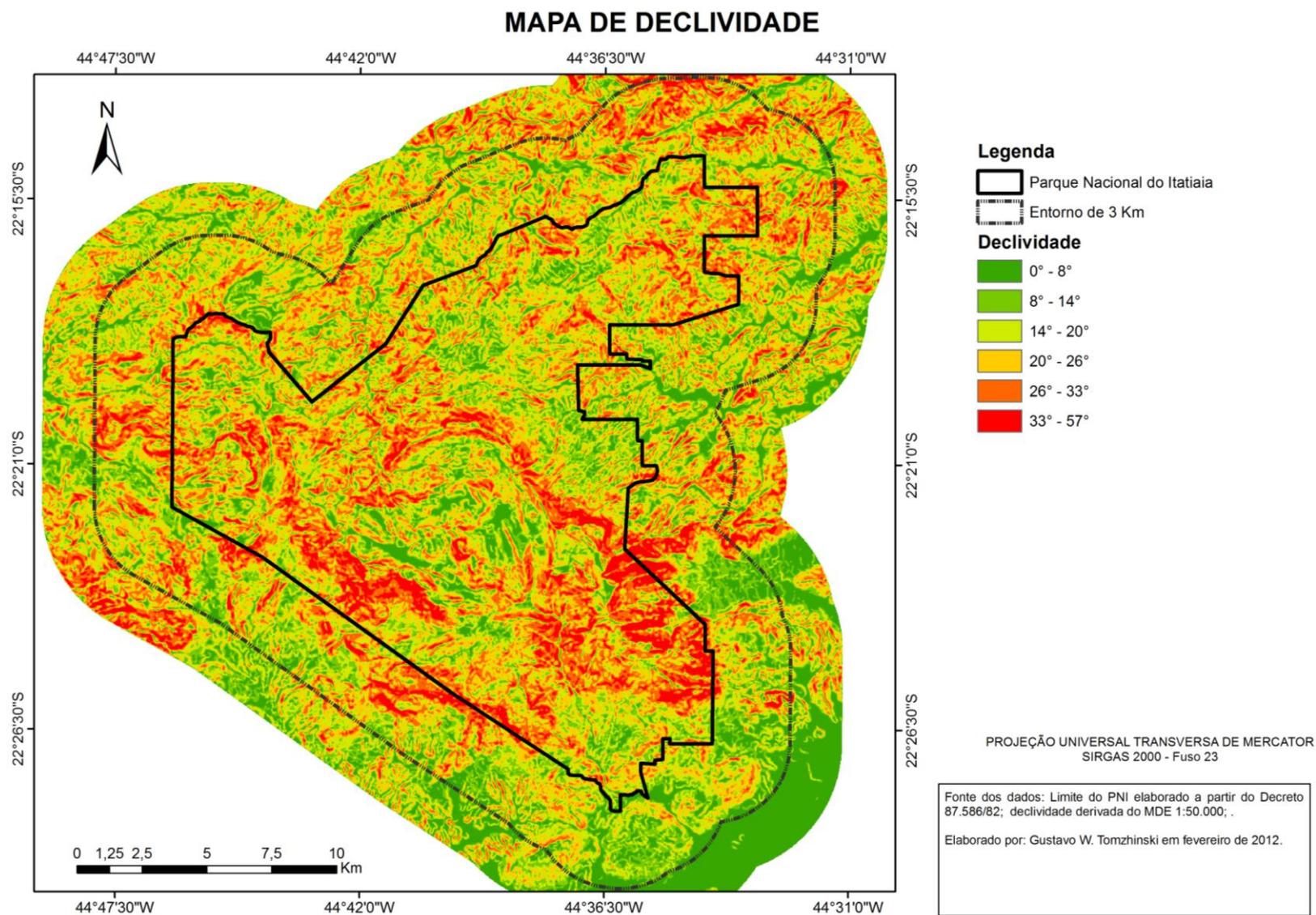


Figura 38 – Mapa de declividade para a área de estudo

Através de técnicas de análise espacial, foram calculadas as declividades médias para cada polígono de incêndio analisado. Tomando como parâmetro os valores encontrados na literatura e a quebra natural dos valores encontrados para toda a Área de Estudo, verificou-se a distribuição dos incêndios dentro de sete faixas de declividade média. O resultado pode ser observado na Tabela 16.

Tabela 16 – Distribuição do número de ROIs conforme a declividade média, segundo as classes de tamanho previamente estabelecidas.

| | A | | B | | C | | Geral | |
|-------------------------------------------------|----------|-----|-----------|-----|------------|-----|--------------|-----|
| Polígonos com declividade média até 8° | 0 | 0% | 2 | 8% | 6 | 5% | 8 | 5% |
| Polígonos com declividade média entre 8° e 12° | 0 | 0% | 6 | 24% | 10 | 8% | 16 | 11% |
| Polígonos com declividade média entre 12° e 16° | 0 | 0% | 3 | 12% | 18 | 15% | 21 | 14% |
| Polígonos com declividade média entre 16° e 18° | 1 | 33% | 5 | 20% | 9 | 8% | 15 | 10% |
| Polígonos com declividade média entre 18° e 20° | 2 | 67% | 1 | 4% | 14 | 12% | 17 | 12% |
| Polígonos com declividade média entre 20° e 24° | 0 | 0% | 4 | 16% | 31 | 26% | 35 | 24% |
| Polígonos com declividade média acima de 24° | 0 | 0% | 4 | 16% | 31 | 26% | 35 | 24% |
| Total | 3 | | 25 | | 119 | | 147 | |

Verifica-se que 48% do total de ocorrências e 32% dos incêndios entre 10 e 500 ha apresentam declividade média acima de 20°, maior inclusive que a média da Área de Estudo, mostrando uma influência da declividade nas ocorrências de fogo. Por outro lado, todas as ocorrências da categoria “A” (maior que 500 ha) estão na faixa de 16 a 20°, o que pode ser explicado pela sua localização no Planalto da Agulhas Negras, que apresenta alta suscetibilidade aos incêndios em função também de outros fatores, como combustibilidade, forma do relevo e incidência de radiação solar.

Para a elaboração do mapa de declividade, as informações de declividade foram generalizadas em duas categorias: até 16° e acima de 16°, as quais foram consideradas respectivamente baixa e alta para a suscetibilidade a ocorrência de incêndios (Figura 39).

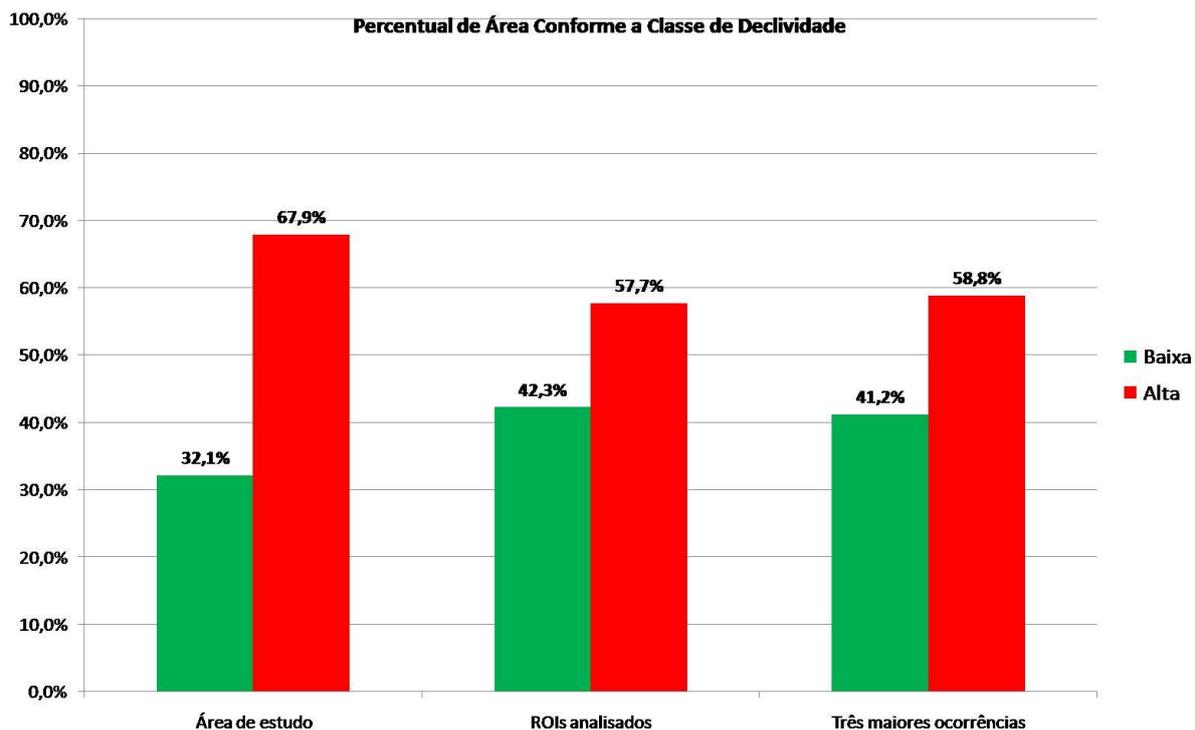


Figura 39 – Gráfico comparativo do percentual de área de cada classe de declividade na Área de Estudo, nos polígonos de incêndios analisados e nas três maiores ocorrências.

O gráfico acima nos mostra que apesar das áreas atingidas pelos incêndios serem maiores nos locais de alta declividade, a proporção entre alta e baixa declividade é menor do que na AE como um todo. A provável explicação para esse fato é o relevo muito acidentado do PNI, que inclui muitas áreas acima de 28° que pouco foram atingidas pelos incêndios por serem áreas com florestas voltadas para a face sul ou de rocha exposta.

O mapa de classes de declividades é apresentado na Figura 40

MAPA DE CLASSES DECLIVIDADE PARA A SUSCETIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS



Figura 40 – Mapa de classes declividade para a suscetibilidade a ocorrência de incêndios

7.1.5. ALTITUDE

A altitude tem sido utilizada por diversos autores como componente de modelos para o zoneamento de risco de incêndios florestais (CHUVIECO & CONGALTON, 1989; CHUVIECO *et al.*, 1997; DALCUMUNE & SANTOS, 2005; KOPROSKI *et al.*, 2011), usualmente relacionando o seu aumento com a redução do risco. Chuvieco & Congalton (1989), em estudos para a região do Mediterrâneo, partem do princípio que em maiores altitudes a disponibilidade de chuva é maior.

Para o Parque Nacional do Itatiaia, o histórico de incêndios e as análises preliminares já apontaram indiscutivelmente as regiões de maior altitude da AE como mais críticas. Para mensurar essa observação, foi elaborado um Mapa de Hipsometria para a Área de Estudo (Figura 41) e calculada a altitude média de cada polígono de incêndio, cuja distribuição em função da altitude se encontra na Tabela 17.

Tabela 17 – Distribuição dos incêndios em função da altitude média da área atingida.

| | A | | B | | C | | Geral | |
|------------------------------------------------------|----------|-----|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|
| ROIs em áreas com altitude média abaixo de 500 m | 0 | 0% | 3 | 12% | 2 | 2% | 5 | 3% |
| ROIs em áreas com altitude média entre 500 e 750 m | 0 | 0% | 7 | 28% | 7 | 6% | 14 | 10% |
| ROIs em áreas com altitude média entre 750 e 1000 m | 0 | 0% | 0 | 0% | 0 | 0% | 0 | 0% |
| ROIs em áreas com altitude média entre 1000 e 1250 m | 0 | 0% | 1 | 4% | 4 | 3% | 5 | 3% |
| ROIs em áreas com altitude média entre 1250 e 1500 m | 0 | 0% | 2 | 8% | 31 | 26% | 33 | 22% |
| ROIs em áreas com altitude média entre 1500 e 1750 m | 0 | 0% | 4 | 16% | 21 | 18% | 25 | 17% |
| ROIs em áreas com altitude média entre 1750 e 2000 m | 0 | 0% | 4 | 16% | 38 | 32% | 42 | 29% |
| ROIs em áreas com altitude média entre 2000 e 2250 m | 1 | 33% | 2 | 8% | 13 | 11% | 16 | 11% |
| ROIs em áreas com altitude média entre 2250 e 2500 m | 2 | 67% | 2 | 8% | 2 | 2% | 6 | 4% |
| ROIs em áreas com altitude média entre 2500 e 2750 m | 0 | 0% | 0 | 0% | 1 | 1% | 1 | 1% |
| ROIs em áreas com altitude média acima de 2750 m | 0 | 0% | 0 | 0% | 0 | 0% | 0 | 0% |
| TOTAL | 3 | | 25 | | 119 | | 147 | |

A análise da distribuição dos incêndios em função de sua altitude média mostra uma grande concentração na faixa entre 1.000 e 2.000 m, com 71% de todos os incêndios analisados e 39% dos incêndios maiores do que 10 ha. Para objetivar a análise os dados acima foram então generalizados em três faixas de altitude, conforme a Tabela 18.

Tabela 18 – Simplificação da distribuição do número de ROIs em função da altitude média, segundo as categorias de tamanho previamente estabelecidas.

| | A | | B | | C | | Geral | |
|------------------------------------------------------|----------|------|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|
| ROIs em áreas com altitude média abaixo de 1000 m | 0 | 0% | 10 | 40% | 9 | 8% | 19 | 13% |
| ROIs em áreas com altitude média entre 1000 e 2000 m | 0 | 0% | 11 | 44% | 94 | 79% | 105 | 71% |
| ROIs em áreas com altitude média acima de 2000 m | 3 | 100% | 4 | 16% | 16 | 13% | 23 | 16% |
| TOTAL | 3 | | 25 | | 119 | | 147 | |

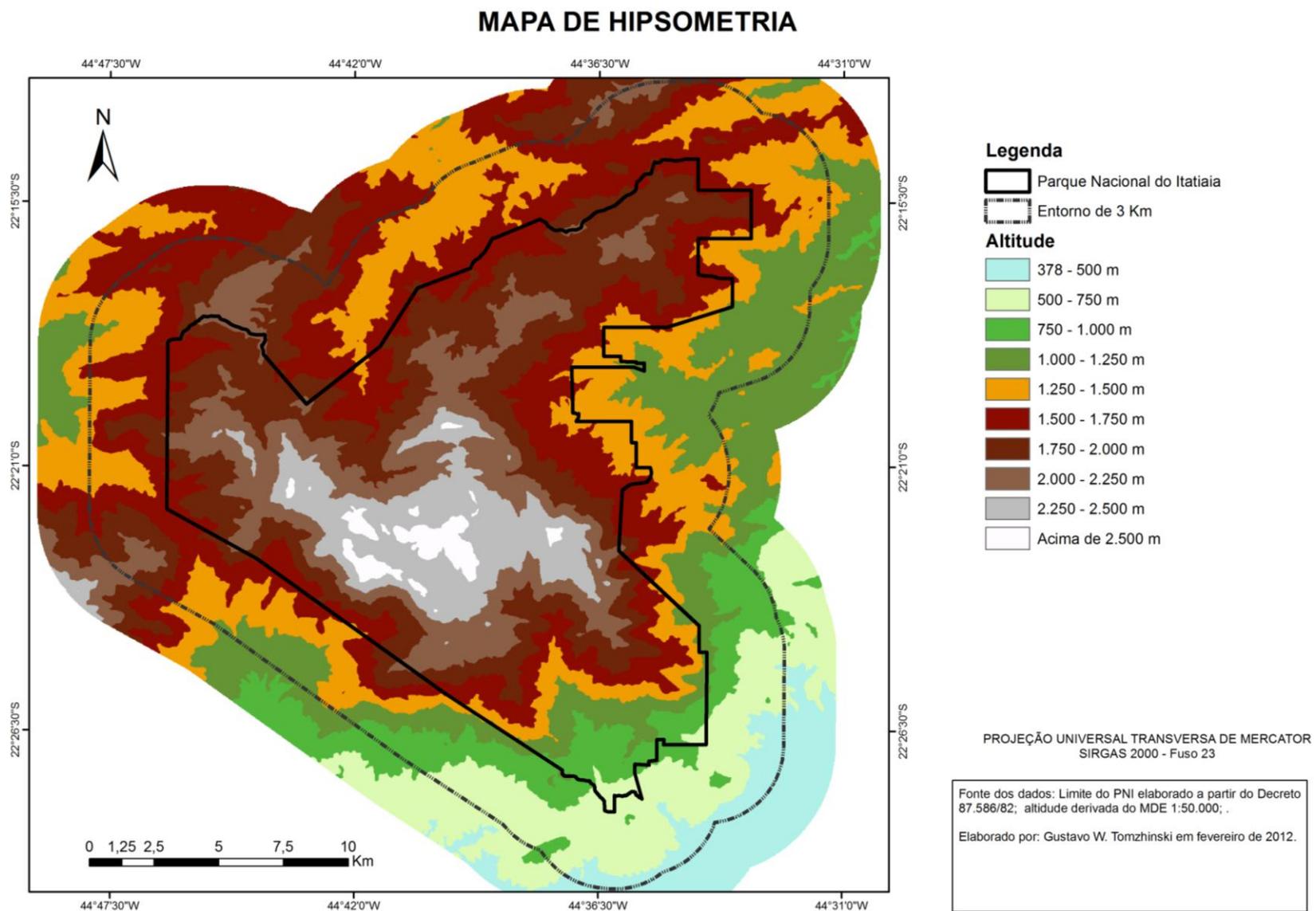


Figura 41 – Mapa de hipsometria da Área de Estudo

A Figura 42 mostra o resultado da análise quando se considerou a área atingida ao invés do número de ocorrências.

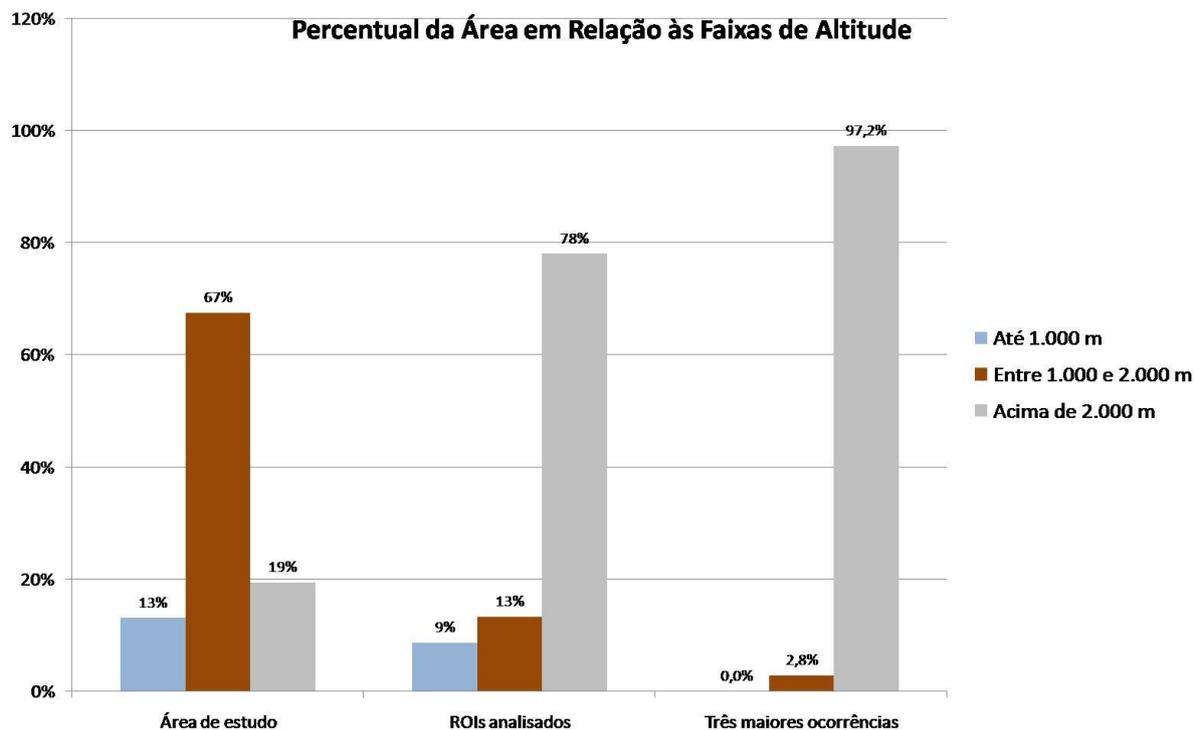


Figura 42 – Gráfico da área atingida pelos incêndios em função da altitude.

Quando se compara o número de incêndios com a Área de Estudo, verifica-se que a distribuição de ambos em função das faixas de altitudes são similares. No entanto quando se analisa a área atingida pelos incêndios verifica-se uma maior concentração na faixa acima dos 2.000, especialmente em função da ocorrência dos grandes incêndios no Planalto, como já foi observado nas análises anteriores. Essa observação aponta para uma maior suscetibilidade acima dos 2.000 m, onde se observam maiores áreas contínuas de campo. Entre 1.000 e 2.000 m o número de ocorrências é maior possivelmente devido à maior presença humana e às questões fundiárias. No mapa de classes de altitude apresentado na Figura 43 percebe-se bem a distribuição das ocorrências conforme observado acima.

Para a Área de Estudo, nas maiores altitudes temos um acumulado pluviométrico maior (BRADE, 1956 e seção 7.3), menores temperaturas e um ar mais rarefeito (menos oxigênio para a combustão), que são condições teoricamente desfavoráveis ao fogo. Entretanto nessas regiões ocorre também uma vegetação com fisionomia mais aberta (DUSÉN, 1955; BRADE, 1956), propiciando uma menor retenção da umidade e maior ocorrência de geadas na época seca, resultando num significativo ressecamento da vegetação, especialmente a campestre.

MAPA DE CLASSES DE ALTITUDE PARA A SUSCETIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS

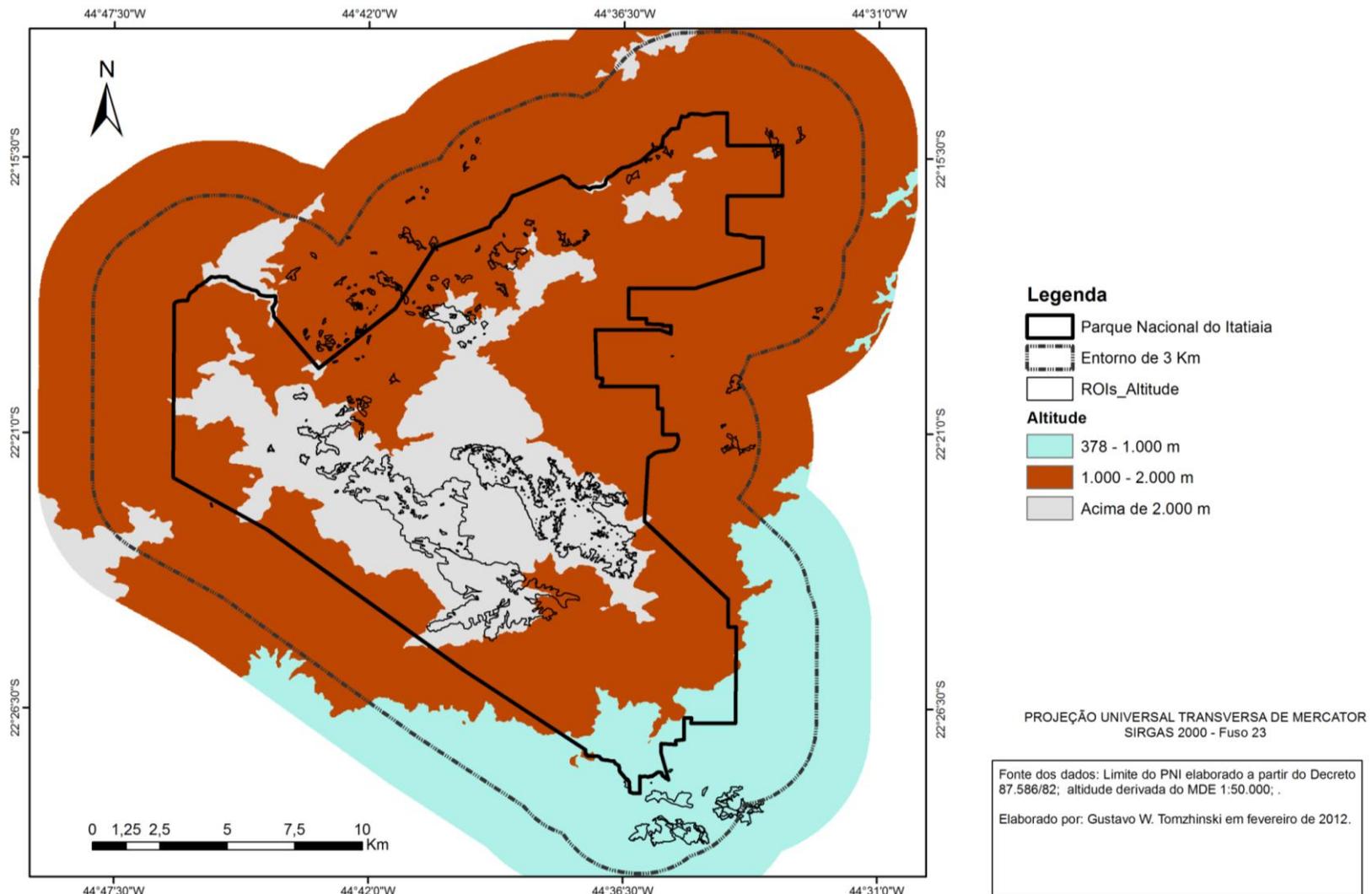


Figura 43 – Mapa de classes de altitude para a suscetibilidade a ocorrência de incêndios

Os resultados das análises indicam uma relação bastante clara da ocorrência de incêndios com a altitude, entretanto de forma inversa à relação que foi utilizada por diversos autores em modelos de risco de incêndios. No entanto esse resultado não se deve apenas à variação altitudinal e aos fatores ligados a ela comentados anteriormente, mas é função também das questões fundiárias e sócio-econômicas.

A influência da altitude nos incêndios varia de acordo com cada local, estando fortemente ligada à demais variáveis geológicas e à própria escala da análise. É possível que um estudo mais abrangente que inclua todo o Vale do Paraíba e a Serra da Mantiqueira apresente resultado distinto dos encontrados para a Área de Estudo, já que serão incluídas grandes áreas de menor altitude onde ocorre grande número de incêndios.

7.2.COMBUSTIBILIDADE

A partir do conceito de que a combustibilidade representa quão inflamável é a vegetação ou a sua capacidade de pegar fogo (SILVA, 2006), esta variável foi mapeada através de técnicas de sensoriamento remoto e análises espaciais para a comparação com os polígonos de incêndios.

Considerou-se, portanto que as áreas onde se observa uma dominância de combustíveis leves e menor retenção de umidade, como os campos, apresentam maior combustibilidade, enquanto as áreas com combustíveis mais pesados e maior retenção de umidade, como as florestas, representam uma menor combustibilidade.

7.2.1.Dados de entrada

Como base para a análise da combustibilidade, além do material cartográfico citado anteriormente, foram utilizados os seguintes produtos de Sensoriamento Remoto:

7.2.1.1.Ortofotos

As ortofotos do projeto de mapeamento na escala 1:25.000 do Estado do Rio de Janeiro foram cedidas pelo IBGE para o Parque Nacional do Itatiaia, integrando o seu Sistema de Informações Geográficas (SIG). As imagens foram, em sua origem, processadas por fotogrametria digital, com apoio de campo pela técnica de DGPS (*Differential Global Positioning System*) e resolução de 1m. Para a AE foram utilizadas imagens de vôos em julho de 2006 e agosto de 2009.

Este material constituiu importante fonte de referência para o trabalho, tanto para a correção das demais imagens utilizadas, quanto para complementação das classificações supervisionadas através da identificação visual de feições. No entanto, em função de sua cobertura abranger basicamente o Estado do Rio de Janeiro, sua utilização foi limitada apenas a parte da Área de Estudo.

7.2.1.2.Mosaico IKONOS

O mosaico processado de imagens do satélite IKONOS foi gerado pela empresa HIPARC para o PNI. Este mosaico foi elaborado a partir de imagens brutas coletadas em abril de 2011, as quais foram corrigidas radiometricamente e geometricamente e ortorretificadas a partir de pontos de controle de campo e das informações cartográficas disponíveis (HIPARC, 2011).

O produto utilizado nesse trabalho resulta da fusão das bandas vermelho, verde, azul e infravermelho próximo com a banda pancromática, gerando uma imagem em cores com resolução espacial de 1 metro e ortorretificação compatível com a escala 1:10.000 (HIPARC, 2011).

Este material abrange toda a área do Parque e seu entorno num raio de 5 km e, assim como as ortofotos, foi utilizado como base para a correção das imagens utilizadas na classificação supervisionada e complementação dessa através de análise visual.

7.2.1.3.Imagens AVNIR

O AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2) é um sensor de 4 bandas espectrais, que atua na faixa do visível e no Infra Vermelho próximo com resolução espacial de 10 m, colorido, desenvolvido para observação das áreas continentais e litorâneas e indicado para todas as aplicações temáticas que dizem respeito ao meio ambiente, vegetação, agricultura, recursos renováveis e não renováveis. Este sensor se encontra a bordo do satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite), lançado pela Agência de Exploração Aeroespacial do Japão em janeiro de 2006 (EMBRAPA, 2011).

O PNI adquiriu junto ao IBGE as seguintes imagens:

- ALAV2A185324050 de 17/07/2009;
- ALAV2A245714050 de 04/09/2010.

7.2.1.4. Correção das imagens

As imagens AVNIR utilizadas são do nível 1B2-G, que já foram geometricamente corrigidas com os parâmetros orbitais e não podem mais ser ortorretificadas segundo modelos físicos específicos. Ainda assim estas imagens apresentam sensível deslocamento nas partes altas do Parque, em função do acentuado relevo da Área de Estudo.

Com o objetivo de reduzir as distorções ocasionadas pelo relevo, foi realizada a correção da imagem por funções racionais, utilizando-se o módulo *OrthoEngine* do software Geomatica® 10.2 da empresa PCI Geomatics, licenciado para o Laboratório Espaço de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais da UFRJ. Inicialmente foi corrigida a imagem de 2010.

Para a correção foram selecionados, na imagem IKONOS ortorretificada, 28 pontos bem distribuídos na área do Parque e entorno de 5 km. Estes pontos tiveram sua altitude determinada através do Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir da base cartográfica 1:50.000, que também foi utilizado para a correção ortométrica.

Foram geradas imagens corrigidas utilizando-se algoritmos com 3, 5, 10 e 14 coeficientes. Em seguida, estas foram testadas utilizando-se 16 pontos de controle bem distribuídos, diferentes dos pontos utilizados anteriormente. Cada um desses pontos foi marcado nas quatro imagens resultantes da aplicação dos quatro coeficientes e tiveram suas distâncias medidas em relação ao respectivo controle, extraído da imagem IKONOS. A Tabela 19 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 19 - Análise dos pontos de controle da correção da imagem AVNIR de 2010.

| No. de Coeficientes | Δx | | | | Δy | | | | Distância | | | |
|---------------------|------------|------|-----|----------|------------|------|-----|----------|-----------|------|------|----------|
| | Mín | Máx | Méd | σ | Mín | Máx | Méd | σ | Mín | Máx | Méd | σ |
| 3 | 1,0 | 13,0 | 5,5 | 4,2 | 1,0 | 16,0 | 6,3 | 3,6 | 1,5 | 20,2 | 8,7 | 4,8 |
| 5 | 1,0 | 13,0 | 6,1 | 3,9 | 1,0 | 16,0 | 5,7 | 3,8 | 1,7 | 15,9 | 8,8 | 4,3 |
| 10 | 1,0 | 13,0 | 6,1 | 4,3 | 1,0 | 19,0 | 7,4 | 5,1 | 1,8 | 20,8 | 10,3 | 5,7 |
| 14 | 0,0 | 26,0 | 6,9 | 6,4 | 1,0 | 19,0 | 8,7 | 5,8 | 1,7 | 29,7 | 12,3 | 6,8 |

Todas as quatro imagens corrigidas apresentaram resultados compatíveis com a escala 1:25.000, PEC B (BRASIL, 1984). No entanto, a imagem corrigida com cinco coeficientes apresentou melhor precisão nas partes altas quando comparada com as imagens base e com os polígonos de incêndios do ano de 2010, motivo pelo qual esse parâmetro foi escolhido para a correção das duas imagens utilizadas (2009 e 2010).

Neste projeto, o produto esperado dessas imagens é uma classificação buscando separar basicamente mata e campo, que são classes com pouco grau de confusão. Neste caso, considerou-se que o custo benefício de uma correção atmosférica não seria compensatório, uma vez que não estavam disponíveis as informações necessárias para fazê-la.

7.2.1.5. Classificação da imagem

Para a classificação, foi utilizada a imagem AVNIR do ano de 2010 que, além de ser mais recente, corresponde ao período seco de um ano com baixa pluviosidade, o que acentua a diferenciação das áreas em função de sua combustibilidade, gerando um cenário ideal para o mapeamento de condições críticas para a ocorrência de incêndios.

Para o mapeamento da combustibilidade, inicialmente foi feita a classificação da imagem no *software* InterIMAGE[®], que é uma plataforma gratuita, desenvolvida pela Divisão de Processamento de Imagens - DPI/INPE e pelo Laboratório de Visão Computacional - LVC/PUC-Rio. Este *software* implementa uma estratégia específica de interpretação de imagens, baseada e guiada por uma descrição hierárquica do processo de interpretação, estruturado em uma rede semântica (COSTA *et al.*, 2008).

Em 1903, Dusén (1955) já havia observado que nas áreas elevadas do Itatiaia “campo e mata são abruptamente separados um do outro” e que “de modo geral a vegetação de mata retém o fogo...”. Desta forma foi utilizado este critério para balizar a separação das áreas vegetadas em baixa combustibilidade (formações de floresta) e alta combustibilidade (formações campestres).

Para proceder essa separação foi utilizado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) é um índice de vegetação resultante da razão normalizada das bandas do infravermelho próximo e do infravermelho. O NDVI serve como indicador do crescimento e do vigor da vegetação verde e seus valores variam entre -1 e +1, sendo que os valores mais elevados estão relacionados às áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa, enquanto que os valores menores representam áreas com menor superfície fotossintetizante (PONZONI, 2001; PONZONI & SHIMAKABURO, 2007). Chuvieco *et al.* (2002) encontraram elevada correlação entre o NDVI e o conteúdo de umidade de combustível (*Fuel Moisture Content* - FMC) para vegetação graminóide, o que o torna particularmente útil para o objetivo dessa classificação.

No gradiente vegetacional que ocorre acompanhando o aumento na altitude, observa-se que acima de 1.700 m as formações florestais mais fechadas e de maior umidade são substituídas por fitofisionomias com árvores de porte mais baixo, entremeadas de uma

vegetação arbustiva e densa, com o solo coberto de musgo e pteridófitas (DUSÉN, 1955). Estas formações são mais sujeitas ao fogo do que as florestas higrófilas mais densas, servindo de parâmetro para separar da classe de baixa combustibilidade uma terceira classe que foi considerada, para este estudo, como sendo média combustibilidade.

De acordo com as características das classes estabelecidas foi elaborada uma rede semântica para a classificação da imagem através dos operadores existentes no software InterIMAGE® (Figura 44).

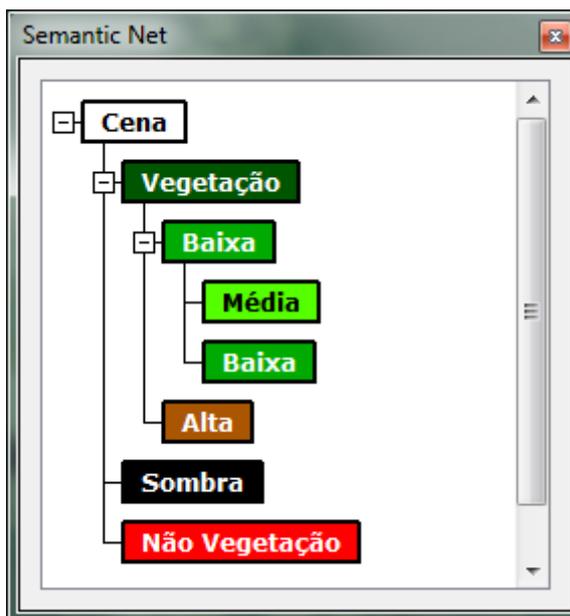


Figura 44 – Rede semântica utilizada para a classificação da combustibilidade no InterIMAGE®. A vegetação foi classificada em alta e baixa combustibilidade, sendo esta última classe novamente dividida em média e baixa.

As classes de combustibilidade foram selecionadas utilizando o segmentador com base no NDVI (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada) com diferentes limiares (0.18 e -0.18) com um peso maior para a classe de baixa que foi dividida em duas outras classes definidas através da inserção de um polígono, extraído da base 1:50.000, que define áreas com altitudes maiores ou iguais a 1.700 m.

A classe sombra foi extraída a partir das características de brilho (média aritmética das quatro bandas) usando operador de aritmética de bandas e limiar entre 0 e 35, enquanto a classe de não vegetação foi extraída a partir de áreas não classificadas.

Posteriormente ao processamento dos dados, os resultados foram exportados em formato *shapefile* para um SIG para ajustes, validação e análises comparativas com os polígonos de incêndios.

7.2.2.Mapeamento e análise da combustibilidade

Os polígonos classificados como não vegetados pelo InterIMAGE[®] constituem basicamente áreas queimadas, sombra e áreas não vegetadas propriamente ditas (afloramentos de rocha, água, áreas urbanas, solo nu). Estes foram verificados visualmente com base na imagem AVNIR e nas ortofotos do ano de 2009 e aqueles que foram identificados como áreas vegetadas foram reclassificados, gerando o resultado final.

Este resultado foi validado através da extração de 30 pontos aleatórios para cada uma das categorias, totalizando 120 amostras. Estas foram classificadas visualmente sem acesso ao resultado da classificação automática e o resultado deu origem a uma matriz de confusão (Tabela 20) a partir da qual foi calculada a acurácia global (87%) e o índice kappa (0,82), que pode ser classificado como excelente, conforme a categorização proposta por Landis e Koch (1977).

Tabela 20 – Matriz de confusão da classificação de combustibilidade.

| | Não veget. | Baixa comb. | Média comb. | Alta comb. | Total |
|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------|
| Não veget. | 73,3% | 0,0% | 0,0% | 26,7% | 100% |
| Baixa comb. | 0,0% | 96,9% | 3,1% | 0,0% | 100% |
| Média comb. | 0,0% | 0,0% | 92,9% | 7,1% | 100% |
| Alta comb. | 6,7% | 6,7% | 3,3% | 83,3% | 100% |

Silva (2006) classificou a área do PNI em áreas não vegetadas, alta combustibilidade e baixa combustibilidade, a partir da aglutinação de classes de uso e cobertura do solo propostas por Richter (2004) com base em classificação de uma imagem LANDSAT e visitas a campo. Os resultados obtidos na classificação da imagem AVNIR foram comparados em arquivos “raster” de mesmo tamanho de pixel, sem levar em consideração as áreas consideradas como não combustíveis em uma e/ou outra classificação, verificando-se uma similaridade de aproximadamente 89% dos “pixel”. Essa diferença de 11% pode ser atribuída às diferentes metodologias utilizadas e à diferença de resolução das imagens. Outro ponto detectado é que Silva (2006) classificou a vegetação do Brejo da Lapa como de baixa combustibilidade e dos capões de altitude como alta combustibilidade e que entendemos que a classificação de ambas seria a contrária à utilizada, i.e., alta e baixa respectivamente.

Apesar do resultado satisfatório da classificação para a Área de Estudo, durante a revisão e validação foram identificados locais onde ela pode ser melhorada, especialmente quando se distancia do Planalto em direção às bordas da AE. O mesmo pode ser observado nas faixas de transição entre mata e campo. Essas observações apontam para a necessidade de refinamento da rede semântica utilizada, o que já era esperado, uma vez que a modelagem do conhecimento para a classificação da combustibilidade compõe uma linha de pesquisa que está em constante processo de aprimoramento e é pauta de outros trabalhos em andamento no GEOCART.

Uma vez validada a classificação foi elaborado o mapa de combustibilidade para a Área de Estudo (Figura 45) e feita a análise de como os polígonos de incêndios estudados se distribuíram em relação a essa variável. A Tabela 21 mostra o resultado da análise levando em conta a classe de combustibilidade majoritária em cada polígono.

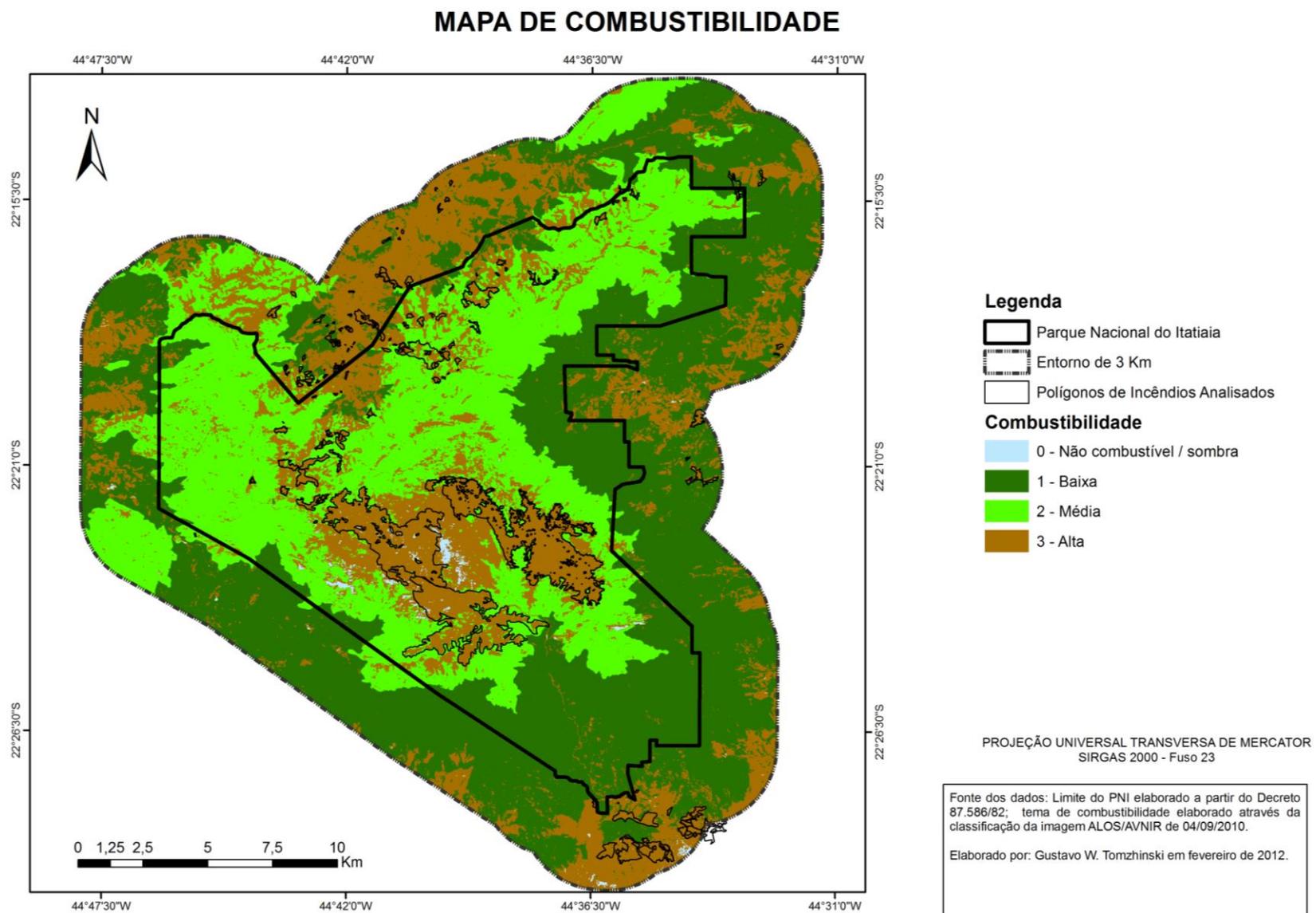


Figura 45 – Mapa de combustibilidade da Área de Estudo

Tabela 21 – Distribuição do número de ROIs em função da classe de combustibilidade majoritária, segundo as categorias de tamanho previamente estabelecidas.

| | A | | B | | C | | Geral | |
|-------------------------------------------|----------|------|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|
| Combustibilidade majoritariamente baixa | 0 | 0% | 1 | 4% | 6 | 5% | 7 | 5% |
| Incêndios em áreas majoritariamente média | 0 | 0% | 0 | 0% | 1 | 1% | 1 | 1% |
| Combustibilidade majoritariamente alta | 3 | 100% | 24 | 96% | 112 | 94% | 139 | 95% |
| TOTAL | 3 | | 25 | | 119 | | 147 | |

O alto percentual de incêndios com áreas de combustibilidade majoritariamente alta confirma a forte relação entre a ocorrência de incêndios e a classificação de combustibilidade. Das sete ocorrências que atingiram áreas majoritariamente de baixa combustibilidade, cinco estão na periferia da AE e duas nos limites do Parque. Seis são de tamanho muito pequeno, abrangendo áreas de transição entre campo e floresta, dificultando a classificação correta nessa escala. A única ocorrência da classe B de tamanho foi uma das áreas periciadas pela equipe do PNI em 2011 e realmente atingiu áreas de floresta ciliar e transição de floresta ombrófila e floresta alto-montana.

Os resultados da análise por área majoritária são mais genéricos e funcionam normalmente como indicadores. Os seus resultados foram confirmados pela análise das áreas atingidas. Apesar de a Área de Estudo ter apenas 27% de área com alta combustibilidade, quase 92% da área atingida pelos incêndios analisados pertence a essa categoria (Figura 46).

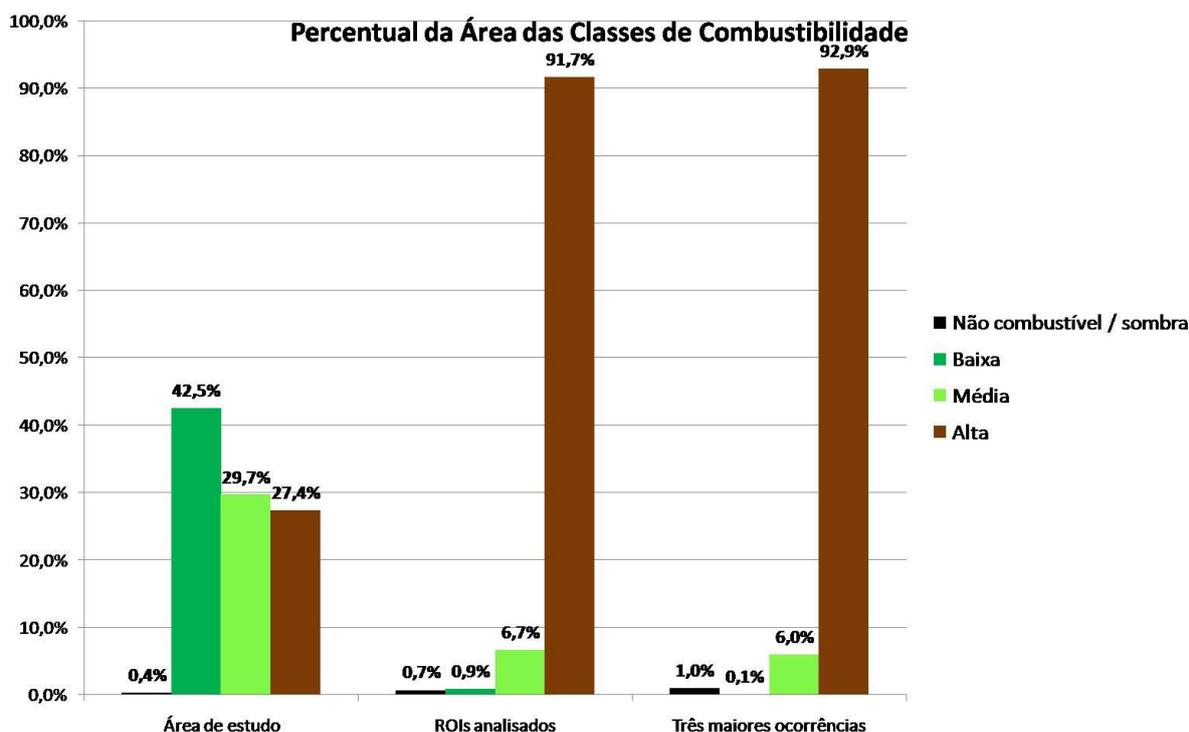


Figura 46 – Gráfico da área atingida pelos incêndios em função da combustibilidade.

7.3.PRECIPITAÇÃO

As variáveis climáticas têm um papel chave influenciando a ocorrência e o comportamento dos incêndios. Essas variáveis são usualmente combinadas em índices meteorológicos específicos que estimam o nível de risco de incêndios em determinado período de tempo (BOVIO & CAMIA, 1997). A maioria desses índices deriva de cálculos complexos envolvendo séries históricas de variáveis climáticas e estudos de umidade dos combustíveis que, infelizmente, ainda não estão disponíveis para a Área de Estudo. Para a AE foram obtidas apenas séries históricas específicas de precipitação, entretanto, resultados de um estudo de risco de incêndios para a região de Viçosa/MG sugerem que índices mais simples, baseados somente na variável precipitação, podem ser utilizados (PEZZOPANE *et al.*, 2001).

Há grande controvérsia sobre a definição de seca ou de índices de seca, já que estes variam dependendo do local no globo, estação do ano ou cobertura vegetal ou mesmo o objetivo da definição (McKee *et al.*, 1993; DOMINGOS 2006). Wilhite and Glantz (1985, *apud* McKee *et al.*, 1993), após analisarem diversas definições de seca identificaram seis categorias distintas: meteorológica, climatológica, atmosférica, agrícola hidrológica ou de gestão hídrica. Entretanto, todos os pontos de vista concordam que uma condição de seca é iniciada com uma redução na precipitação que leva a uma falta de disponibilidade de água (McKee *et al.*, 1995).

Assim, os dados de chuva foram sistematizados para análise da relação da precipitação com os ROIs de forma a criar parâmetros que permitam uma melhor compreensão dos incêndios, auxiliem nas tomadas de decisão e subsidiem pesquisas futuras.

7.3.1.Dados pluviométricos

Foram levantados dados pluviométricos em três estações:

- 1.AGNE – localizada na Parte Alta do PNI, no **Planalto das Agulhas Negras**, a uma altitude aproximada de 2.455 m;
- 2.PQUE - localizada na Parte Baixa do **Parque**, próxima à sede administrativa, a uma altitude aproximada de 825 m e;
3. MAUÁ - a aproximadamente 5,5 km em linha reta dos seus limites, na vila de Visconde de Mauá, a uma altitude aproximada de 1.000 m.

Os dados brutos das duas primeiras estações foram fornecidos por FURNAS Centrais Elétricas S/A (2011) e da última obtidos junto à ANA - Agência Nacional de Águas (2011).

O PNI abrange diversos microclimas com características pluviométricas distintas. Tendo em vista os dados disponíveis foram consideradas, para efeito da análise da Precipitação Antecedente (PA) de cada um dos incêndios estudados, a estação AGNE como representativa da “Parte Alta” do Parque, a estação PQUE como representativa da “Parte Baixa” e a estação Visconde de Mauá como representativa da região conhecida pelo mesmo nome (Figura 47).

As zonas de abrangência de cada estação foram estimadas de acordo com as características topográficas e o conhecimento da região e suas condições climáticas, considerando que o regime de chuvas é principalmente ligado à orografia (IBDF 1982). A estação de Visconde de Mauá (MAUA) representa basicamente a região do Alto Rio Preto, a Agulhas Negras (AGNE) representa a região do Planalto do Itatiaia e as bacias da vertente norte do PNI, que contribuem para a bacia hidrográfica do rio Grande e a Parque (PQUE) representa as bacias contribuintes da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, à exceção da bacia do rio Preto. Na Tabela 22 pode-se observar a distribuição dos incêndios nessas zonas.

Tabela 22 – Distribuição dos incêndios analisados em relação às zonas de abrangência das estações pluviométricas.

| | Quant. ROIs | | Área (ha) | |
|--------------|-------------|-----|----------------|-----|
| AGNE | 117 | 80% | 3.107,9 | 89% |
| MAUA | 11 | 7% | 69,2 | 2% |
| PQUE | 19 | 13% | 322,2 | 9% |
| TOTAL | 147 | | 3.499,3 | |

Para a análise dos indicadores de precipitação antecedente de cada um dos incêndios, foram utilizados os dados da estação correspondente. Durante o período de estudo, apenas a estação de Visconde de Mauá apresenta omissão sensível de dados e somente para o mês de novembro de 2009, o que não comprometeu a análise dos índices de pluviometria acumulada por ser após os incêndios daquele ano. Para as análises comparativas com o histórico dos incêndios, foram utilizados os dados da estação AGNE, onde se concentram a maioria das ocorrências.

MAPA DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

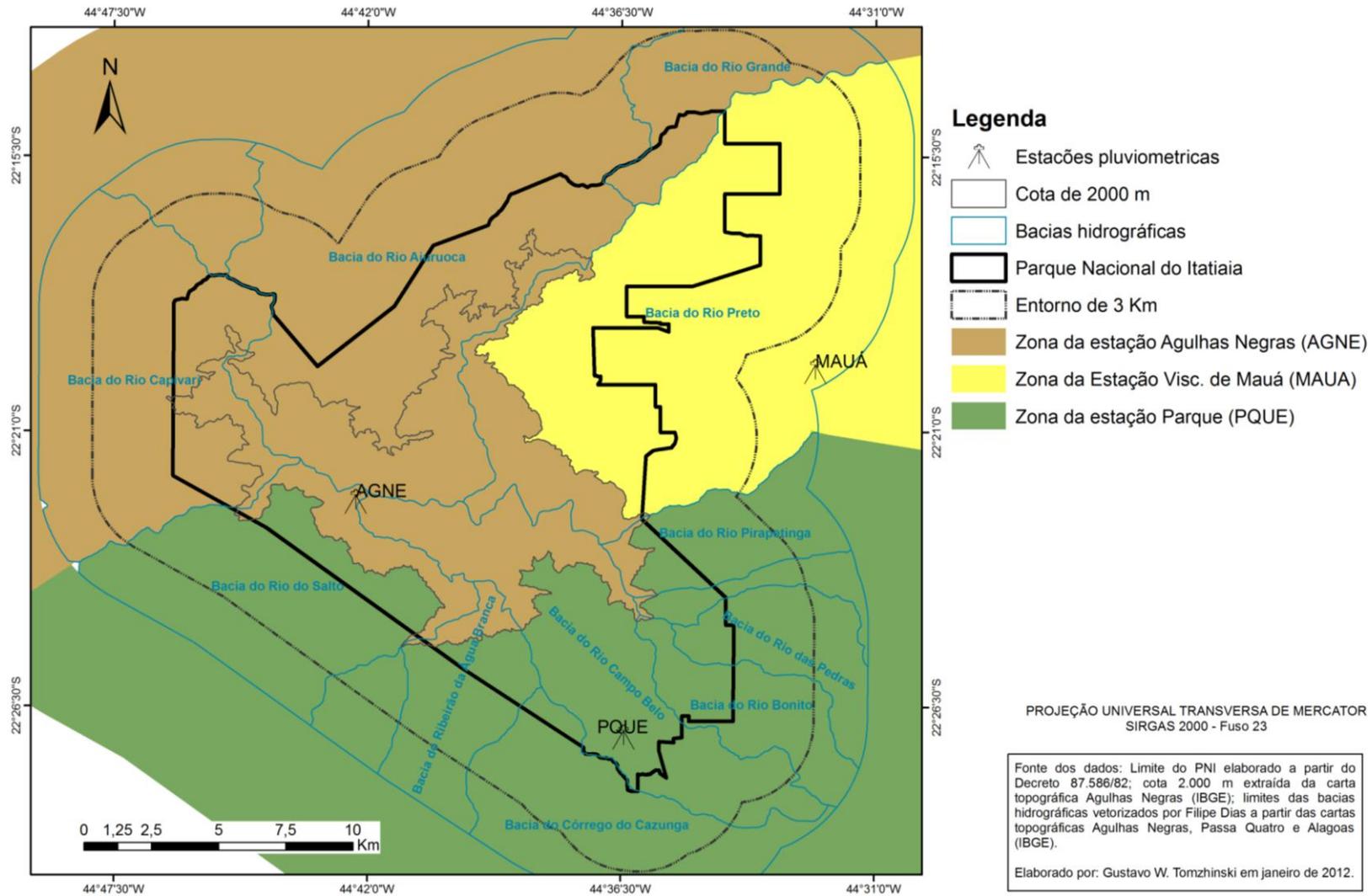


Figura 47 – Mapa de localização das estações pluviométricas com as respectivas zonas de abrangência estimadas

7.3.2. Análise temporal dos incêndios em relação à precipitação

Para a comparação de séries temporais de pluviometria com os dados de incêndios, foram usados os dados das ocorrências levantados no capítulo 4. É importante lembrar que os registros históricos dos incêndios apresentam limitações e que só a partir de 2008 as áreas passaram a ser sistematicamente medidas. Mesmo assim essa comparação fornece um bom parâmetro dos meses de condição de umidade mais críticos para os incêndios e das condições de precipitação nos anos onde as áreas atingidas foram maiores.

Para essas análises comparativas com os incêndios, os dados diários de precipitação foram consolidados por trimestre e meses de cada ano e calculada a média desses acumulados para a série temporal disponível. Através da Figura 48 podemos observar a distribuição média da precipitação ao longo dos meses do ano e a sua relação com a quantidade de incêndios e a área queimada.

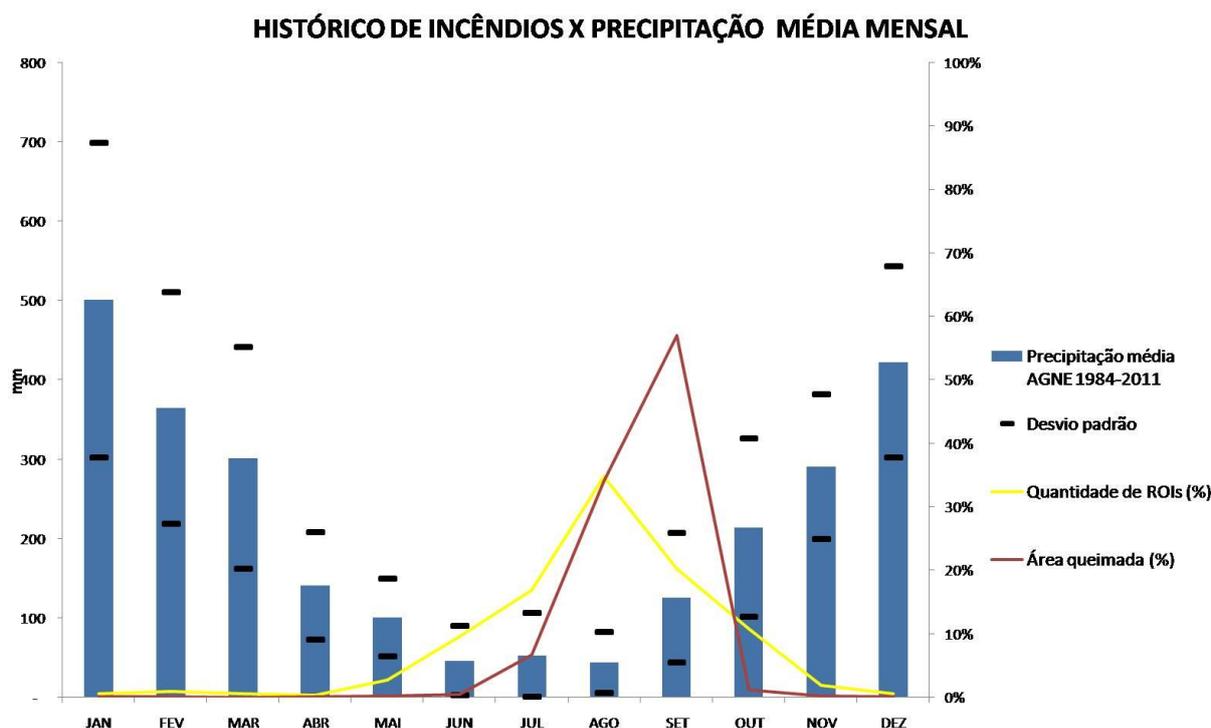


Figura 48 – Gráfico comparativo das médias mensais de precipitação com os registros históricos de incêndios.

Apesar do mês mais seco e que concentra o maior número de ocorrências de incêndios ser o de agosto, é em setembro onde se verifica maior acumulado de área queimada. Ambos são meses críticos para os incêndios no PNI, mas a primeira quinzena de setembro representa a parte final do período seco, quando a umidade dos combustíveis, em geral,

apresenta seus níveis mais baixos como resultante da baixa pluviosidade antecedente. Essa observação aponta para a importância de se levar em consideração o acumulado de chuvas no período anterior aos incêndios.

Para a análise do comportamento da precipitação ao longo dos anos e sua comparação com os incêndios, foram utilizados dois acumulados trimestrais: junho-julho-agosto (JJA) e julho-agosto-setembro (JAS), representado graficamente nas Figura 49 e 50.

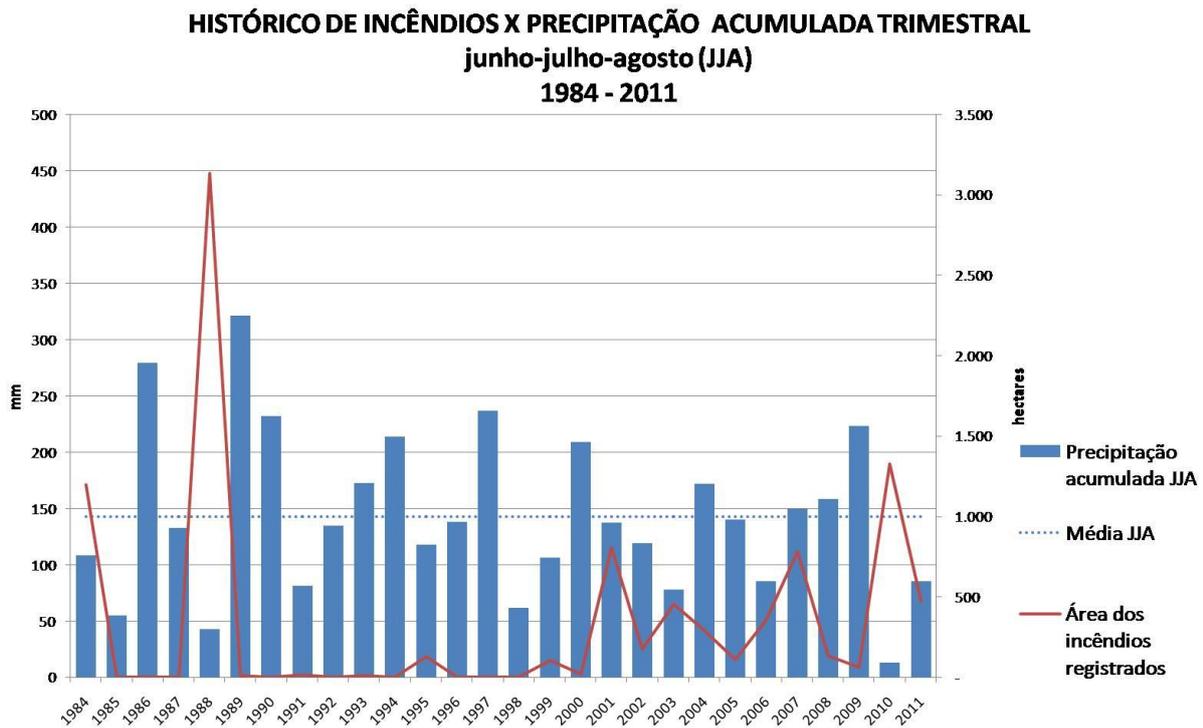


Figura 49 – Gráfico comparativo do acumulado trimestral de precipitação junho-julho-agosto (JJA) para o período de 1984 a 2011 com os as áreas dos registros históricos de incêndios.

**HISTÓRICO DE INCÊNDIOS X PRECIPITAÇÃO ACUMULADA TRIMESTRAL
julho-agosto-setembro (JAS)
1984 - 2011**

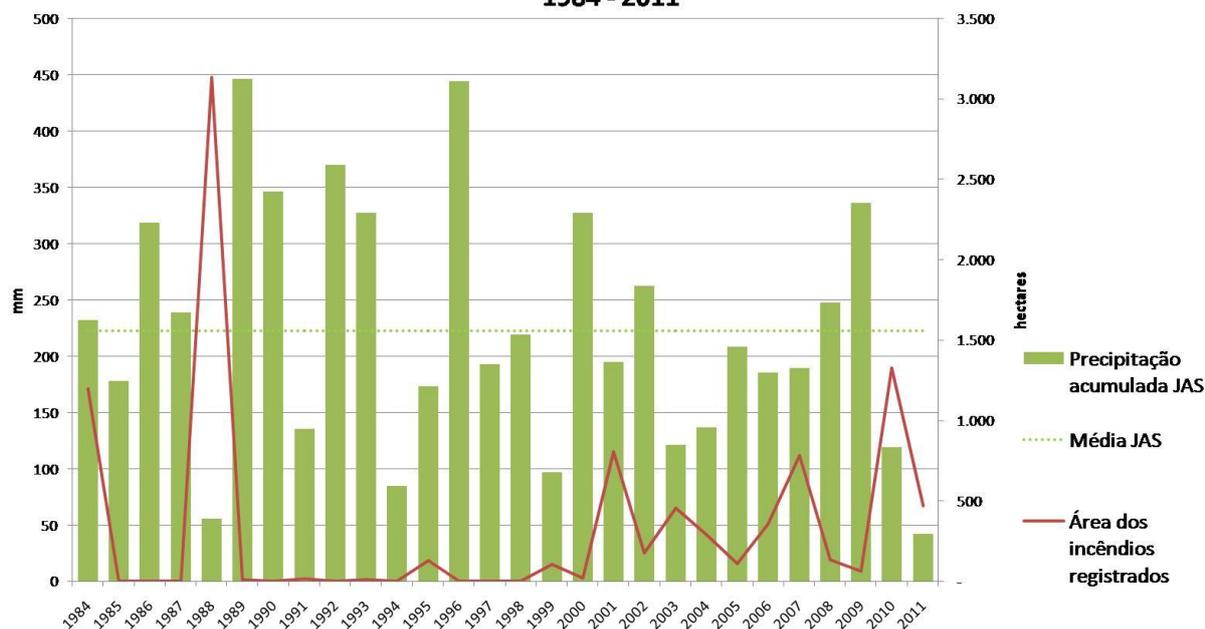


Figura 50 – Gráfico comparativo do acumulado trimestral de precipitação julho-agosto-setembro (JAS) para o período de 1984 a 2011 com os as áreas dos registros históricos de incêndios.

Primeiramente pode-se observar que o comportamento dos dois acumulados trimestrais é independente entre si e apresenta grande variação ao longo dos anos. Por exemplo: em alguns anos o JJA está acima da média e JAS abaixo, como em 1994, mostrando um deslocamento do período mais seco em direção ao final do ano e, em outros anos ocorre o inverso, como em 1992. Nos anos de seca mais intensa, como em 1988, 2010 e 2011, ambos os acumulados estão muito abaixo da média.

Todos os anos com incêndios de grande proporção aconteceram em anos com o acumulado JAS mais seco do que a média, à exceção de 1984 que teve uma antecipação da seca e o acumulado de junho a agosto (JJA) é que foi abaixo da média. Para o ano de 2010, que teve o maior incêndio desde 1988, observa-se o menor acumulado JJA da série histórica. Já o ano de 2011, onde ocorreram severos incêndios na mata em toda a região, inclusive no Parque, teve o menor acumulado JAS da série histórica.

7.3.3. Indicadores de precipitação

A metodologia do ICMBio e do IBAMA (PREVFOGO) propõe um sistema de alerta baseado nas condições climáticas e na ocorrência de incêndios dentro ou no entorno das

Unidades de Conservação, ilustrado através da Tabela 23. Para ajudar a subsidiar a tomada de decisão, buscou-se estabelecer, através da precipitação, indicadores que possam servir de parâmetro.

Tabela 23 – Síntese do sistema de alerta utilizado pelo ICMBio e IBAMA (adaptado de IBAMA 2008b e TOMZHINSKI & COSLOPE, 2011)

| ALERTA | CARACTERÍSTICAS |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Verde | Condições climáticas favoráveis, baixo risco de incêndios florestais |
| Amarelo | Condições climáticas críticas, longo período sem chuvas. Detecção de focos de calor no entorno. |
| Vermelho | Incêndio dentro da Unidade. |

Após as análises temporais, foi verificada a relação de indicadores de precipitação acumulada com os registros de incêndio e seus tamanhos. Nesta etapa foram utilizados os 147 registros com polígonos, descritos no capítulo 6. Os dados pluviométricos brutos de cada estação foram organizados numa planilha eletrônica, onde foram calculadas as informações de quantidade de Dias Sem Chuva (DSC) e Precipitação Acumulada (PA) em 10, 30, 60, 90 e 120 dias antecedentes a cada data compreendida entre os anos de 1984 e 2011.

Para ilustrar o comportamento dos indicadores de precipitação ao longo do período que compreende os incêndios analisados, a sua variação entre os anos de 2001 e 2011 é mostrada através de gráficos utilizando-se os dados da estação AGNE, em cuja área de influência se encontra a maioria dos incêndios. Tendo em vista a grande amplitude de valores de precipitação acumulada e a natureza distinta do indicador DSC, eles foram separados em três gráficos com indicadores de curto prazo (DSC e PA10, PA30) e médio prazo (PA60, PA90 e PA120), apresentados nas Figuras 51, 52 e 53, respectivamente.

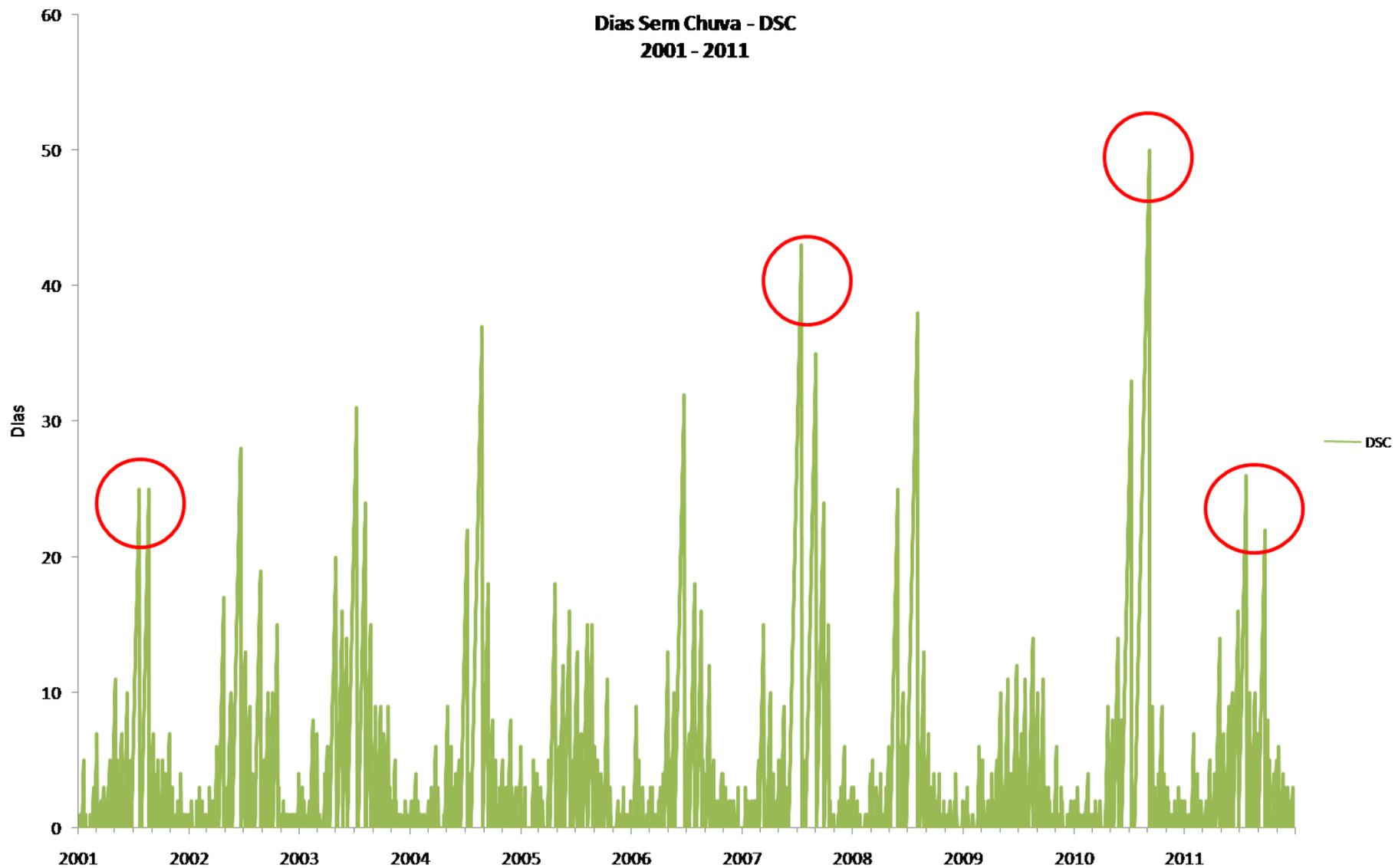


Figura 51 – Gráfico da variação de dias sem chuva (DSC) entre os anos de 2001 e 2011 para a estação AGNE. Os círculos em vermelho destacam a época dos cinco maiores incêndios analisados (dois em 2011).

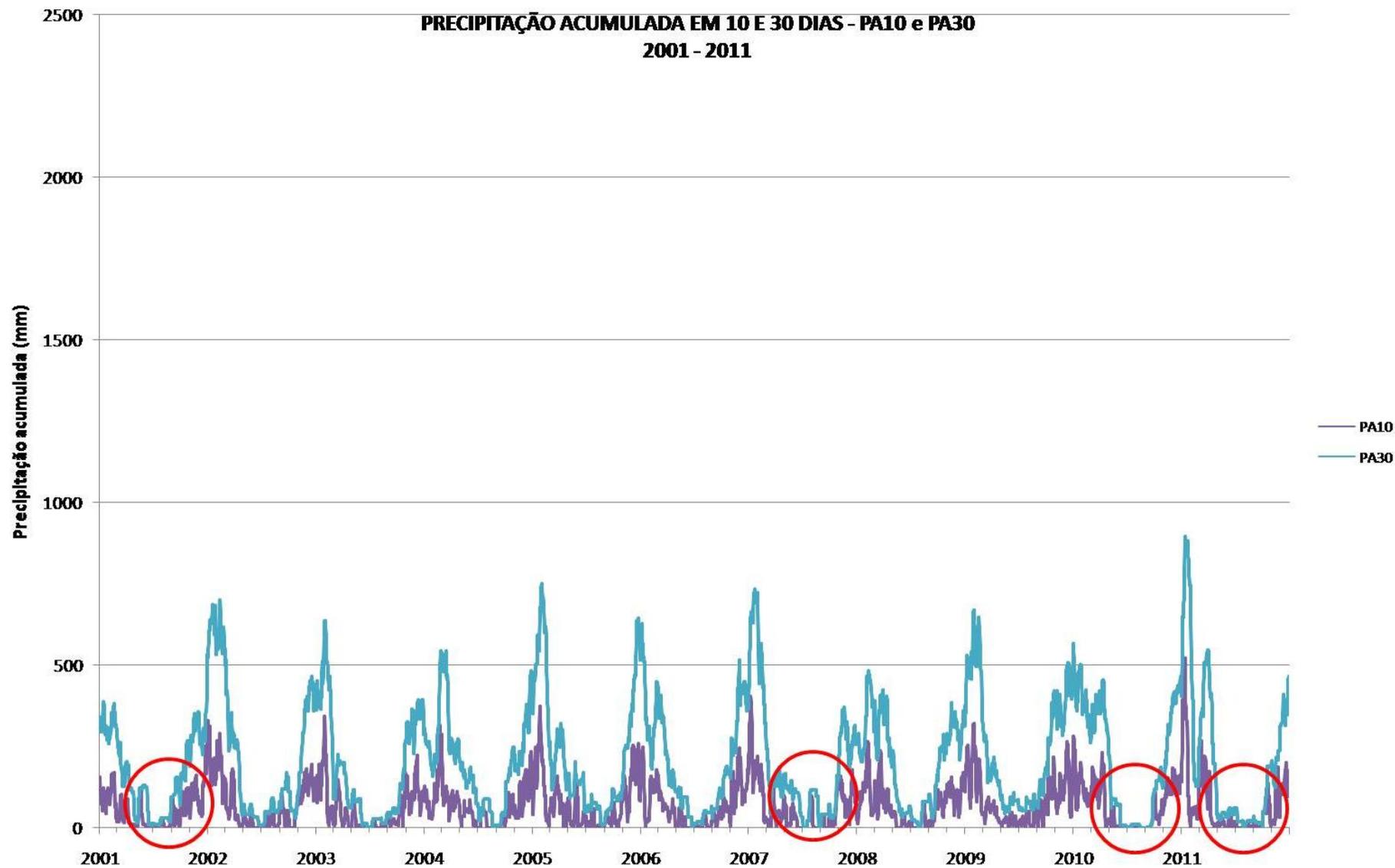


Figura 52 – Gráfico da variação de precipitação acumulada de 10 e 30 dias (PA10 e PA30) entre os anos de 2001 e 2011 para a estação AGNE. Os círculos em vermelho destacam a época dos cinco maiores incêndios analisados (dois em 2011).

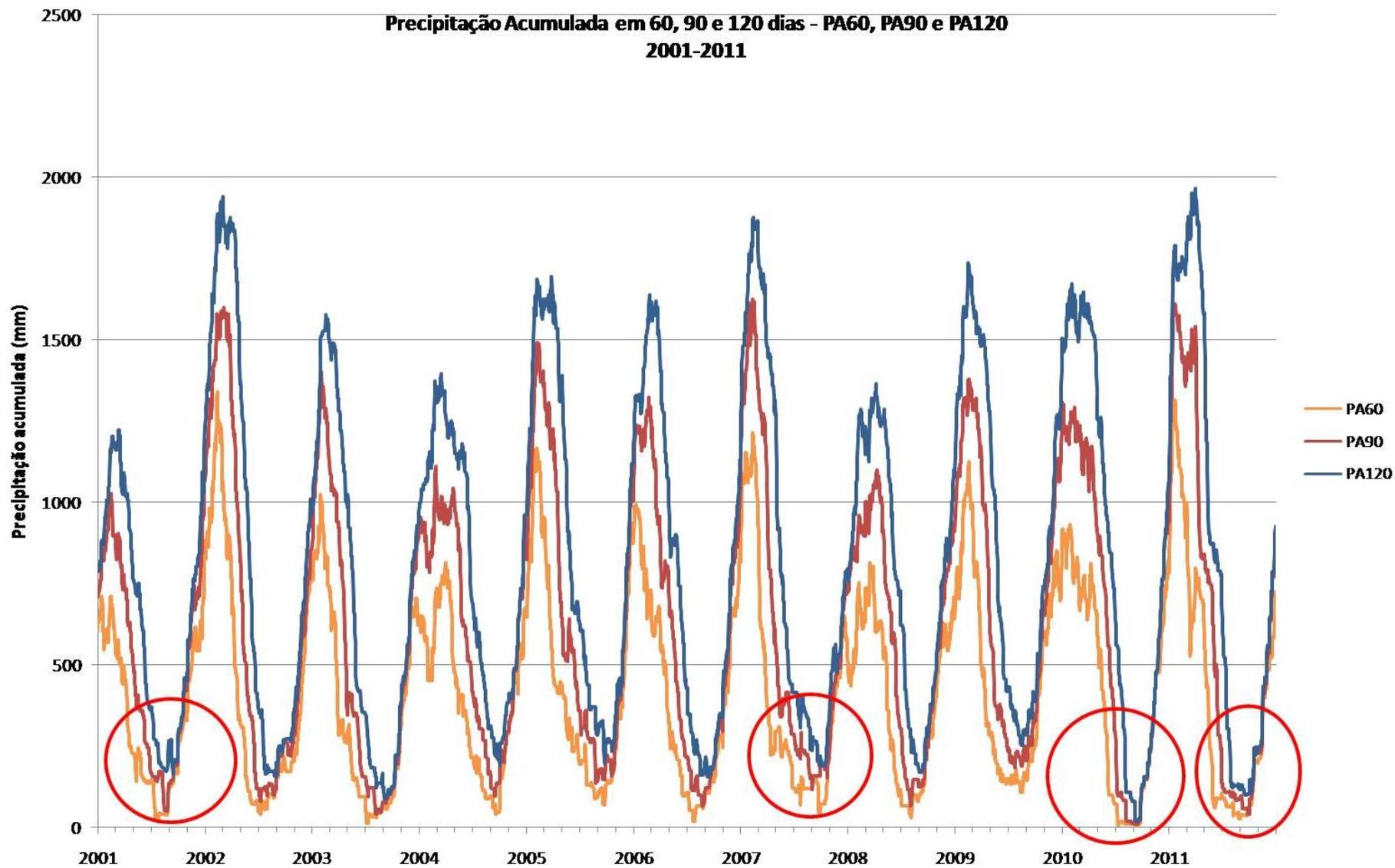


Figura 53 – Gráfico da variação de precipitação acumulada de 60, 90 e 120 dias (PA60, PA90 e PA120) entre os anos de 2001 e 2011 para a estação AGNE. Os círculos em vermelho destacam a época dos cinco maiores incêndios analisados (dois em 2011).

Os indicadores “PA” apresentam um comportamento similar, porém não idêntico e o DSC tem comportamento contrário, pela própria natureza inversa entre eles. Os indicadores de curto prazo apresentam um comportamento mais sensível a picos de chuva ou seca fora de época, marcando o período seco por mais tempo. Os indicadores de médio prazo apresentam um comportamento menos sujeito a pequenas variações e marcam o período seco através de grandes variações na amplitude da curva. Destacam bem os anos mais críticos de seca, quando os limites inferiores da curva se aproximam dos níveis atingidos pelos indicadores de curto prazo.

Para os anos críticos com relação aos incêndios durante o período abordado (2001, 2007, 2010 e 2011), o comportamento dos indicadores durante o período seco está assinalado em vermelho nos gráficos. Observa-se que 2001 e 2011 não apresentaram valores tão extremos de DSC quanto 2007 e 2010. As curvas dos indicadores PA de curto prazo apresentam maior amplitude horizontal para o período seco, destacando a sua duração, enquanto os de longo prazo mostraram maior amplitude vertical, destacando a severidade da seca quando chegam mais próximo a zero. Valem à pena destacar os níveis muito baixos alcançados por todos os indicadores PA nos anos de 2010 e 2011.

A partir dessa base de dados, foram calculados os índices de DSC, PA10, PA30, PA60, PA90 e PA120 para a data de início de cada um dos 147 incêndios estudados e estes foram analisados com relação à classe de tamanho da área atingida e a quantidade de ocorrências.

Os limites de cada indicador para os quais foram registrados incêndios são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – Limites máximos, mínimos, média e desvio padrão (σ) dos indicadores de precipitação antecedente encontrados as categorias de tamanho de incêndio anteriormente estabelecidas.

| | A (maiores que 500 ha) | | | | B (entre 10 e 500 ha) | | | | C (menores que 10 ha) | | | |
|-------|-------------------------------|-------|-------|----------|------------------------------|-------|-------|----------|------------------------------|--------|-------|----------|
| | Mín | Máx | Méd | σ | Mín | Máx | Méd | σ | Mín | Máx | Méd | σ |
| DSC | 20 | 24 | 22 | 1,63 | 2 | 31 | 11,1 | 8,1 | 0 | 32 | 7,2 | 7,4 |
| PA10 | 0 | 0 | - | - | 0 | 23,8 | 4,7 | 6,8 | 0 | 156,3 | 24,5 | 34,3 |
| PA30 | 7,5 | 96,6 | 38,2 | 41,2 | 0 | 96,9 | 19,4 | 23,2 | 0 | 743,8 | 83,9 | 117,6 |
| PA60 | 10,3 | 117,8 | 50,3 | 48,0 | 10,3 | 102,2 | 46,9 | 28,1 | 10,3 | 1147,0 | 144,6 | 176,6 |
| PA90 | 17,8 | 213,9 | 125,8 | 81,3 | 17,8 | 231,1 | 96,1 | 49,2 | 17,8 | 1525,8 | 252,6 | 251,6 |
| PA120 | 108 | 323,9 | 232,8 | 91,3 | 90,2 | 521,9 | 200,1 | 124,5 | 108 | 1822,5 | 406,4 | 343,7 |

Mesmo com precipitação antecedente alta foram registrados incêndios, porém são incêndios em geral menores do que 10 ha (categoria C). Os incêndios maiores do que 10 ha apresentam, em geral, limites de precipitação acumulada mais definidos, apontando para condições climáticas mais críticas para a ocorrência de incêndios de médio e grande porte.

Cada um dos indicadores foi então dividido em nove classes utilizando-se a técnica de quebra natural de valores, calculando-se a frequência de ocorrências de incêndios de cada uma das três categorias de tamanho nessas classes. A partir dos resultados obtidos, foram adotados dois limites de alerta para cada índice, a partir dos quais a frequência de incêndios registrados foi maior. Para uma análise mais objetiva, o cálculo da frequência de incêndios dentro desses limites foi simplificado de três categorias de tamanho (A, B e C) para duas categorias, maior ou menor do que 10 ha. Os resultados são apresentados na Tabela 25, onde se procurou utilizar cores compatíveis com o sistema de alerta do Parque: verde para representar condições favoráveis, amarela para condições críticas e laranja para muito críticas.

Tabela 25 – Limites críticos dos indicadores de precipitação antecedente encontrados a partir da análise da frequência de ocorrência de incêndios.

| | | < 10 ha | > 10 ha | Geral |
|---------------------------------------------------|------------------|---------|---------|--------|
| Dias sem chuva (DSC) | | | | |
| Incêndios com DSC menor ou igual a | 3 dias | 49 41% | 5 18% | 54 37% |
| Incêndios com DSC entre | 3 e 11 dias | 45 38% | 11 39% | 56 38% |
| Incêndios com DSC superior a | 11 dias | 25 21% | 12 43% | 37 25% |
| Pluviosidade acumulada em 10 dias (PA10) | | | | |
| Incêndios com PA10 menor ou igual a | 4,6 mm | 67 56% | 23 82% | 90 61% |
| Incêndios com PA10 entre | 4,6 e 18,2 mm | 20 17% | 5 18% | 25 17% |
| Incêndios com PA10 superior a | 18,2 mm | 32 27% | 0 0% | 32 22% |
| Pluviosidade acumulada em 30 dias (PA30) | | | | |
| Incêndios com PA30 menor ou igual a | 15,3 mm | 30 25% | 17 61% | 47 32% |
| Incêndios com PA30 entre | 15,3 e 118,3 mm | 68 57% | 11 39% | 79 54% |
| Incêndios com PA30 superior a | 118,3 mm | 21 18% | 0 0% | 21 14% |
| Pluviosidade acumulada em 60 dias (PA60) | | | | |
| Incêndios com PA60 menor ou igual a | 48,6 mm | 27 23% | 19 68% | 46 31% |
| Incêndios com PA60 entre | 48,6 e 134,0 mm | 55 46% | 9 32% | 64 44% |
| Incêndios com PA60 superior a | 134,0 mm | 37 31% | 0 0% | 37 25% |
| Pluviosidade acumulada em 90 dias (PA90) | | | | |
| Incêndios com PA90 menor ou igual a | 116,3 mm | 40 34% | 22 79% | 62 42% |
| Incêndios com PA90 entre | 116,3 e 254,3 mm | 42 35% | 6 21% | 48 33% |
| Incêndios com PA90 superior a | 254,3 mm | 37 31% | 0 0% | 37 25% |
| Pluviosidade acumulada em 120 dias (PA120) | | | | |
| Incêndios com PA120 menor ou igual a | 150,0 mm | 24 20% | 14 50% | 38 26% |
| Incêndios com PA120 entre | 150,0 e 613,2 mm | 67 56% | 14 50% | 81 55% |
| Incêndios com PA120 superior a | 613,2 mm | 28 24% | 0 0% | 28 19% |

Buscou-se estabelecer limites abaixo dos quais não foram registrados incêndios maiores do que 10 hectares (verde) e limites para os quais foram observados mais incêndios de médio e grande porte. Constatou-se que os incêndios se distribuem de maneira distinta em relação aos indicadores, o que aponta para a necessidade de considerar os resultados de todos eles num eventual sistema de alerta baseado em dados pluviométricos. Especificamente o DSC se mostrou bastante limitado quando utilizado isoladamente, já que três registros de ocorrências maiores de 10 ha ocorreram com dois ou menos dias sem chuva, o que é uma condição muito comum durante o ano todo.

O comportamento dos indicadores em relação aos incêndios é representado através das Figuras 54, 55 e 56. Tendo em vista a grande variação encontrada para os incêndios de menor porte, restringiu-se essa análise aos maiores de 10 ha (categorias A e B) a fim de melhorar a clareza da representação gráfica.

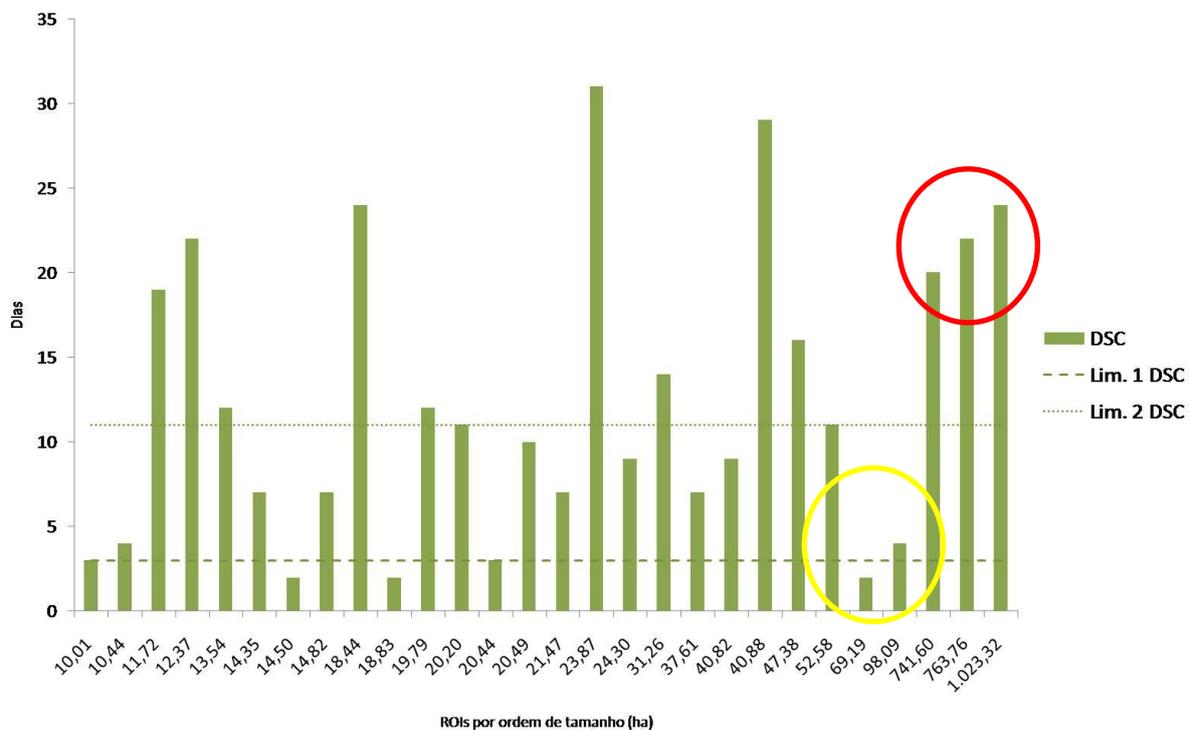


Figura 54 – Gráfico da relação entre dias sem chuva (DSC) e os ROIs maiores que 10 ha. Em destaque em vermelho os três maiores e em amarelo o quarto e o quinto.

Através do gráfico acima se verifica que para os três maiores incêndios (círculo vermelho) foram registrados valores críticos de dias sem chuva, porém para os dois seguintes (círculo amarelo), que ocorreram em 2011, tinha chovido há poucos dias, o que confirma a precariedade desse indicador quando utilizado isoladamente.

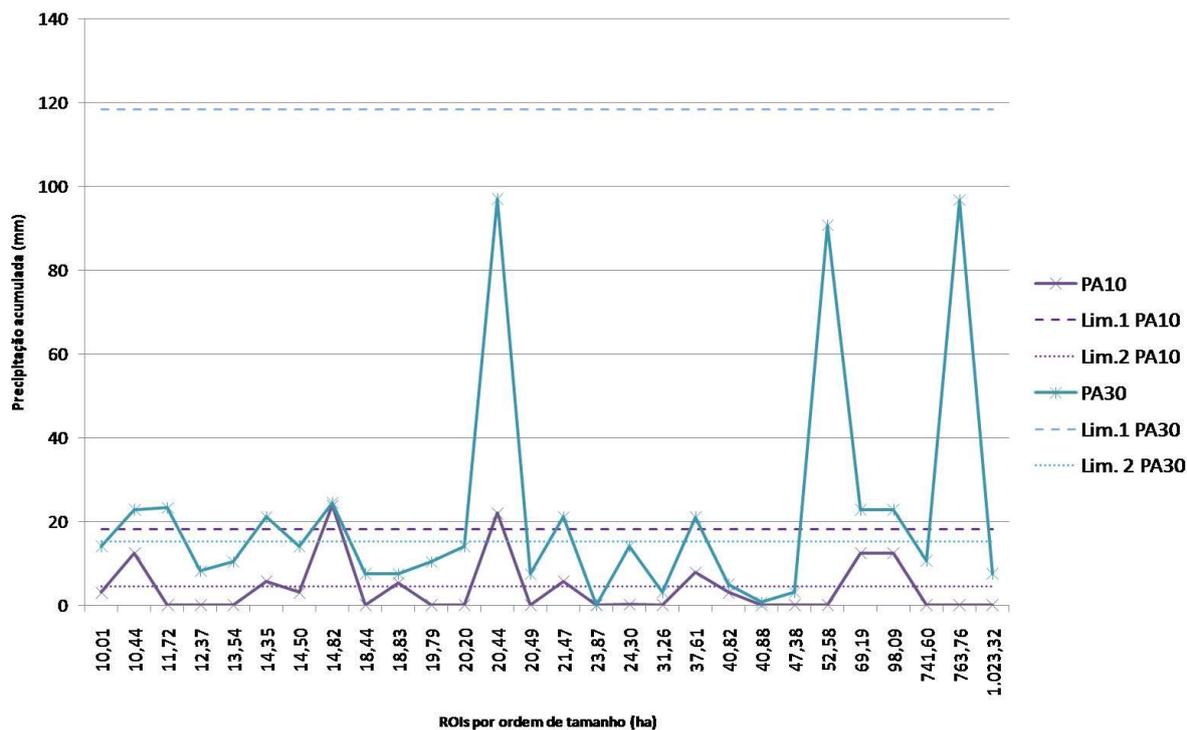


Figura 55 – Gráfico da relação entre PA10 e PA30 e os ROIs maiores que 10 ha.

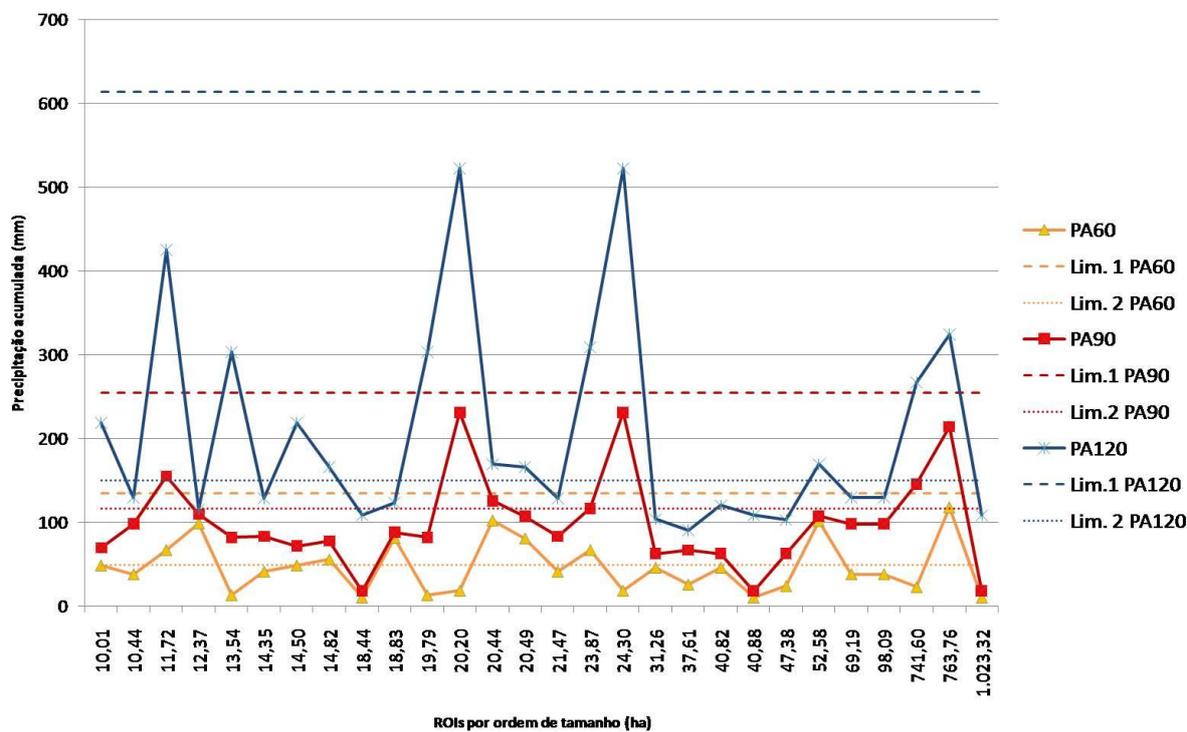


Figura 56 – Gráfico da relação dos indicadores de médio prazo com os ROIs maiores que 10 ha.

Para entender melhor como os indicadores se complementam e auxiliar na interpretação dos gráficos, os indicadores de precipitação na data de início de cada uma das

cinco maiores ocorrências são apresentados na Tabela 26, indicando, através das mesmas cores utilizadas anteriormente, aqueles que atingiram níveis considerados críticos.

Tabela 26 – Indicadores de precipitação registrados na data de início dos cinco maiores incêndios analisados.

| ROI | Início | Área (ha) | Estação | DSC | PA10 | PA30 | PA60 | PA90 | PA120 |
|---------|------------|-----------|---------|-----|------|------|-------|-------|-------|
| 45.2011 | 04/09/2011 | 69,19 | AGNE | 2 | 12,4 | 22,7 | 38,0 | 97,9 | 129,6 |
| 48.2011 | 06/09/2011 | 98,09 | AGNE | 4 | 12,4 | 22,7 | 38,0 | 97,9 | 129,6 |
| 02.2001 | 18/07/2001 | 741,60 | AGNE | 20 | - | 10,6 | 22,7 | 145,6 | 266,6 |
| 14.2007 | 21/08/2007 | 763,76 | AGNE | 22 | - | 96,6 | 117,8 | 213,9 | 323,9 |
| 23.2010 | 13/08/2010 | 1.023,32 | AGNE | 24 | - | 7,5 | 10,3 | 17,8 | 108,0 |

Nenhum dos 6 indicadores apresentou nível extremamente crítico para os cinco maiores incêndios e apenas o incêndio de 2010 apresentou nível laranja para todos os indicadores.

Apesar dos dois incêndios de 2011 não serem da mesma ordem de grandeza dos outros, ambos foram extremamente graves e de difícil controle por terem atingido áreas de mata. Para esses dois eventos é interessante notar como apenas os indicadores de médio prazo apresentaram níveis críticos de alerta (cor laranja).

Os dados de precipitação antecedente analisados constituem importante subsídio para a tomada de decisões relacionadas à prevenção e combate aos incêndios, bem como outras ações de manejo para o PNI, além de servir de parâmetro comparativo para estudos em outras localidades.

Para o estabelecimento de um sistema de alerta que utilize esses indicadores, eles deverão ser analisados um em relação ao outro e a outros fatores como: umidade relativa, temperatura e ventos, bem como poderão ser considerados todos os registros históricos. Outra questão a ser analisada em estudos futuros é a quantidade de incêndios e os indicadores de precipitação antecedente. Além disso, uma análise estatística aprofundada para o ajuste fino dos limites dos indicadores deverá ser feita levando em consideração a quantidade de dias de alerta por ano, já que um estado de alerta muito prolongado pode acabar resultando em acomodação da equipe e perder a utilidade.

7.4. VARIÁVEIS SÓCIO-ECONÔMICAS

A maior parte dos incêndios florestais no mundo são causados pelo Homem, como um resultado do uso equivocado do fogo na conversão de florestas em terras agrícolas, manutenção de pastagens e agricultura, extração de produtos florestais não madeireiros, caça, etc. O fogo também pode ser resultado de conflitos pessoais ou de posse de terra e negligência (FAO, 2012).

Todos esses fatores elencados pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) estão presentes na Área de Estudo e representam um risco real para a ignição de incêndios. Eles foram analisados espacialmente através da representação em camadas de vias de transporte (estradas e trilhas), edificações (casas, ranchos, escolas, abrigos, hotéis, pousadas, etc.) e situação fundiária (disponível apenas dentro da UC). A proximidade dos incêndios com a integração dessas três camadas de informação também foi verificada, gerando os resultados que identificamos como VEF.

Os dados das vias de transporte foram extraídos das cartas topográficas na escala 1:50.000 e complementados com a base do Parque, levantada com GPS e através de identificação visual nas imagens de alta resolução existente, de forma não sistemática.

As edificações existentes foram levantadas visualmente no GEOCART a partir das imagens de alta resolução disponíveis, contudo não estão identificados o tipo e a utilização de cada uma. A base fundiária é basicamente derivada do levantamento feito pela empresa DIVISA no final da década de 1990 e se refere apenas à área do Parque, de forma que apenas os incêndios que atingiram diretamente à Unidade foram considerados nessa parte da análise. Deve ser levada em conta, portanto, a limitação da base de informações na análise dos resultados. O resultado do mapeamento desses fatores é apresentado na Figura 57

MAPA DAS VARIÁVEIS SÓCIO-ECONÔMICAS

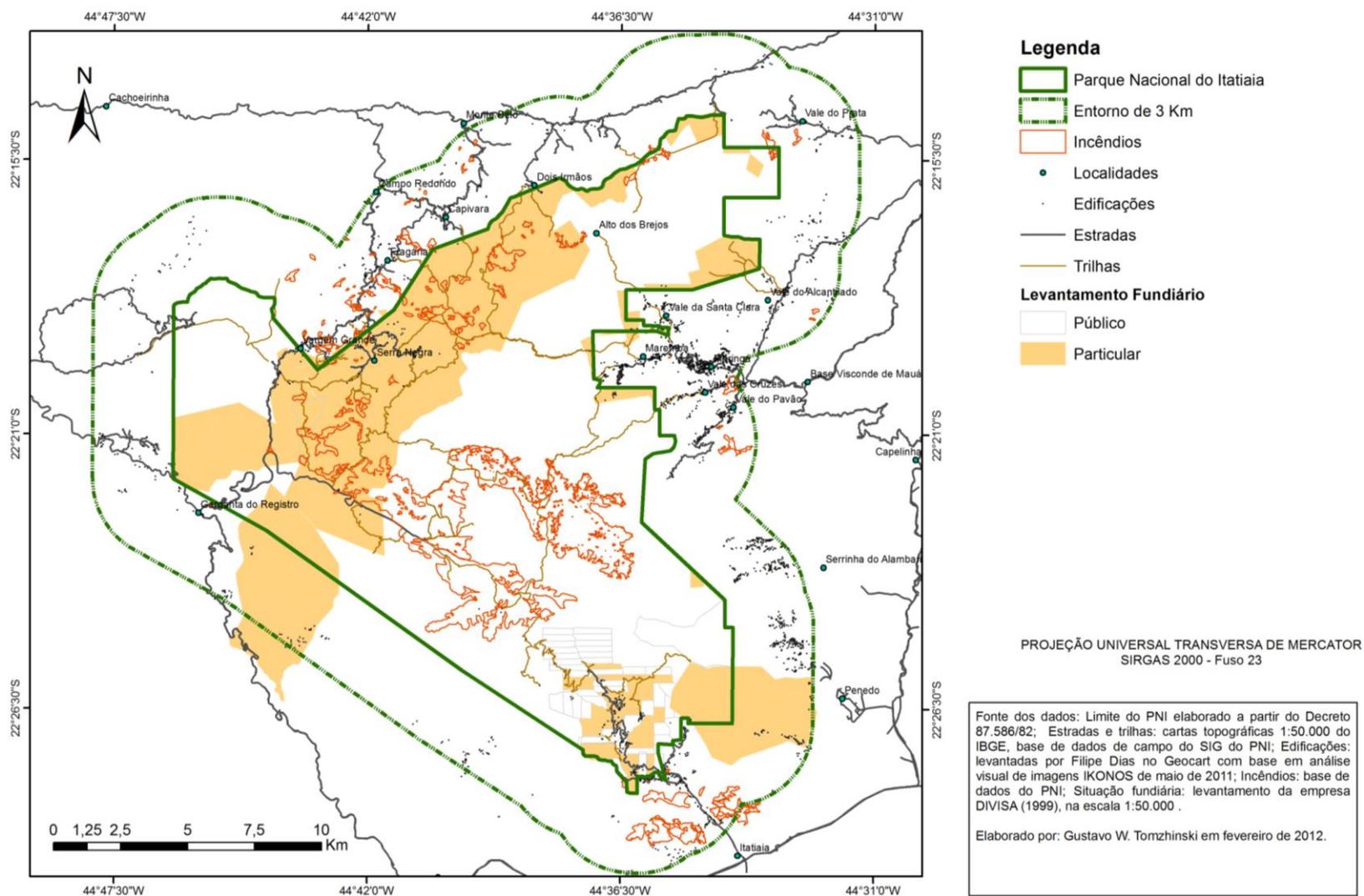


Figura 57 – Mapa das variáveis sócio-econômicas.

Através de análises espaciais com a ferramenta *near* do *software* ArcGIS 9.3[®] (ESRI, 2008) calculou-se as distâncias mínimas de cada polígono de incêndio às feições de cada uma das camadas de informação, de forma individual e integrando-se todas elas (VEF). Os resultados gerais são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Distâncias dos incêndios, em metros, com relação a vias de transporte, edificações, levantamento fundiário (apenas para ocorrências dentro do PNI).

| | A | | | | B | | | | C | | | | GERAL | | | |
|------------------------|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
| | Máx | Mín | Méd | σ |
| Vias de transporte (V) | 0 | 0 | 0 | 0 | 480 | 0 | 47 | 109 | 925 | 0 | 114 | 176 | 925 | 0 | 100 | 167 |
| Edificações (E) | 1.249 | 0 | 425 | 583 | 1.303 | 0 | 380 | 389 | 2.007 | 9 | 478 | 423 | 2.007 | 0 | 460 | 422 |
| Fundiário (F) | 1.467 | 0 | 574 | 639 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 1 | 2 | 1.467 | 0 | 30 | 192 |
| Integração VEF | 0 | 0 | 0 | 0 | 289 | 0 | 17 | 58 | 802 | 0 | 48 | 120 | 801 | 0 | 42 | 112 |

Após essa primeira análise, foi verificada a distribuição dos incêndios em três faixas de distâncias a cada uma das variáveis. Os limites desses intervalos foram estabelecidos a partir da análise da distribuição em nove faixas com intervalos menores. Na Tabela 28 estão representados os resultados encontrados para cada uma das camadas de informação.

Tabela 28 - Distribuição dos incêndios em relação às distâncias para vias de transporte, edificações, levantamento fundiário e integração VEF (vias, edificações e fundiário).

| | A | | B | | C | | Geral | |
|--------------------------------------------------|---|------|----|------|----|-----|-------|-----|
| Vias de Transporte | | | | | | | | |
| Polígonos distando até 15 m | 3 | 100% | 18 | 72% | 59 | 50% | 80 | 54% |
| Polígonos distando entre 15 e 250 m | 0 | 0% | 5 | 20% | 40 | 34% | 45 | 31% |
| Polígonos distando entre 250 e 925 m | 0 | 0% | 2 | 8% | 20 | 17% | 22 | 15% |
| Edificações | | | | | | | | |
| Polígonos distando até 100 m | 2 | 67% | 8 | 32% | 19 | 16% | 29 | 20% |
| Polígonos distando entre 100 e 500 m | 0 | 0% | 11 | 44% | 59 | 50% | 70 | 48% |
| Polígonos distando entre 500 e 2007 m | 1 | 33% | 6 | 24% | 41 | 34% | 48 | 33% |
| Fundiário | | | | | | | | |
| Polígonos dentro ou atingindo áreas particulares | 1 | 33% | 9 | 100% | 45 | 96% | 55 | 93% |
| Polígonos distando entre 100 e 500 m | 1 | 33% | 0 | 0% | 2 | 4% | 3 | 5% |
| Polígonos distando entre 500 e 1467 m | 1 | 33% | 0 | 0% | 0 | 0% | 1 | 2% |
| Integração VEF | | | | | | | | |
| Polígonos distando até 15 m | 3 | 100% | 22 | 88% | 86 | 74% | 111 | 76% |
| Polígonos distando entre 15 e 500 m | 0 | 0% | 3 | 12% | 31 | 26% | 34 | 23% |
| Polígonos distando entre 500 e 801 m | 0 | 0% | 0 | 0% | 0 | 0% | 2 | 1% |

Os resultados observados apontam para uma grande influência dos fatores humanos na ocorrência de incêndios, reforçando a tendência observada nacional e mundialmente (CALDARARO, 2002; IBAMA, 2009; FAO, 2012). Verificou-se que pelo menos 76% dos ROIs estavam a curta distância de alguma das variáveis sócio-econômicas estudadas. Mesmo considerando que a Área de Estudo tem grandes espaços sem ocupação humana e as limitações da base cartográfica, mais da metade dos incêndios estão localizados bastante próximos às vias de transporte (54%). Apesar de muitos incêndios terminarem próximos a estas vias, por elas funcionarem como aceiros, o risco de ignição próximo a elas é bastante elevado, já permitem o acesso dos incendiários.

Em geral, os incêndios provocados por limpeza de áreas ou mesmo vandalismo, são localizados não muito próximos às edificações de forma a não atingir pessoas e estruturas (muitas vezes do próprio causador do incêndio), provavelmente por isso encontrou-se uma concentração de ocorrências (48%) distando de 100 a 500 m dessas estruturas. Por outro lado, não é incomum que o fogo ameace ou destrua patrimônio e vidas humanas, como se observa pelo percentual relativamente alto de incêndios que atingiram áreas próximas a edificações (20%).

A comparação dos incêndios registrados dentro do Parque com o levantamento das propriedades particulares existentes indica a forte ligação entre eles e a situação fundiária da Unidade: 93% dos incêndios que ocorreram dentro do PNI estavam total ou parcialmente inseridos em glebas que carecem de regularização fundiária. Esses dados corroboram fortemente a hipótese de que a grande maioria dos incêndios está ligada a conflitos de sócio-econômicos ligados à falta de regularização fundiária do Parque. Dos três grandes incêndios do Planalto, apenas o de 2001 não tem ligação com a questão: o de 2007 provavelmente começou em área particular e os principais suspeitos de provocar o de 2010 são criadores de gado que estavam retirando animais perdidos na área

8. MAPEAMENTO GEOECOLÓGICO DA SUSCETIBILIDADE A OCORRÊNCIA A INCÊNDIOS

Considerando a suscetibilidade a ocorrência de incêndios como a possibilidade que determinados atributos naturais têm de condicionar a ocorrência desse fenômeno (SOUZA, 2005), este capítulo tem o objetivo de realizar o mapeamento das áreas suscetíveis a ocorrência de incêndios, através da integração das variáveis geológicas analisadas nos capítulos anteriores. Para isso foi adotado o método analítico-integrativo proposto por Coelho Neto *et al.* (1993), que segue os seguintes passos:

- a) seleção de variáveis a serem utilizadas de acordo com a temática;
- b) seleção dentro dos mapas temáticos das características que influenciam o tema principal abordado através da aglutinação de classes de comportamento semelhante, relativo ao tema;
- c) sobreposição das informações de acordo com a análise dos mapas gerados;
- d) nova sobreposição;
- e) validação dos resultados utilizando dados de campo e de fontes confiáveis.

Como os dados disponíveis foram utilizados para estabelecer os parâmetros de classificação das variáveis, esta etapa de validação só poderá ser feita em trabalhos futuros a partir de novo conjunto de dados de incêndios.

Esse método, em resumo, sugere a combinação booleana de diversas variáveis de maneira subjetiva, mas pautada no arcabouço técnico acumulado sobre o assunto. Desta forma, a partir das análises anteriores, foram selecionadas as variáveis de combustibilidade, incidência de radiação solar, forma do relevo e declividade como preponderantes para a determinação da suscetibilidade. A altitude não foi utilizada porque se considerou que a sua relação com os incêndios para a Área de Estudo se deve principalmente a outros fatores. Note-se que, seguindo a metodologia que vem sendo desenvolvida no GEOCART, a suscetibilidade se refere à capacidade de propagação do incêndio, uma vez que o risco de ignição não entra na sua composição. O mapa de potencialidade a ocorrência de incêndios para o PNI, que integra o risco de ignição está sendo desenvolvido em outro trabalho dentro da linha de pesquisa para a modelagem do conhecimento para a elaboração de mapas geológicos.

A partir da experiência de campo e do conhecimento obtido em trabalhos anteriores do GEOCART, elaborou-se a chave de classificação apresentada na Tabela 29.

Tabela 29 – Chave de classificação estabelecida para a suscetibilidade.

| Combustibilidade | Radiação | Forma | Declividade | Suscetibilidade |
|-------------------------|-----------------|--------------|--------------------|------------------------|
| Alta | Alta | Convexa | Alta | Alta |
| Alta | Alta | Convexa | Baixa | Alta |
| Alta | Alta | Planar | Alta | Alta |
| Alta | Alta | Planar | Baixa | Alta |
| Alta | Alta | Côncava | Alta | Alta |
| Alta | Alta | Côncava | Baixa | Alta |
| Alta | Média | Convexa | Alta | Alta |
| Alta | Média | Convexa | Baixa | Alta |
| Alta | Média | Planar | Alta | Alta |
| Alta | Média | Planar | Baixa | Alta |
| Alta | Média | Côncava | Alta | Alta |
| Alta | Média | Côncava | Baixa | Alta |
| Alta | Baixa | Convexa | Alta | Alta |
| Alta | Baixa | Convexa | Baixa | Média |
| Alta | Baixa | Planar | Alta | Alta |
| Alta | Baixa | Planar | Baixa | Alta |
| Alta | Baixa | Côncava | Alta | Média |
| Alta | Baixa | Côncava | Baixa | Média |
| Média | Alta | Convexa | Alta | Alta |
| Média | Alta | Convexa | Baixa | Alta |
| Média | Alta | Planar | Alta | Alta |
| Média | Alta | Planar | Baixa | Média |
| Média | Alta | Côncava | Alta | Média |
| Média | Alta | Côncava | Baixa | Média |
| Média | Média | Convexa | Alta | Alta |
| Média | Média | Convexa | Baixa | Média |
| Média | Média | Planar | Alta | Média |
| Média | Média | Planar | Baixa | Média |
| Média | Média | Côncava | Alta | Média |
| Média | Média | Côncava | Baixa | Média |
| Média | Baixa | Convexa | Alta | Média |
| Média | Baixa | Convexa | Baixa | Média |
| Média | Baixa | Planar | Alta | Média |
| Média | Baixa | Planar | Baixa | Baixa |
| Média | Baixa | Côncava | Alta | Baixa |
| Média | Baixa | Côncava | Baixa | Baixa |
| Baixa | Alta | Convexa | Alta | Média |
| Baixa | Alta | Convexa | Baixa | Média |
| Baixa | Alta | Planar | Alta | Média |
| Baixa | Alta | Planar | Baixa | Média |
| Baixa | Alta | Côncava | Alta | Média |
| Baixa | Alta | Côncava | Baixa | Média |
| Baixa | Média | Convexa | Alta | Média |
| Baixa | Média | Convexa | Baixa | Baixa |
| Baixa | Média | Planar | Alta | Média |
| Baixa | Média | Planar | Baixa | Baixa |
| Baixa | Média | Côncava | Alta | Baixa |
| Baixa | Média | Côncava | Baixa | Baixa |
| Baixa | Baixa | Convexa | Alta | Baixa |
| Baixa | Baixa | Convexa | Baixa | Baixa |
| Baixa | Baixa | Planar | Alta | Baixa |
| Baixa | Baixa | Planar | Baixa | Baixa |
| Baixa | Baixa | Côncava | Alta | Baixa |
| Baixa | Baixa | Côncava | Baixa | Baixa |
| Sem vegetação | | | | Não susceptível |

Os mapas *raster* dos temas escolhidos foram integrados através de sua combinação no *software* ArcGIS, gerando novo mapa com 72 combinações diferentes dos temas, que foram então reclassificadas de acordo com as três classes estabelecidas para a suscetibilidade: alta, média e baixa. O resultado é apresentado no mapa de suscetibilidade (Figura 58).

Uma vez elaborado o mapa foi verificado para cada incêndio, se ele ocorreu em uma área majoritariamente de alta, média ou baixa suscetibilidade. O resultado dessa análise é apresentado na Tabela 30.

Tabela 30 – Análise dos ROIs em função da classe de suscetibilidade majoritária, considerando as categorias de tamanho previamente estabelecidas.

| | A | | B | | C | | Geral | | > 10 ha | |
|----------------------------------------|----------|------|-----------|-----|------------|-----|------------|-----|-----------|-----|
| Suscetibilidade majoritariamente baixa | 0 | 0% | 0 | 0% | 1 | 1% | 1 | 1% | 0 | 0% |
| Suscetibilidade majoritariamente média | 0 | 0% | 1 | 4% | 7 | 6% | 8 | 5% | 1 | 4% |
| Suscetibilidade majoritariamente alta | 3 | 100% | 24 | 96% | 111 | 93% | 138 | 94% | 27 | 96% |
| TOTAL | 3 | | 25 | | 119 | | 147 | | 28 | |

Essa primeira análise mostra um resultado positivo para o mapa de suscetibilidade, mesmo quando comparado com o mapa de combustibilidade, que foi considerado como o componente preponderante para a ocorrência de incêndios, já que naturalmente a vegetação reflete o efeito das demais variáveis analisadas. Enquanto 95% dos incêndios analisados se encontram em áreas de combustibilidade majoritariamente alta, 96% se encontram em áreas de suscetibilidade majoritariamente alta.

A análise da distribuição das áreas atingidas pelos incêndios mostra uma correlação alta com as áreas mapeadas como de alta suscetibilidade a ocorrência de incêndios, com resultados mais abrangentes para o tema do que os demais fatores quando analisados separadamente, como se observa na Tabela 31.

Tabela 31 – Proporção da área de estudo e das áreas atingidas por incêndios (ROIs) segundo as classes de suscetibilidade e das variáveis que a compõem.

| | Área de estudo | | | | ROIs | | | |
|------------------------|----------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | Alta | Média | Baixa | N. vegetado | Alta | Média | Baixa | N. vegetado |
| Combustibilidade | 27,4% | 29,7% | 42,5% | 0,4% | 91,7% | 6,7% | 0,9% | 0,7% |
| Radiação | 40,8% | 38,8% | 20,4% | | 73,4% | 22,0% | 4,6% | |
| Forma do relevo | 45,0% | 13,0% | 42,0% | | 50,7% | 15,6% | 33,7% | |
| Declividade | 67,9% | | 32,1% | | 57,7% | | 42,3% | |
| Suscetibilidade | 38,5% | 32,4% | 28,7% | 0,4% | 93,5% | 5,5% | 0,3% | 0,7% |

MAPA DE SUSCETIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS

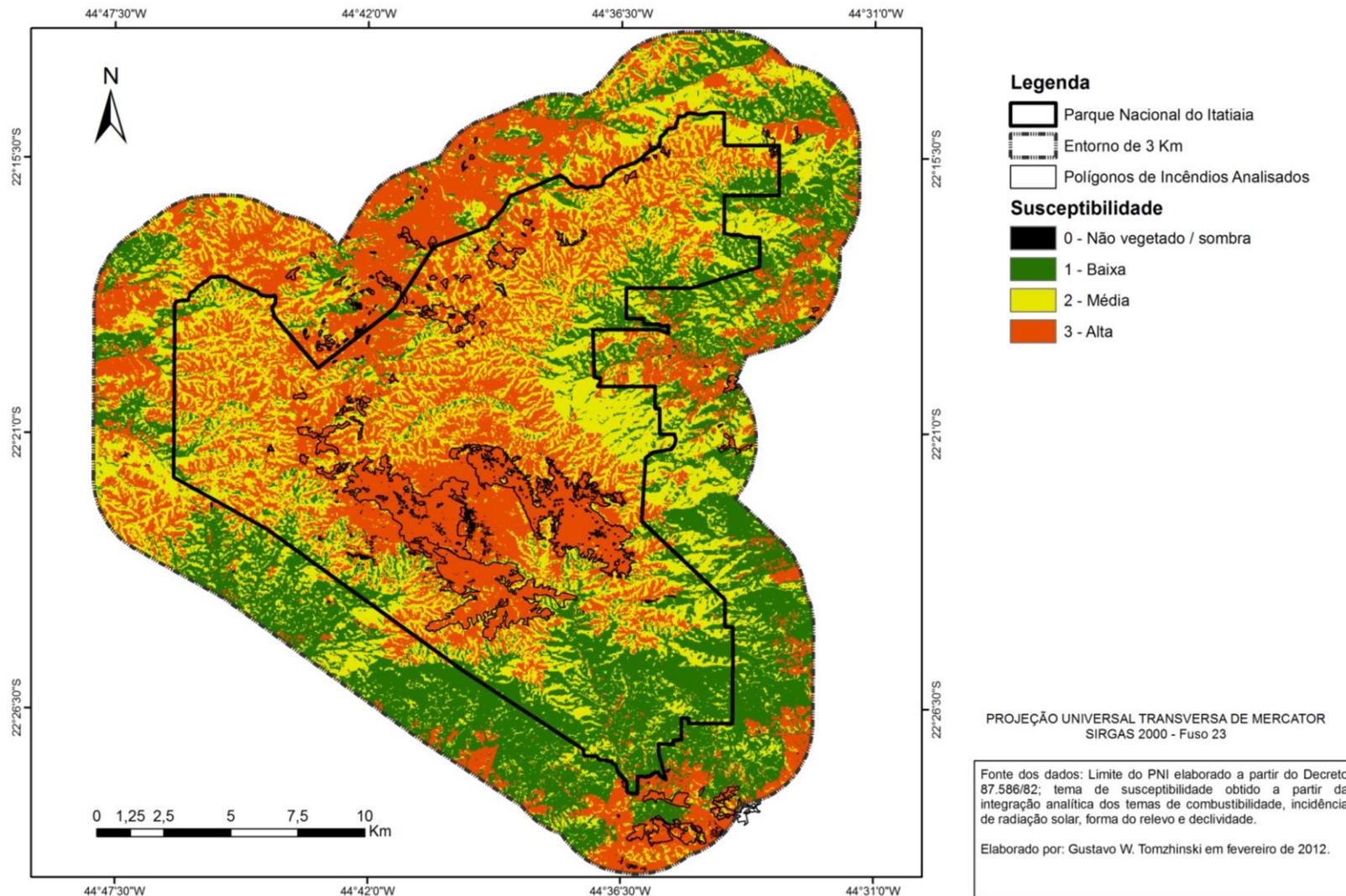


Figura 58 – Mapa de suscetibilidade a ocorrência de incêndios para a Área de Estudo

A Figura 59 mostra que apesar de a AE apresentar 39% de área considerada como sendo de alta suscetibilidade, os incêndios tiveram 94% de suas áreas com essa classificação. Quando se verifica apenas os três maiores incêndios, esse número aumenta para 95%, mostrando a validade da metodologia para identificar áreas suscetíveis à ocorrência desse fenômeno.

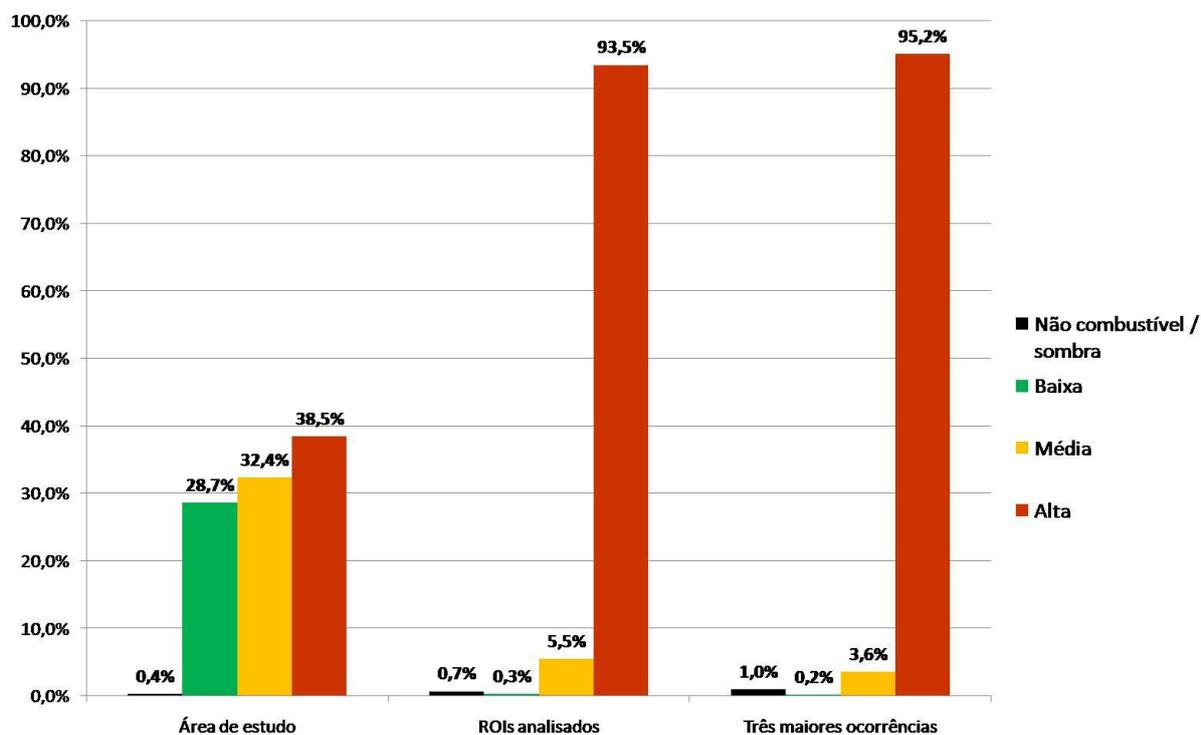


Figura 59 – Gráfico da área atingida pelos incêndios em função da combustibilidade.

A suscetibilidade é potencializada por condições climáticas críticas, que podem ser identificadas através dos indicadores de precipitação antecedente. Já o risco à ignição está diretamente ligado à ação antrópica, representada espacialmente pela proximidade às vias de transporte, edificações e propriedades particulares dentro do Parque. Nota-se que a conjunção desses fatores na AE se destaca na faixa dos 1.000 a 2.000 m de altitude, onde ocorre o maior número de incêndios e acima dos 2.000 m onde as variáveis geológicas favorecem incêndios de maior magnitude.

9. CONCLUSÕES

9.1. DETECÇÃO DE INCÊNDIOS

Os diversos métodos utilizados para detecção de incêndios são complementares. No entanto, para a área de estudo deste trabalho, concluiu-se que a detecção de focos de calor por satélite ainda é ineficaz e pouco precisa, mas pode ser bastante útil em análises históricas, levando-se em consideração as limitações do método.

Cabe destacar a importância da elaboração cuidadosa e sistemática dos Registros de Ocorrência de Incêndios (ROIs) fazendo-se a perícia e medição georeferenciada das áreas atingidas. Dados confiáveis e precisos dos ROI constituem um dos mais importantes subsídios para inúmeras linhas de pesquisas relacionadas aos incêndios, além de serem preciosas fontes de informação a o planejamento e melhoria do manejo do fogo.

9.2. REGIME DE FOGO

Como visto anteriormente, Whelan (1995) propõe a utilização do conceito de regime de fogo como sendo um resumo das características das ocorrências de incêndios que tipicamente ocorrem em determinado local. Os dados e análises dos capítulos anteriores permitem descrição do regime de fogo para a Área de Estudo, que poderá ser atualizada na medida em que ocorram mudanças na dinâmica dos incêndios ou novas informações forem surgindo.

Mesmo antes da colonização européia, o fogo já era um importante fator de modificação da paisagem na região como instrumento utilizado pelos primeiros habitantes do continente e, possivelmente, por esparsos eventos causados por fontes de ignição natural. Supõe-se que estes últimos fossem de pequenas proporções por ocorrerem basicamente na época das chuvas, uma vez que a ocorrência de raios não é comum na época seca na área de estudo.

Pelo menos ao longo das últimas oito décadas, os incêndios têm sido uma constante ano a ano, caracterizados por grande número de ocorrências de pequenas e médias proporções, que na maioria das vezes não são localizados pelos sistemas de detecção de focos de calor por satélite. Os grandes incêndios, em geral, ocorrem no Planalto das Agulhas Negras em períodos mais esparsos, variando entre três e dezoito anos, segundo os registros escritos

encontrados. Analisando apenas os incêndios de 1988, 2001, 2007 e 2010, verificou-se que o intervalo de tempo entre incêndios de grandes proporções atingindo a mesma área foi de treze, dezenove e vinte e dois anos, respectivamente, considerando que o incêndio de 1988 abrangeu a área dos outros três e que estes não se sobrepuseram..

Mesmo considerando-se apenas uma faixa de 3 km no entorno da Unidade, a maioria dos registros de incêndios é fora do Parque, entretanto as maiores áreas atingidas são dentro, possivelmente devido ao maior acúmulo de biomassa e continuidade das áreas de alta combustibilidade, além das dificuldades de acesso e deslocamento.

A maior parte dos incêndios ocorre na “Parte Alta” do Itatiaia, sendo essa a região de maior risco, abrangendo o Planalto e as bacias hidrográficas contribuintes para a bacia do rio Grande, concentrando-se principalmente no município de Itamonte. Os incêndios que ocorrem em Visconde de Mauá oferecem maior risco ao PNI do que os da “Parte Baixa”, pois a combustibilidade dentro do Parque é maior nessa região. Na “Parte Baixa”, apesar de haver muitos focos em áreas de alta combustibilidade próximas à divisas, dentro da UC a vegetação é mais densa e úmida, com baixa combustibilidade.

A maioria das ocorrências estudadas se encontra em áreas de elevada incidência de radiação solar, terreno de forma convexa e com declividade acima de 20°. O maior número de registros foi na faixa de altitude entre 1.000 e 2.000 m, porém a maior parte da área queimada está situada acima dos 2.000 m.

O tipo de fogo mais comum nos incêndios estudados é o de superfície, de rápida propagação em combustíveis leves, principalmente vegetação de campos de altitude e pastagens nativas. No entanto, não são incomuns ocorrências com fogo subterrâneo, queimando turfa, tanto em áreas abertas, quanto dentro de florestas. Ocorrências de incêndio com fogo de copa são mais raras, mas foram observadas em ocasiões em que fogo adentrou com intensidade em áreas florestadas.

São raros os incêndios causados por fontes naturais de ignição, no caso raios. A grande maioria dos incêndios é propositalmente causado pelo homem para manejo de áreas de pastagem, por conflitos com a Unidade de Conservação ou simples vandalismo, embora também existam registros de ocorrências originadas por caçadores, apicultores e turistas, possivelmente de forma acidental, além de um causado por curto na rede elétrica. As ocorrências estudadas concentram-se geralmente em áreas onde ainda não foi feita a regularização fundiária, a curta distância de vias de circulação (até 15 m) e a média distância de edificações (entre 100 e 500 m), embora em determinadas ocasiões algumas tenham sido seriamente ameaçadas pelo fogo.

A ocorrência dos maiores e/ou mais severos incêndios está diretamente ligada aos fatores climáticos, especialmente às variações na precipitação. Em geral, nos anos em que foram registradas grandes ocorrências, o acumulado de chuva nos meses de junho a agosto ou julho a setembro foi abaixo da média dos últimos 28 anos. Outro fator importante a ser considerado é a ocorrência de geadas, que provoca o ressecamento da vegetação.

Ao longo do ano, os incêndios concentram-se principalmente no inverno, com o período mais crítico normalmente compreendido entre o início de agosto e os primeiros vinte dias de setembro, podendo variar ao longo dos anos devido à flutuação do regime de chuvas. Para o período observado verifica-se que, apesar do maior número de incêndios estar concentrado em agosto, a maior área queimada deveu-se a ocorrências iniciadas em setembro, quando foram registrados 50% dos grandes incêndios e 67% das áreas atingidas por eles.

9.3. MAPEAMENTO GEOCOLÓGICO DA SUSCETIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS

Segundo as análises realizadas, concluiu-se que 38,5% da Área de Estudo apresentam alta suscetibilidade a incêndios a partir da integração das variáveis de combustibilidade, incidência de radiação solar, forma do relevo e declividade. Dentro do escopo desse estudo apenas 0,9% dessa área de alta suscetibilidade foi atingida pelo fogo. Embora tenha próxima relação com os incêndios, a altitude não foi incluída na composição do mapa de suscetibilidade por considerar-se que para a AE ela representa espacialmente onde se concentram condições favoráveis a ocorrências de incêndios em função das outras variáveis, não sendo uma característica intrínseca da própria altitude

A avaliação de cada uma das variáveis separadamente levou à proposição de limites críticos para elas uma segundo a relação com a ocorrência de incêndios, observando-se uma preponderância da combustibilidade, seguida pela incidência de radiação solar, forma do relevo e declividade. Este fato se explica porque a composição e fisionomia da vegetação já é por si só, uma resultante da combinação de uma série de variáveis, entre as quais se incluem as consideradas acima, além do uso do solo.

Condições climáticas, em particular a precipitação, potencializam suscetibilidade. Neste sentido, mesmo que uma área seja de alta suscetibilidade à ocorrência de incêndios, a probabilidade do fogo atingir grandes proporções é condicionada pelas variáveis climáticas. No caso, buscou-se estabelecer limites de precipitação acumulada a partir dos quais podem ocorrer incêndios de maiores proporções. Apesar da limitação do

espaço de tempo estudado verificou-se, por exemplo, que mesmo com um acumulado em 120 dias de 324 mm, que é um valor alto em função do histórico de análise, ocorreu um incêndio de grandes proporções em 2007. A título de comparação, note-se que esse valor é superior à média para os últimos 28 anos do acumulado entre os meses de junho a setembro, que é de 268 mm.

Através da comparação de seis indicadores de precipitação acumulada (dias sem chuva e precipitação acumulada em 10, 30, 60, 90 e 120 dias) concluiu-se que a análise de cada um deles em separado não seria suficiente para prever condições críticas para os cinco maiores incêndios estudados. No entanto, para cada um dos incêndios pelo menos dois indicadores apontavam níveis críticos para a ocorrência de incêndios, apontando para a complementaridade entre eles.

Considerando que são raras as ocorrências de incêndio originadas de causas naturais, para que haja a ignição do fogo são determinantes as variáveis sócio-econômicas. Certamente não é por acaso que 93% dos incêndios dentro do Parque estão em áreas particulares, ressaltando a estreita ligação entre o fogo e a falta de regularização fundiária. Além disso, 73% dos 147 incêndios analisados estão a até 15 m das feições consideradas para o mapeamento do risco à ignição: vias de transporte, edificações e propriedades particulares dentro do Parque, mesmo considerando-se as limitações da base cartográfica.

O cruzamento do mapa de suscetibilidade à ocorrência de incêndios com os ROIs, mostrou que estes tiveram 93% das áreas atingidas consideradas de alta suscetibilidade, apontando para a validade da metodologia, apesar da necessidade de validação com dados futuros.

A suscetibilidade é potencializada por condições climáticas críticas, que podem ser identificadas através dos indicadores de precipitação antecedente. Já o risco à ignição está diretamente ligado à ação antrópica, representada espacialmente pela proximidade às vias de transporte, edificações e propriedades particulares dentro do Parque. Nota-se que a conjunção desses fatores na AE se destaca na faixa dos 1.000 a 2.000 m de altitude, onde ocorre o maior número de incêndios e acima dos 2.000 m onde as variáveis geológicas favorecem incêndios de maior magnitude.

9.4. LIMITAÇÕES DO ESTUDO E QUESTIONAMENTOS PARA TRABALHOS FUTUROS

O estudo foi limitado pela falta de dados climáticos como temperatura, umidade relativa e intensidade e direção dos ventos, que certamente ampliariam os horizontes da análise. No entanto a utilização da precipitação de forma isolada resultou em informações de significativa importância, com a vantagem da simplicidade. Outro fator limitante foi o fato da metodologia proposta para o mapeamento da combustibilidade ainda estar sendo aprimorada. Mesmo assim os resultados encontrados nessa classificação foram satisfatórios, especialmente para a “Parte Alta” do PNI, onde os incêndios ocorrem em maior número e magnitude.

A construção do conhecimento é um ciclo no qual quanto mais se descobre mais dúvidas se tem. Ao longo do período dedicado a esse estudo, novos questionamentos foram levantados, que podem vir a ser esclarecidos por trabalhos futuros, como por exemplo:

- Ⓢ Que novas informações podem ser agregadas a partir de uma análise histórica das imagens de satélite? Qual recorrência de incêndios nas mesmas áreas? Os incêndios que não foram medidos em campo tiveram suas áreas super ou sub-estimadas?
- Ⓢ A área de florestas aumentou ou diminuiu ao longo das últimas décadas no Itatiaia? Qual a sua relação com os incêndios? Qual a vegetação potencial da área de estudo?
- Ⓢ Como mensurar os danos causados pelos incêndios florestais?
- Ⓢ Que quantidade de biomassa acumulada nos campos de altitude é necessária para a ocorrência dos grandes incêndios? É possível controlá-la sem grandes danos ao ecossistema? Como?
- Ⓢ Qual a influência dos outros fatores climáticos, como temperatura, ventos e umidade relativa do ar nos incêndios do Parque? Qual a influência dos grandes fenômenos climatológicos, como El Niño, na suscetibilidade aos incêndios?
- Ⓢ Qual a composição ideal de um índice de incêndio apontando as condições de risco de incêndio, mantendo um nível de alerta eficiente e eficaz?

9.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande dimensão do problema dos incêndios no Itatiaia é a resultante da combinação de uma série de fatores que contribuem para que o fogo seja uma das principais ameaças a essa Unidade de Conservação. Procurou-se, sem a pretensão de esgotá-los, analisar alguns dos principais fatores humanos, climáticos, físicos e bióticos que concorrem para que a questão assuma a proporção e gravidade que ao longo do tempo vem modificando a paisagem do primeiro Parque Nacional do Brasil, ameaçando a sua biodiversidade. Cabe destaque o fato de que os resultados encontrados reforçam de forma urgente a necessidade da regularização fundiária como uma medida básica para a prevenção de incêndios em UCs de proteção integral.

Os dados e informações aqui contidos podem ser de grande valia para o planejamento das ações de prevenção e combate aos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia e de outras UCs, bem como para o seu manejo de maneira geral. Além disso, auxiliam na compreensão da questão do fogo e seu papel na formação da paisagem, especialmente nas Unidades de Conservação, trazendo as seguintes contribuições à metodologia utilizada no GEOHECO e GEOCART: análise frente às informações de campo comparando quantidade de ocorrências e área atingida, estabelecimento de parâmetros para a classificação das variáveis, descrição do regime de fogo, utilização da classe planar para forma de relevo, análise da declividade e altitude e análise da precipitação acumulada frente aos incêndios.

Desta forma, buscou-se incentivar e subsidiar estudos futuros, especialmente aqueles relacionados à modelagem do conhecimento para os cenários de avaliação para a ocorrência de incêndios florestais, projeto maior em andamento no GEOCART.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. P. (2011). **Revisão do Plano de Manejo do Parque Nacional do Itatiaia: Diagnóstico do Meio Físico**. Relatório técnico, 97p.
- ANA – Agência Nacional de Águas (2011). **Dados brutos da estação pluviométrica de Visconde de Mauá (02244047) – 1937 a 2011**. Arquivo eletrônico enviado por e-mail. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/>.
- ASSIS, A. V. R. (1988). **1º Encontro para Prevenção e Combate a Incêndio no Parque Nacional do Itatiaia**. Relatório síntese. 12p.
- AXIMOFF, I. & RODRIGUES, R. C. (2011). **Histórico dos Incêndios Florestais no Parque Nacional do Itatiaia**. In: Ciência Florestal, v. 21, n,1, p.83-92. Santa Maria, RS.
- AXIMOFF, I. (2007). **Impactos do fogo na vegetação do Planalto do Itatiaia**. Relatório Técnico, 17p.
- AXIMOFF, I. (2011). **O que Perdemos com a Passagem do Fogo pelos Campos de Altitude do Estado do Rio de Janeiro?** In: Biodiversidade Brasileira – Número Temático sobre Ecologia e Manejo de Fogo em Áreas Protegidas. ICMBio, Brasília, DF. Ano I, n. 2, p. 180 - 200. Disponível em:
- BARROS, W. D. (1955). **Parque Nacional do Itatiaia**. Serviço de Informação Agrícola. 55p.
- BARTH, R. (1957) **A Fauna do Parque Nacional do Itatiaia**. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia*, N° 6. Itatiaia/RJ, 149p.
- BERTRAND, G. (1982) - **Paisaje y Geografia Física Global**. In: Mendonza, J.G.; Jiménez, J.M. & Cantero, N.O., El pensamiento geográfico-estudo interpretativo y antología de textos (De Humbolt a las tendencias radicales). ed. Alianza, Madri, pp.461 - 464.
- BOVIO, G. & CAMIA, A. (1997) – **Meteorological indices for large fires danger rating**. In: CHUVIECO, E. (Editor). A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires (Megafires project ENV-CT96-0256). Alcalá de Henares, Espanha, pp. 73-89.
- BRADE, A. C. (1956) **A flora do Parque Nacional do Itatiaia**. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia*, N° 5. Itatiaia/RJ, 114p.
- BRASIL (1984). **Decreto N° 89.817 De 20 de junho de 1984**. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Publicado no Diário Oficial da União em 22/06/1984. Disponível em <<http://www.concar.ibge.gov.br/detalheDocumentos.aspx?cod=8>>. Acesso: 22 de dezembro de 2011.
- BRASIL (2000). **Lei N° 9.985 de 18 de julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União em 19/07/2000.
- BRASIL (2002). **Decreto n° 4.339, de 22 de agosto de 2002**. Institui princípios e diretrizes para a implementação da Política Nacional da Biodiversidade.
- BRASIL (2006). **Lei N° 11.428 de 22 de dezembro de 2006**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União em 26/12/2006, retificado no DOU de 09/01/2007.

- BRIDGEWATER, P. B. (1993) - **Landscape ecology, geographic information systems and nature conservation**. In: HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D.R. & COUSINS, S.H. (editors) *Landscape Ecology and GIS*, cap. 3, pp. 23 - 36.
- BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Monographs on Soil and Resources Survey N° 12, New York: Oxford University Press, 1986, 193 p.
- CALDARARO, N. (2002) – **Human Ecological Intervention and the Role of Forest Fires in Human Ecology**. In: *The Science of the Total Environment*, v. 292, p. 141-165
- CAMPO, J.; ANDREU, V.; GIMENO-GARCÍA, E.; GONZÁLEZ, O.; RUBIO, J.L. (2006) – **Ocurrence of soil erosion after repeated experimental fires in a Mediterranean environment**. In: *Geomorphology*, v. 82, p. 376 – 387.
- CARVALHO, M. S., CÂMARA, G. (2004). **Análise de Eventos Pontuais**. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds) *Análise Espacial de Dados Geográficos*, cap. 2. Brasília, EMBRAPA, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 7 de março de 2011.
- CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G. (1989). **Application os Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping**. In: *Remote Sensing Environment*, 29, pp.147-159.
- CHUVIECO, E.; RIAÑO, D.; AGUADO, I.; COCERO, D. (2002). **Estimation of Fuel Moisture Content from Multitemporal Analysis of Landsat Thematic Mapper Reflectance data: Applications in Fire Danger Assessment**. In: *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, No. 11, pp. 2145-2162.
- CHUVIECO, E.; SALAS F. J.; VEGA, C. (1997) – **Remote Sensing and GIS for Long-Term Fire Risk Mapping**. In: CHUVIECO, E. (Editor). *A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires (Megafires project ENV-CT96-0256)*. Alcalá de Henares, Espanha, pp. 73-89.
- COELHO NETTO, A. L., AVELAR, A. S., FERNANDES, M. C., LACERDA, W. A. (2007) **Landslide Susceptibility in a Mountainous Geocosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The Role of Morphometric Subdivision of the Terrain**. In: *Geomorphology* (Amsterdam). v.87, p.120 – 131.
- COELHO NETTO, A. L., DANTAS, M. E.; ROSAS, R. O. (1993). **Grandes domínios geoecológicos da Amazônia Legal (1:2.500.000): bases para o estudo dos efeitos de borda das linhas de transmissão de energia a serem implantadas na Amazônia florestal**. Relatório solicitado pela ELETROBRÁS, 26 p.
- CORRÊA, R. L. (2008). **Espaço, um Conceito-chave da Geografia**. In: CASTRO, I. E.; Gomes, P. C. C.; CORRÊA, R. L. (editores) *Geografia: Conceitos e Temas*. Rio de Janeiro; Bertrand Brasil, pp. 15-47.
- COSTA, A. C. (Sem data). **Histórico do Parque Nacional do Itatiaia**. Resumo de levantamento documental realizado para o Núcleo de Educação Ambiental do Parque Nacional ddo Itatiaia.
- COSTA, G. A. O .P.; PINHO, C. M. D.; FEITOSA, R. Q.; ALMEIDA, C. M.; KUX, H. J. H.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. (2008). **InterIMAGE: Uma plataforma cognitiva open source para a interpretação automática de imagens digitais**. *Revista Brasileira de Cartografia – RBC*, nº 60/4, p.331-337, dez 2008.

- COSTA, V. C.; CARNEIRO, C. G. (2010). **Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações**. Notas de Aula de Interpretação de Fotografias Aéreas e Processamento Digital de Imagens, não publicadas. Programa de Pós-Graduação em Geografia, UERJ, 2º semestre de 2010.
- COURA P. H. F., SOUSA G. M., FERNANDES M. C. (2009). **Mapeamento geocológico da susceptibilidade à ocorrência de incêndios no maciço da Pedra Branca, município do Rio de Janeiro**. Anuário do Instituto de Geociências; 32 (2):14-25.
- CRUZ, C. B. M. (2000) - **As bases operacionais para a modelagem e implementação de um banco de dados geográficos em apoio à gestão ambiental - um exemplo aplicado à bacia de campo, RJ**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, 394 p.
- DALCUMUNE, M. A. B.; SANTOS A. R. (2005). **Mapeamento de Índice de Risco de Incêndio para a Região da grande Vitória/ES Utilizando Imagens do Satélite LANDSAT para o Ano de 2002**. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil. Abril de 2005. INPE.
- DEAN, W. (1996). **A Ferro e a Fogo: A História da Devastação da Mata Atlântica Brasileira**. Companhia das Letras. São Paulo, SP. 483 p.
- DOMINGOS, S. I. S. (2006) - **Análise do índice de seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e sua comparação com o Palmer Drought Severity Index (PDSI)**. Tese de licenciatura em Meteorologia, Oceanografia e Geofísica Interna – variante Meteorologia. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 53 p.
- DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (2004). **Análise Espacial e Geoprocessamento**. Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Distrito Federal, Brasil. 208p.
- DRUMMOND, J. A. (1997). **Devastação e Preservação Ambiental: Os Parques Nacionais do Rio de Janeiro**. Editora da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. 306p.
- DUSEN, P. K. H. (1955). **Contribuições para a Flora do Itatiaia**. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia*, N° 4. Itatiaia/RJ, 91p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1999). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Serviço de Produção de Informação. 412p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2011). **Monitoramento por Satélite – Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Disponível em <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso: 14 de dezembro de 2011.
- ESRI INC., 2008. Arc Gis version 9.3. New York Street, Redlands, California.
- FALLEIRO, R. M. (2011). **Resgate do Manejo Tradicional do Cerrado com Fogo para Proteção das Terras Indígenas do Oeste do Mato Grosso: um Estudo de Caso**. In: Biodiversidade Brasileira – Número Temático sobre Ecologia e Manejo de Fogo em Áreas protegidas. ICMBio, Brasília, DF. Ano I, n. 2, p. 86-96.

- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2012). **Forests and fire.** Disponível em <<http://www.fao.org/forestry/firemanagement/en/>>. Acesso em 09 de fevereiro de 2012.
- FEARNSIDE, P. M. (2002) **Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira.** *Estud. av.* [online]. 2002, vol.16, n.44, pp. 99-123. ISSN . doi: 10.1590/S0103-40142002000100007. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142002000100007. Acesso em 4 Out 2009.
- FERNANDES, M. C. (1998) **Geocologia do Maciço da Tijuca - RJ: Uma Abordagem Geo-Hidroecológica** (1998). Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, 141 p.
- FERNANDES, M. C. (2004) **Desenvolvimento de Rotina de Obtenção de Observações em Superfície Real: Uma Aplicação em Análises Geoecológicas.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, 263 p.
- FERNANDES, M. C. (2009). **Discussões conceituais e metodológicas do uso de geoprocessamento em análises geoecológicas.** In: BICALHO, A. M. S. M., GOMES, P. C. C. (organizadores). *Questões metodológicas e novas temáticas na pesquisa geográfica.* Rio de Janeiro: Publit. p. 280-299.
- FERNANDES, M. C., MENEZES, P. M. L. (2005). **Comparação entre Métodos para geração de MDE para a Obtenção de Observações em Superfície Real no Maciço da Tijuca - RJ.** In: RBC - Revista Brasileira de Cartografia N° 57/02, 154-161.
- FERNANDES, M. C., MENEZES, P. M. L. (2007). **Avaliação do uso de observações em superfície real para análises geoecológicas de dinâmica da paisagem: um estudo de caso no maciço da Tijuca – RJ (1972-1996).** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3869-3876. Disponível em <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.27.13.46/doc/3869-3876.pdf>.
- FERNANDES, M. C.; COURA, P. H. F.; SOUSA, G. M.; AVELAR, A. S. (2011). **Mapeamento Geoecológico de Susceptibilidade À Ocorrência de Incêndios no Estado do Rio de Janeiro.** In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). Curitiba, PR, Brasil. INPE p. 7988-7995.
- FERNANDES, M. C.; MENEZES, P. M. L.; PAES, M. (2002) **Potencialidades e limitações do Geoprocessamento em Estudos Geoecológicos.** In: *Revista de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ*, ano 5, vol (5): 53-68
- FERNANDES, P.; BOTELHO, H.; LOUREIRO, C. (2002). **Manual de Formação para a Técnica do Fogo Controlado.** Universidade de Trás-os-Montes e AltoDouro – UTAD, Departamento Florestal. Vila Real,PT. Disponível em< http://www.cifap.utad.pt/Fernandes_Manual_Forma%E7%E3o%20T%E9cnica%20Fogo%20Controlado.pdf>. Acesso em 07 de março de 2011.
- FORMAN, R. T. T. & GODRON, M. (1986) - **Overall structure.** In: *Landscape Ecology.* New York: wiley, cap. 6, pp. 191 - 221.
- FRANÇA, H.; RAMOS, M. B. & SETZER, A. (2007). **O Fogo no Parque Nacional das Emas.** Ministério do Meio Ambiente – MMA. Brasília, 140p.

- FURNAS (2011). **Dados brutos das estações pluviométricas AGNE e PQUE – 1984 a 2011**. Planilha eletrônica. Dados não publicados, fornecidos para uso em pesquisa mediante autorização. FURNAS Centrais Elétricas S. A., Rio de Janeiro, RJ.
- FURTADO, L. M. V.; MAGRO, T. C.; FREIXÊDAS-VIEIRA, V. M.; ESSOE, B.; BARROS, M. I. A. (2001) – **Plano de Uso Público – Parque Nacional do Itatiaia**. Brasília, 199 p.
- GIMENO-GARCÍA, E., ANDREU, V., RUBIO, J. L. (2000) - **Changes in organic matter, nitrogen, phosphorus and cations in soil as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape**. In: European Journal of Soil Science, v. 51 Issue 2, p. 201–210.
- GOMES, P. C. C. (2009) - **Um Lugar para a Geografia: contra o simples, o banal e o doutrinário**. In: Mendonça, Francisco de Assis; Lowen-Sahr, Cicilian Luiza; Silva, Márcia da (organizadores). Espaço e tempo: complexidades e desafios do pensar e do fazer geográfico. Curitiba: Associação de Defesa do Meio Ambiente e Desenvolvimento de Antonina (ADEMADAN), pp. 13-30.
- GONZÁLEZ, J. R.; PALAHÍ, M; PUKKALA, T. (2005). **Integrating Fire Risk Considerations in Forest Management Planning in Spain – A Landscape Level Perspective**. In: Landscape Ecology 20, 957-970.
- HARTFORD, R. A., FRANSESN, W. H. (1992). **When it's hot, it's hot - or maybe it's not (surface flaming may not portend extensive soil heating)**. In: J. Wild Fire 2, 139 - 144.
- HERMANN, G. (2011). **Incorporando a Teoria ao Planejamento Regional da Conservação: a experiência do Corredor Ecológico da Mantiqueira**. Valor Natural, Belo Horizonte, MG. 228 p.
- HIPARC (2011). **Projeto IKONOS – Itatiaia. Processamento Digital de Imagens**. Relatório Técnico, julho de 2011, 36p.
- HONKALA, J. & NIIRANEN, S. (2010). **A Birdwatching Guide to South-East Brazil**. Printon Trükikoda, Estonia.
- HUBBERT, K.R.; PREISLER, H.K.; WOHLGEMUTH, P.M.; GRAHAM, R.C.; NAROG, M.G. (2005) – **Prescribed burning effects on soil physical properties and soil water repellency in a steep chaparral watershed, southern California, USA**. In: Geoderma, v. 130, p. 284-298.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (1994). **Plano Emergencial para o Parque Nacional do Itatiaia**. Diretoria de Ecossistemas, Departamento de Unidades de Conservação, Brasília, DF. 83p.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2008a). **Registros de Incêndios para o Parque Nacional do Itatiaia 1988-2007**. Dados não publicados, planilha eletrônica encaminhada ao PNI. PREVFOGO, Brasília, DF.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2008b). **Roteiro Metodológico para Elaboração de Planos Operativos de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais em Unidades de Conservação**. PREVFOGO, Brasília, DF. 16p.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2009). **Relatório de Ocorrência de Incêndios em Unidades de Conservação Federais 2005-2008**. PREVFOGO, Brasília, DF. 31p.

- IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1982) – **Plano de manejo do Parque Nacional do Itatiaia**. Brasília, 207p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1992) – Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Centro de Documentação e Disseminação de Informações / IBGE, Rio de Janeiro, 92 p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2000) - Primeira Divisão de Geociências do Nordeste – **Introdução ao processamento digital de imagens**. Centro de Documentação e Disseminação de Informações / IBGE, Rio de Janeiro, 92 p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (2005). **Projeto Pontos Culminantes: IBGE calcula nova altitude do Monte Roraima**. Nota de imprensa atualizada em 29/07/2005 e disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=412&id_pagina=1&titulo=IBGE-calcula-nova-altitude-do-Monte-Roraima >. Acesso em 20/06/2011.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (2011). **Imagens do Satélite ALOS – Sensores**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/alos/sensores.php> >. Acesso em 06/03/2011.
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, (2009). **Primeira Monitoria e Avaliação Assistida dos Instrumentos de Planejamento da Parte Baixa do Parque Nacional do Itatiaia**. Brasília, 40p.
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, (2010a). **Apostila para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Diretoria de Unidades de Conservação de Proteção Integral, Coordenação Geral de Proteção Ambiental. Brasília, 87 p.
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, (2010b). **Registros de Ocorrência de Incêndios e Dados Digitais de Ocorrências de Incêndios**. Núcleo de Prevenção e Combate a Incêndios do Parque Nacional do Itatiaia. Não publicado. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, (2011). **Registros de Ocorrência de Incêndios e Dados Digitais de Ocorrências de Incêndios**. Núcleo de Prevenção e Combate a Incêndios do Parque Nacional do Itatiaia. Não publicado. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.
- ICONA - Instituto Nacional para La Conservacion de La Naturaleza, (1993). **Manual de Operaciones Contra Incendios Forestales**. Ministerio de Agricultura Pesca y Aliementacion. Madir, Espanha.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2008). **TOPODATA: Banco de Dados geomorfométricos do Brasil**. São José dos Campos, SP. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> >. Acesso em 12 de março de 2012.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2010). **Dados vetoriais pontuais de focos de calor. Programa de Monitoramento de Focos**. São José dos Campos. Disponível em: <<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/>>. Acesso em 17 de Dezembro de 2010.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2011). **Perguntas Frequentes**. Programa de Monitoramento de Focos. <<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/perguntas.html>>. (Acesso em 09/01/2011).

- JACQUES, A. V. A. (2003). **Fire on native pastures: effects on soil and vegetation**. *Cienc. Rural.*, Santa Maria, v. 33, n. 1, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782003000100030&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 30 Mar 2007. Pré-publicação. doi: 10.1590/S0103-84782003000100030.
- KOPROSKI, L.; FERREIRA, M. P.; GOLDAMMER, J. G.; BATISTA, A. C. (2011). **Modelo de Zoneamento de Risco de Incêndios para Unidades de Conservação raseiras: o Caso do Parque Estadual do Cerrado**. In: *Floresta*, Curitiba, PR v. 41, n.3, PP. 551-562.
- LANDIS, J. R. & KOCH, G. G. (1977). **The measurement of observer agreement for categorical data**. *Biometrics*, v.33, n.1, p. 159-174.
- LASANTA, T.; CERDÀ, A. (2005) - **Long-term erosional responses after fire in the Central Spanish Pyrenees**. In: *Catena*, v. 60, p. 81 - 100.
- MAGRO, T. C. (1999). **Impactos do Uso Público em Uma Trilha no Planalto no Parque Nacional do Itatiaia**. Tese de Doutorado em Ciências Ambientais. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 135 P
- McKEE, T. B., DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. (1993). **The relationship of drought frequency and duration to the time scales**. 8th Conference on Applied Climatology, pp.179-184.
- McKEE, T. B., DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. (1995). **Drought monitoring with multiple time scales**. 9th Conference on Applied Climatology, pp.233-236.
- MEIS, M. R. M; MIRANDA, L. G. H. & FERNANDES, N. F. (1982) **Desnívelamento de altitude como parâmetro para a compartimentação do relevo: bacia do Médio Vale do rio Paraíba do Sul**. *Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia*. Salvador 4: 1489-1509.
- MELO, M. M. & SAITO, C. H. (2011). **Regime de Queima das Caçadas com Uso do Fogo Realizadas pelos Xavante no Cerrado** In: *Biodiversidade Brasileira – Número Temático sobre Ecologia e Manejo de Fogo em Áreas protegidas*. ICMBio, Brasília, DF. Ano I, n. 2, p. 97-109.
- MENEZES, P. M. L. (2000) **A interface Cartografia-Geoecologia nos estudos diagnósticos e prognósticos da paisagem: um modelo de avaliação de procedimentos analítico-integrativos**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, 208p.
- MISTRY J. & BIZERRIL, M. (2011). **Por Que é Importante Entender as Inter-Relações entre Pessoas, Fogo e Áreas Protegidas?** In: *Biodiversidade Brasileira – Número Temático sobre Ecologia e Manejo de Fogo em Áreas protegidas*. ICMBio, Brasília, DF. Ano I, n. 2, p. 40-49.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2004). **Portaria nº 126, de 27 de maio de 2004**. Estabelece Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2007). **Histórico das Áreas Protegidas**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/tomenota.cfm?tomenota=/port/sbf/dap/capa/index.html&titulo=P> arques. Consulta em abril de 2007.

- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2008). **Livro Vermelho das espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção**. Disponível em : <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=179&idConteudo=8122&idMenu=8631>
- MODENESI, M. C. (1992). **Depósitos de Vertente e Evolução Quaternária do Planalto do Itatiaia**. In: Revista IG, 13(1), p. 31-46.
- MOREIRA, A. G. (1996). **Proteção Contra o Fogo e Seu Efeito na Distribuição e Composição de Espécies de Cinco Fisionomias de Cerrado**. In: MIRANDA, H. S.; SAITO, C. H.; DIAS, B. F. S. (organizadores). Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 187p.
- MYERS, R. L. (2006). **Convivir com El Fego – Manteniendo los Ecosistemas y los Medios de Subsistencia Mediante el Manejo Integral del Fuego**. Iniciativa Global para el Manejo del Fuego, The Nature Conservancy.
- NASCIMENTO, L. (2001). **O Incêndio Florestal do Parque Nacional do Itatiaia**. In: PRAÇA, G. & CESAR, L. C., organizadores. O Pensamento Ambiental em Resende. Crescente Fértil, Resende,RJ.
- NAVEH, Z. & LIEBERMAN, A. (1993) – *Landscape Ecology: Theory and Application*, 2nd Ed. New York. Springer Verlag, 265 p.
- NEARY, D. G.; KLOPATEK, C. C.; DeBANO, L. F.; FFOLLIOTT, P. F. (1999) - **Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis**. In: Forest Ecology and Management, v. 122, p. 51 - 71.
- OLIVEIRA, R. R.; ZAÚ, A. S.; LIMA, D. F.; SILVA, M. B. R.; VIANNA, M. C.; SODRÉ, D. O.; SAMPAIO, P. D. (1995) - Significado Ecológico da Orientação de Encostas no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro. In: Oecologia Brasiliensis, vol I, p. 523-541. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biologia, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- PANTOJA, N. V. & BROWN, I. F. (2007). **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: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE. pp. 4501-4508.
- PANTOJA, N.V.; SELHORST, D.; ROCHA, K. DA S.; LOPES, F.M. DA C.; VASCONCELOS, S.S. DE & BROWN, I.F. (2005). Observações de queimadas no leste do Acre: subsídios para validação de focos de calor derivados de dados de satélites. p. 3215-3222. In: XXII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE.
- PEREIRA, I. M.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. O.; BOTELHO, S. A.; CARVALHO, W. A. C.; FONTES, M. A. L.; SCHIAVINI, I. & SILVA, A. F. (2006). **Composição Florística Do Compartimento Arbóreo De Cinco Remanescentes Florestais Do Maciço Do Itatiaia, Minas Gerais E Rio De Janeiro**. In: Rodriguésia, 57(1): 103-126.
- PEZZOPANE, J. E. M.; OLIVEIRA NETO, S. N.; VILELA, M. F. (2001). **Risco de Incêndios em Função da Característica do Clima, Relevo e Cobertura do Solo**. In: Floresta e Ambiente, V.8, n.1, PP. 161-166.
- PM/PR - Polícia Militar do Paraná (2011). Orientações de Segurança – O que é fogo?. Disponível em

<<http://www.policiamilitar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=212>>.

Acesso em 07 de março de 2011.

- PONZONI, F. J. & SHIMABUKURU, Y. E. (2007). **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed. 135 p.
- PONZONI, F. J. (2001). **Comportamento Espectral da Vegetação**. In: MENESES, P. R. & MADEIRA NETTO (Organizadores). Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais. UnB, EMBRAPA Cerrados. Brasília, DF, pp. 157-177.
- RAMOS, P. C. M. (1995) **Sistema Nacional de Prevenção e Combate Aos Incêndios Florestais**. In: *Anais IPEF – I Fórum Nacional sobre incêndios florestais – III Reunião Conjunta IPEF-FUPEF-SIF*: 29:38, Abril, 1995. Disponível em http://www.ipef.br/publicacoes/forum_incendios/cap09.pdf Acesso em 4 Out 2009.
- RIBEIRO, K. T. & MEDINA, B. M. O. (2002) **Estrutura, Dinâmica e Biogeografia das Ilhas de Vegetação Sobre Rocha do Planalto do Itatiaia**. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia*, N° 10. Itatiaia/RJ, 84p.
- RIBEIRO, K. T. (2001). Incêndio no Planalto do Itatiaia – Parecer Técnico sobre Uso Público do Planalto do Itatiaia imediatamente após o incêndio. Itatiaia, 11p.
- RIBEIRO, K. T.; MEDINA, B. M. O. & SCARANO F. R. (2007). **Species composition and biogeographic relations of the rock outcrop flora on the high plateau of Itatiaia, SE-Brazil**. In: *Revista Brasileira de Botânica*, V. 3, n. 4, p. 623-639
- RICHTER, M. (2004). **Geotecnologias no Suporte ao Planejamento e Gestão de Unidades de Conservação Estudo de caso: Parque Nacional do Itatiaia**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, IGEO, Programa de Pós Graduação em Geografia. Rio de Janeiro, 162p.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. (2007). *Geoecologia das Paisagens: uma visão sistêmica da análise ambiental*. Edições UFC, Fortaleza, CE, 2ª Ed., 222p.
- SANTOS, A. A. & ZIKAN, C. E. (2000). **Descrição Geral do Parque Nacional do Itatiaia**. In: SANTOS A. A. (editor), *Cadernos Para o Desenvolvimento Sustentável – vol. 3: O Parque Nacional do Itatiaia*. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, Rio de Janeiro, RJ. 173p.
- SANTOS, M. (1991) - **Paisagem e espaço**. In: *Metamorfose do Espaço Habitado*. Ed. Hucitec, São Paulo, S.P., cap. 5, pp. 61 - 74.
- SATO, M. N.; MIRANDA, H. S. (1996). **Mortalidade de Plantas Lenhosas do Cerrado *Sensu Stricto* Submetidas a Diferentes Regimes de Queima**. In: MIRANDA, H. S.; SAITO, C. H.; DIAS, B. F. S. (organizadores). *Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga*. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 187p.
- SCHMIDT, I. B. ; SAMPAIO, M. B.; FIGUEIREDO, I. B. ; TICKTIN, T. (2011). **Fogo e Artesanato de Capim-dourado no Jalapão – Usos Tradicionais e Conseqüências ecológicas**. In: *Biodiversidade Brasileira – Número Temático sobre Ecologia e Manejo de Fogo em Áreas protegidas*. ICMBio, Brasília, DF. Ano I, n. 2, p. 67-85.
- SEGADAS-VIANNA, F.; DAU, L. (1965). **Ecology of teh Itatiaia Range, Southeaster Brazil, 2: climates and altitudinal climatic zonation**. *Arquivos do Museu Nacional*, V. 53, p.31-53.

- SETZER, A.; MORELLI, F. & JESUS, S.C. (2010). **Queimadas e incêndios na vegetação ocorridos no interior do Parque Nacional da Serra da Canastra, MG, em agosto de 2008**. Laudo Técnico. INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 18p.
- SILVA L. C. V.; FERNANDES M. C., ARGENTO M. S. F. (2009). **Mapa geocológico de potencialidade à ocorrência de incêndios no Parque Nacional do Itatiaia/RJ**. Revista Brasileira de Cartografia; 61-3:285-292.
- SILVA, G. T.; SATO M. N.; MIRANDA, H. S. (1996). **Mortalidade de Plantas Lenhosas em um Campo Sujo de Cerrado Submetido a Queimadas Prescritas**. In: MIRANDA, H. S.; SAITO, C. H.; DIAS, B. F. S. (organizadores). Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 187p.
- SILVA, L. C. V. (2006). **Modelagem Ambiental de Cenários de Potencialidade à Ocorrência de Incêndios no Parque Nacional do Itatiaia/RJ**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação, FEN/UERJ, 101p.
- SILVEIRA, H. L. F.; VETORAZZI, C.A.; VALENTE, R. O. (2008) A. **Avaliação Multicriterial no Mapeamento de Risco de Incêndios Florestais, em Ambiente SIG, na Bacia do Rio Corumbataí, SP**. In: Revista Árvore, v. 32 n. 2, p. 259-268. Viçosa, MG.
- SOARES, R. V. (1972) – **Índices de Perigo de Incêndio**. In: Revista Floresta, v. 3, n. 3, p. 19-40.
- SOUSA JUNIOR, J. G. A.; DEMATTE, J. A. M. (2008). **Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 32, n. 1. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000100043&lng=en&nrm=iso>. access on 09 Feb. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100043>.
- SOUSA, G. M. (2009). **Mapeamento Geocológico da Potencialidade à Ocorrência de Incêndios no maciço da Pedra Branca/RJ – Rio de Janeiro**: [s.n.]. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 143p.
- SOUSA, G. M.; COURA P. H. F.; FERNANDES M. C. (2010). **Cartografia geocológica da potencialidade à ocorrência de incêndios: uma proposta metodológica**. Revista Brasileira de Cartografia 2010; 62-1:277-289.
- SOUZA, C. R. G. (2005) **Suscetibilidade Morfométrica de Bacias de Drenagem ao Desenvolvimento de Inundações em Áreas Costeiras**. In: Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 6, nº 1, p. 45-61.
- SOUZA, L. G.; COURA, P. H. F.; SOUSA, G. M.; FERNANDES, M.C. & MENEZES, P.M.L. (2009). **Digital Elevation Models for Geocological Studies in Pedra Branca Massif, Rio de Janeiro, Brazil**. In: Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ. Vol. 32 – 1/2009, p. 21-33.
- STRAHLER, A.N. (1952). **Equilibrium theory of erosional slopes approaches by frequency distribution analysis**. Amer. J. Sci. 248: 673 - 696.
- TANIZAKI-FONSECA, K.; E BOHRER, C. B. A. **O fogo como fator de degradação de ecossistemas de mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro**. In: BERGALLO, H. G. et al.

(Orgs.). Estratégias e Ações para a Conservação da Biodiversidade no Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Instituto Biomas, 2009. p. 81-90.

- TAVARES JÚNIOR, J. B.; OUVENEY, M. M.; UBERTI, M. S.; ANTUNES, M. A. H. (2006) - **Avaliação de imagens Ikonos II e QuickBird para obtenção de bases cartográficas cadastrais**. Revista INFO GPS/GNSS, edição 16. Disponível em < http://www.mundogeo.com.br/revistas-interna.php?id_noticia=7208>. Acesso: 19 de outubro de 2010.
- TEIXEIRA, L. N. (2003). **“Pseudo-Aumento” da Biodiversidade Vegetal dos Campos de Altitude do Parque Nacional do Itatiaia, Pós-Incêndio**. Monografia de Final de Curso de Pós-Graduação em Perito em Meio Ambiente. Centro Universitário Salesiano, Lorena, SP. 69p.
- TEIXEIRA, L. N. (2006). **Perfil dos Incêndios do Parque Nacional do Itatiaia e Entorno**. Monografia do Curso de Especialização em Gestão do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Associação Educacional Dom Bosco, Resende, RJ. 52p.
- TOMZHINSKI, G. W. & COSLOPE, L. A. (2011). **Plano Operativo de Prevenção e Combate a Incêndios**. Apresentação em Power Point, Núcleo de Prevenção e Combate a Incêndios do Parque Nacional de Itatiaia. ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 49 slides.
- TOMZHINSKI, G. W. (2007). **Análise Estratégica para a Implementação e Proteção do Parque Nacional do Itatiaia na Região do Alto Aiuruoca**. Trabalho Final do curso de pós-graduação *lato-sensu* em Gerência Estratégica da Informação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 35p.
- TOMZHINSKI, G. W.; COURA, P. H. F.; FERNANDES, M. C. (2011). **Avaliação da Detecção de Focos de Calor por Sensoriamento Remoto para o Parque Nacional do Itatiaia** In: Biodiversidade Brasileira – Número Temático sobre Ecologia e Manejo de Fogo em Áreas Protegidas. ICMBio, Brasília, DF. Ano I, n. 2, p. 201-211. Disponível em: <https://www2.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/issue/view/15/showToc>
- TURNER, M.G. (1989) - **Landscape Ecology: Effect of Pattern on Process**. In: Annual Review of Ecological Systems, vol. 10, n0 3, pp. 171 - 197.
- UBEDA, X. (2008) - **Fire effects on soil properties: A key issue in forest ecosystems**. In: Catena, v. 74, p. 175-176.
- VALERIANO, M. M. (2008). **Topodata: Guia para a Utilização de Dados Geomorfológicos Locais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, SP. 73p.
- van WESTEN, C. J.; van ASCH, T.W.J.; SOETERS, R. (2006). **Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult?**. In: Bulletin of Engineering Geology and the Environment, v.65, p. 167-184.
- VIEGAS, D. X.; SIMEONI, A. (2011) – **Eruptive Behavior of Forest Fires**. In: Fire Technology, v. 47, p. 303 – 320.
- WHELAN, R. J. (1995) – **The Ecology of Fire**, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 346p.
- WILHITE, D. A. & GLANTZ, M. H. (1985). **Understanding the drought phenomenon: The role of definitions**. In: Water International. 10, p. 111-120.

WILLIAM, D. E. (1967). **Forest Fire Control (in Canada)**. In: For. Chronicle 43(1): p. 83-92.

XU, D.; GUOFAN, S.; DAI, L.; HAO, Z.; TANG, L.; WANG, H. (2006) - **Mapping forest fire risk zones with spatial data and principal component analysis**. In: *Science in China: Series E Technological Sciences*, v.49, Supp. I, p. 140—149.