

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA
DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PERIGO DE
INCÊNDIOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

VINÍCIUS BORGES ILLANA

**Santa Maria, RS, Brasil
2006**

UFSM
CCR
2006
I 29+

ii

TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PERIGO DE INCÊNDIOS

por

Vinicius Borges Illana

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração em Sensoriamento Remoto, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Geomática**

Orientador: Prof. Dr. Pedro Roberto de A. Madruga

Santa Maria, RS, Brasil
2006

00024306

043418

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA DETERMINAÇÃO DO
ÍNDICE DE PERIGO DE INCÊNDIOS**

elaborado por
Vinícius Borges Illana

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:


Pedro Roberto de Azambuja Madruga, Dr.
(Presidente/Orientador)

Luciano Farinha Watzlawick, Dr.
UNICENTRO – Universidade Estadual do Centro-Oeste


Cláudia Weber Corseouil, Dra.

Santa Maria, 13 de abril de 2006.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar-me nesta caminhada.

A meus pais, meus irmãos e minha família, pelo carinho, incentivo e apoio.

A minha namorada, pelo apoio e companheirismo.

Ao Professor Dr. Pedro Roberto de Azambuja Madruga, pela transmissão dos conhecimentos, pelo apoio e incentivo na orientação deste trabalho.

Ao colega e amigo do Programa de Pós-Graduação, pela amizade e convívio.

À Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de realização da presente Pós-Graduação.

Ao Professor Dr. Mauro Valdir Schumacher, pela sabedoria transmitida e confiança na elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	v
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE ANEXOS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Geoprocessamento, sensoriamento remoto (SR) e sistema de informações geográficas (SIG).....	4
2.2 Incêndio.....	7
2.3 Fatores ambientais associados ao risco de incêndio florestal.....	10
2.4 Índice de perigo de incêndio, perigo de combustão e perigo de ignição.....	13
3 MATERIAL E METODOLOGIA	16
3.1 Material cartográfico e aplicativos computacionais.....	16
3.1.1 Material cartográfico.....	16
3.1.2 Aplicativos computacionais.....	16
3.2 Caracterização geral da área de estudo.....	16
3.2.1 Localização.....	16
3.2.2 Aspectos climáticos.....	17
3.2.3 Aspectos do solo e relevo.....	18
3.2.4 Aspectos da vegetação.....	18
3.3 Metodologia.....	18
3.3.1 Mosaico digital concatenado com o uso de sistemas de coordenadas.....	18
3.3.2 Levantamento das informações básicas.....	21
3.3.3 Mapa de uso da Terra.....	22
3.3.4 Mapa clinográfico.....	24
3.3.5 Mapa de exposição.....	25
3.3.6 Distribuição de rede viária e férrea.....	26
3.3.7 Mapa de risco.....	27
3.3.8 Criação dos índices de perigo de incêndio, perigo de ignição e perigo de combustão.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 Análise dos planos de informações obtidos através do mapa base.....	30
4.2 Mapa de uso da Terra.....	32
4.3 Mosaico digital.....	37
4.4 Mapa de exposição.....	39
4.5 Mapa clinográfico.....	42
4.6 Índice de perigo de ignição (IPIg).....	45

4.7 Índice de perigo de combustibilidade (IPC).....	47
4.8 Índice de perigo de incêndio (IPI).....	49
5 CONCLUSÕES.....	51
6 RECOMENDAÇÕES.....	52
7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	53
8 ANEXOS.....	59

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Classes de ocupação do solo com seus respectivos códigos e legenda.....	23
TABELA 2 - Código relativo às classes de declividade.....	25
TABELA 3 - Classificação quanto à exposição do terreno.....	26
TABELA 4 - Classificação da distribuição da rede viária e férrea.....	27
TABELA 5 – Classes de IPIg e IPC.....	28
TABELA 6 – Uso da terra da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim....	32
TABELA 7 – Serrapilheira depositada ao longo dos dois anos de estudo na Floresta Estacional Decidual em Itaara-RS, Brasil.....	33
TABELA 8 - Classes de exposição para a micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim.....	39
TABELA 9 - Classes de declividade da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim.....	42
TABELA 10 - Nível de risco de ignição para a micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim.....	45
TABELA 11 - Nível de risco de combustibilidade para a micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim.....	47
TABELA 12 - Nível de risco de incêndio para a micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim.....	49

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Classes de Índice de Perigo de Incêndio antes da reclassificação.....	29
QUADRO 2 – Classes de Índice de Perigo de Incêndio.....	29

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Localização da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim (Santa Maria – RS).....	17
FIGURA 2 – Concatenamento realizado com a aplicação de leitura de um Sistema de Coordenadas em Aerofotos Georeferenciadas.....	20
FIGURA 3 – Mosaico Digital Semi-Controlado obtido com a aplicação da concatenação por Sistemas de Coordenadas.....	21
FIGURA 4 – Mapa Base da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim (Santa Maria/RS).....	31
FIGURA 5 – Mapa de Uso da Terra da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim.....	36
FIGURA 6 - FIGURA 8 - Mosaico digital da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim.....	38
FIGURA 7 – Mapa de risco de incêndio em relação às encostas existentes na micro bacia hidrográfica do rio Ibicuí Mirim.....	41
FIGURA 8 – Mapa Clinográfico da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim.....	44
FIGURA 9 – Mapa do Índice de Perigo de Ignição da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim.....	46
FIGURA 10 – Mapa do Índice de Perigo de Combustibilidade da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim.....	48
FIGURA 11 – Mapa do Índice de Perigo de Incêndio da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim.....	50

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 – Mapa do IPIg x rede viária e rede férrea existente.....	60
---	----

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PERIGO DE INCÊNDIOS

AUTOR: Vinícius Borges Illana
ORIENTADOR: Dr. Pedro Roberto de Azambuja Madruga
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 13 de abril de 2006.

O incêndio florestal é considerado um impacto ambiental, pois provoca alterações ou modificações na característica dos meios, físico, biótico e antrópico. O Brasil carece de uma política adequada de prevenção de incêndio, mas para isso, é necessário obter informações mais precisas sobre o território nacional, como o tamanho da área, existência de acessos e açudes, características do relevo, climáticas e da vegetação. Essas informações são fundamentais para se definir as regiões de maior risco de incêndios e estabelecer programas intensivos de prevenção de incêndios. Desta forma, este trabalho teve como objetivo, a aplicação de conhecimento e técnicas sobre SR, SIG, geoprocessamento e incêndios florestais, para a elaboração do Índice de Perigo de Ignição, de Combustibilidade e de Incêndio, para a região da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim/RS. A área de estudo localiza-se na porção central do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 29°26'32" a 29°33'57" de latitude sul e 53°40'49" a 53°48'27" de longitude oeste. Possui uma área total de 8454,10 ha, da qual provêm aproximadamente 60% da água que é consumida no município de Santa Maria. A base cartográfica digital utilizada, foi elaborada a partir de dados existentes em meio analógico (cartas topográficas - escala 1:50.000), além da utilização do mosaico digital. Foram gerados planos de informações (mapa de uso da terra, exposição, clinográfico, entre outros), utilizados nos cruzamentos dos PIs, proporcionando deste modo, informações usadas na criação do Índice de Perigo de Incêndio. Conclui-se que, as aplicações de conhecimentos e técnicas de geoprocessamento, SR, SIG e incêndios florestais, foi possível desenvolver o Índice de Perigo de Incêndio para a área estudada. Por fim, através dos resultados, ações preventivas podem ser tomadas, como: torre de incêndio, construções de aceiros, açudes, melhoria no ordenamento florestal, entre outras, com o intuito de proteção ambiental.

Palavras-Chave: proteção florestal, sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica.

ABSTRACT

Dissertation of Mestrado
Program of Masters Degree in Geomática
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil.

GEOPROCESSING TECHNIQUES TO DETERMINATE THE FIRE DANGEROUS LEVEL

AUTHOR: Illana, Vinícius Borges
GUIDE: Pedro Roberto de Azambuja Madruga
Defense date and place: April 13th, 2006, Santa Maria.

The forest fire is considered an environmental impact, because provokes physic, biotic and anthropic environment characteristics changes or modifications. Brasil doesn't have an adequate fire politic support. It's necessary to obtain more precise information about the national territory, like the area size, existence of accesses ways and artificial lakes, land relief, climatic and vegetation characteristics. These informations are essential to define the most significant fire risk regions and establish intensive fire prevention programs. The actual research objectivates the knowledge and techniques applications about SR, SIG, geoprocessing and forest fires to elaborate the Combustion and Fire Ignition Dangerous Level to the hydrographic micro basin of the Ibicuí Mirim river sources. The study area is located in the central part of the Rio Grande do Sul State between the coordinates 29°26'32" to 29°33'57" of south latitude and 53°40'49" to 53°48'27" of west latitude. Are 8454,10 hectares of total area, from which approximately comes 60% of the water that is consumed in the city of Santa Maria. The city digital cartographic base used was elaborated from existent analogic datas (topographic maps – 1:50.000 scale), besides the digital mosaic. It was executed elaboration plans throught PIs crossing, providing informations used in the Fire Dangerous Level elaboration. With the geoprocessing knowledge and techniques applications, SR, SIG and forest fire, became possible to develop the Fire Dangerous Level to the studied areas. Thus, with the results, preventive actions can be implemented like: fire towers, construction of artificial lakes, cleaning and the improvement of the actions in the forest to the environment protection.

Keywords: forest protection, remote sensorship, geographic information system.

1 INTRODUÇÃO

A resolução nº 1, de 23/01/86, do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), definindo impacto ambiental, estabelece os critérios e as diretrizes gerais, relacionados com a adequada aplicação das normas do artigo 18 do Decreto nº 88.351, de 1/06/83, sobre o estudo e conseqüente avaliação de impacto ambiental, como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente.

Fernandes e Fernandes (1998), definem impacto ambiental como alterações ou modificações na característica dos meios, físico, biótico e antrópico provocada por uma atividade humana.

De acordo com Soares (2002), dentre os vários impactos que afetam os recursos florestais, o fogo parece ser a maior calamidade. Florestas e outros tipos de vegetação estão constantemente expostos à ocorrência de incêndios de diferentes intensidades. Em muitos países a situação tem se agravado devido ao aumento da população, ao acúmulo de material combustível e à incidência cada vez maior de causas humanas, principalmente incendiários.

Soares (2002) relata que, o Brasil desde a década passada, tem sido alvo periódico de críticas de organizações conservacionistas e mesmo instituições governamentais de outros países, com relação à falta de proteção de suas florestas.

O mesmo autor comenta ainda que, a falta de informações precisas sobre os incêndios (número de incêndios e a superfície queimada anualmente no país) gera problemas para florestas nativas e plantadas em alguns ecossistemas brasileiros.

Todavia, em alguns ecossistemas florestais (ex. tundras e serrado), os incêndios são partes integrantes, sendo responsáveis pela renovação desses ambientes. Mas o que era parte de um ecossistema se transformou em um problema ambiental e vem sendo sentido em muitos países, cujas adversidades climáticas são observadas com preocupação por diversas entidades, como, os governos, centros de pesquisas, entidades não governamentais, bem como a sociedade em geral. Isto se deve, ao aumento do número de desastres ambientais (secas, grandes incêndios, entre outras) que são registradas a cada ano em todo o mundo.

Todavia, os incêndios não se restringem apenas à destruição das florestas, mas, proporcionam sérios prejuízos ambientais (erosão, avanço de dunas, alteração climática, diminuição gradativa da fertilidade do solo, entre outros), econômicos (investimentos na recuperação de áreas degradadas, destruição de casas, plantações, equipamentos, entre outras) e sociais (mortes de animais e seres humanos).

Desta forma para estabelecer uma política adequada de prevenção de incêndio é necessário obter informações de diversas regiões como, o tamanho da área, existência de acessos e açudes, além das características do relevo, climáticas e da vegetação. Essas informações são fundamentais para se definir as regiões de maior risco de incêndios e estabelecer programas intensivos de prevenção para essa região.

Atualmente os recursos computacionais facilitam bastante os estudos temporais e espaciais de previsão e combate de incêndios. A detecção de locais de maior risco pode ser feita através da utilização de técnicas de geoprocessamento (Sistema de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto).

Segundo Martinez e Aguilera (1995) o Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um eficiente componente no controle de incêndios, por fornecer respostas imediatas que otimizam os resultados de ações e decisões. Deste modo, as técnicas de geoprocessamento despertam nos mais diferentes profissionais, o interesse em alocar conhecimento e incentivar o desenvolvimento de ferramentas para casos cada vez mais restritos.

Vettorazzi e Ferraz (1998) comentam que, o SR e os SIG podem ser utilizados para a geração de mapas estratégicos de prevenção, auxiliando no combate de incêndios, dando suporte para localizações de estradas, corpos d'água, núcleos urbanos e também na obtenção de mapas de risco, ou seja, mapas que mostrem regiões com maiores ou menores probabilidades de ocorrência de incêndios.

Com as informações oferecidas pelos mapas de risco, podem ser tomadas medidas preventivas, como: maior vigilância nas áreas de maior risco; restrição de acesso aos locais de maior risco; construções de aceiros preventivos e reorganização das atividades realizadas nas proximidades. Os mapas de risco de incêndios auxiliam também no planejamento de combate, como por exemplo, na alocação de recursos em pontos estratégicos (aceiros, açudes, deslocamento da equipes para o combate, entre outros).

A região da micro bacia das nascentes do rio Ibicuí Mirim foi escolhida, pois se deseja obter o maior número de informações (pesquisas) possíveis, para complementar o banco de dados, que esta sendo gerado, para a área em questão. Esta área compreender diversos usos do solo (fator importante na determinação do risco de ignição e combustibilidade), além de já ter sofrido influencias antrópicas (indícios de uso do fogo, constatado em cepas queimadas), considerando ter uma maior susceptibilidade à ação do fogo.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo geral à aplicação de conhecimento e técnicas sobre SR, SIG, geoprocessamento e incêndios florestais, para a elaboração do Índice

de Perigo de Ignição, de Combustibilidade e de Incêndio, para a região da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim/RS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Geoprocessamento, sensoriamento remoto (SR) e sistema de informações geográficas (SIG)

Câmara e Medeiros (1996), comentam que o principal objetivo do geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais, para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as suas inter-relações.

Teixeira, Moreti e Christofolletti (1997), complementando descreve o geoprocessamento como uma tecnologia que abrange o conjunto de procedimentos de entrada, manipulação, armazenamento e análise de dados espacialmente referenciados.

Neste sentido, Assad e Sano (1998), comentam também que as aplicações do geoprocessamento são muitas. Entre elas podemos destacar a estruturação de dados geoambientais nos diferentes contextos, tais como: de fazenda experimental; micro bacia hidrográfica; planejamento municipal; expansão da fronteira agrícola e caracterização ambiental; caracterização e avaliação da funcionalidade de reservas biológicas; monitoramento da ocupação agrícola; avaliações de terras para agricultura (considerando-se a aptidão da terra e como deve ser seu manejo); caracterização espaço-temporal do uso de agrotóxicos para determinadas áreas; avaliação do impacto ambiental por agroquímicos; análise espaço temporal do potencial hídrico climático de determinada área; espacialização de épocas de plantio; mapeamento de informações agrometeorológicas; além de detecção de queimadas ou incêndios florestais.

Silva (1995), descreve o SR moderno como “descendente” natural da fotografia convencional, tendo surgido com a evolução das técnicas que permitem detectar e registrar outras formas de radiação eletromagnética além da luz visível.

Segundo Novo (1999), SR pode ser definido como a aquisição de informações sobre o objeto a partir de medidas feitas por um sensor que não se encontra em contato físico direto com ele. As informações do objeto, neste caso são derivadas da detecção e mensuração das modificações que ele impõe sobre os campos de força que o cercam.

Novo (1992) acrescenta o anteriormente descrito sobre SR, definindo da seguinte maneira:

“a tecnologia da utilização conjunta de sensores, equipamentos de processamento e transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através de registro e análise das interações eletromagnéticas com as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diferentes manifestações”(NOVO, 1992).

De acordo com Novo (1999), o SR envolve alguns componentes para ser denominado de Sistema de Sensoriamento Remoto, o qual possui subsistemas que são:

- Sistemas sensores: que são os equipamentos que focalizam e registram a radiação eletromagnética proveniente do objeto;
- Sistemas de processamento de dados: que convertem o dado bruto produzido pelo sensor em variável física passível de ser interpretada e convertida em informação;
- Sistemas de análise: que incluem todas as ferramentas dentre as quais destacam-se os SIGs, que permitem integrar a informação derivadas de SR às de outras fontes.

Novo (1995) relata que, a principal forma de caracterizar os sistemas de obtenção de dados, é quanto ao domínio espectral. Este domínio espectral consiste na porção do espectro eletromagnético que o sensor é capaz de gerar, podendo ser caracterizados como multiespectral ou hiperespectral.

Ainda, segundo o mesmo autor, um sistema de SR compõe-se basicamente de uma plataforma, constituída por sensores que captam a radiação eletromagnética refletida e/ou emitida por alvos da superfície terrestre, sem contato físico com os alvos.

Neste sentido, Sader, Stone e Joyce (1990), recomendam uma otimização das análises envolvidas para estudos ambientais com a combinação de produtos e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

Segundo Burrough (1989), os SIGs são aplicativos constituídos de cinco módulos. Cada módulo é um subsistema que permite as operações de entrada e verificação de dados, armazenamento e gerenciamento de banco de dados, apresentação e saída de dados, transformação de dados e interação com o usuário.

Deste modo, Teixeira (1995) define SIG como um “conjunto de programas, equipamentos, metodologia, dados e pessoas (usuários) perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informações derivadas de sua aplicação”.

Calijuri e Röhn (1994) contribuem para a definição de SIG afirmando que o SIG é a tecnologia para investigação de diversos fenômenos, relacionados com a engenharia urbana, o meio ambiente, a pedologia, a vegetação e as bacias hidrográficas, sendo um conjunto de tecnologias com procedimentos e equipamentos projetados para capturar, armazenar e gerenciar, informações referentes a características espaciais, de uma região, usando mapas, fotografias aéreas, imagens orbitais e informações de campo.

Neste sentido, Nogueira (1996) afirma que através das informações geradas pelo SIG, podem-se elaborar modelamentos matemáticos, os quais, são ferramentas que permitem, a

partir de mapas georreferenciados e com valores de atributos conhecidos, manipular e realizar operações com diferentes fatores ambientais.

Conforme Larson (1991), citado por Lopes (1996), após o modelamento, podem-se analisar as informações, por meio de apresentação gráfica da informação espacial. Assim, encontra-se no SIG um caminho bastante flexível, pois a mesma base cartográfica produz diferentes mapas, não necessariamente nas mesmas escalas, frutos das diferentes combinações dos *layers* (camadas) existentes no sistema.

Ramirez (1994) lista diversas áreas de aplicação, classificadas em cinco grupos principais:

1. Ocupação Humana
 - a. Planejamento e Gerenciamento Urbano – redes de infra-estrutura como água, luz, telecomunicação, gás e esgoto, planejamento e supervisão de limpeza urbana, cadastramento territorial urbano e mapeamento eleitoral,
 - b. Saúde e Educação – rede hospitalar, rede de ensino, saneamento básico e controle epidemiológico.
 - c. Transporte – supervisão da malha viária, rastreamento de veículos, controle de tráfego, e sistema de informações turísticas.
 - d. Segurança – supervisão de espaço aéreo, marítimo e terrestre, controle de tráfego aéreo, sistema de cartografia náutica, serviços de atendimento emergenciais.
 - e. Uso da Terra
2. Planejamento agropecuário - estocagem e escoamento de produtos agrícolas; classificação de solos e vegetação; gerenciamento de bacias hidrográficas; planejamento de barragens, cadastramento de propriedades rurais; levantamento topográfico e planimétricos; e mapeamento do uso da terra.
3. Uso de Recursos Naturais - controle de extrativismo vegetal e mineral; classificação de poços petrolíferos; planejamento de gasodutos e oleodutos; distribuição de energia elétrica; identificação de mananciais; e gerenciamento costeiro e marítimo.
4. Meio Ambiente - controle de queimadas; estudos de modificações climáticas; acompanhamento de emissão e ação de poluentes; e gerenciamento florestal de desmatamento e reflorestamento.
5. Atividades Econômicas - planejamento de marketing; pesquisas sócio-econômicas; distribuição de produtos e serviços; transporte de matéria prima e insumos.

Pereira, Madruga e Hasenack, (1995) comentam que o computador veio resolver grande parte dos problemas de tempo, mão-de-obra e da pouca precisão quando o volume de informações é grande.

Becker *et al.* (1999) descreve que, a utilização do SR na identificação das formas de ocupação da terra mostra-se eficiente, principalmente quando empregado de forma combinada com classificação digital e geoprocessamento. Uma vez que as imagens do *Landsat* possibilitam a classificação digital do uso da terra de forma rápida, confiável e atual, servindo como instrumento, os quais podem subsidiar as atividades de planejamento regional e proteção florestal.

Contudo Becker (1989) comenta que, as técnicas de SR por satélite têm sido uma ferramenta bastante útil nos campos da geografia, geologia, manejo florestal (incêndio florestais) permitindo-nos um estudo detalhado da superfície da terra e das mudanças provocadas por um sistema integrado de forças dinâmicas que atuam umas sobre as outras. O mesmo autor complementa expondo que o conhecimento propiciado pela tecnologia de SR tem nos dado uma perspectiva global do planeta em uma época na qual temos vivido uma série de problemas ambientais, sociais e econômicos.

2.2 Incêndio

Segundo Oldeman, (1983), Clark, (1990) e Camp *et al.*, (1996) os ecossistemas e paisagens são alterados no tempo e no espaço em razão de características da vegetação e regimes de distúrbios. Interações entre eventos de distúrbios e a sucessão vegetal criam o mosaico florestal, onde manchas ou eco-unidades da floresta tendem a apresentar composições florísticas e estruturas diferenciadas.

De acordo com Uhl *et al.*, (1981), Kauffman, (1991), Mutch e Cook, (1996), Cochrane e Schulze, (1999), diversos tipos de distúrbios naturais ou antrópicos podem alterar a dinâmica da vegetação florestal e desencadear o processo de sucessão secundária, como abertura de clareiras naturais pela queda de árvores, deslizamentos de terra, atividades vulcânicas, ataque de insetos e incêndios florestais. Dentre essas fontes de perturbação, os mesmos autores, relatam a importância do fogo, por afetar o funcionamento dos ecossistemas, influenciando a sucessão vegetal, a composição e estrutura florestal, o acúmulo de serapilheira, a ciclagem de nutrientes, a população de insetos, o banco de sementes no solo e a rebrota de espécies arbustivo-arbóreas.

Sanches, (1981), Coutinho, (1990), Martins *et al.*, (1995), comentam que em áreas com relevo acidentado, os efeitos do fogo podem ser ainda mais drásticos, uma vez que a queima causando a eliminação da cobertura vegetal favorece a perda de nutrientes por escoamento superficial e lixiviação. Barro e Conard (1987) afirmam que, o efeito do fogo além de tornar a superfície do solo desprotegida, intensificando a ocorrência de processos erosivos. Assim, Uhl *et al.*, (1982), Castellani e Stubblebine, (1993), Penha, (1998) descrevem que, fatores como declividade do terreno, tempo de exposição do solo, intensidade do fogo, proximidade de fontes de propágulos, componente florístico remanescente na forma de sementes ou tecidos vegetais com capacidade de rebrotar irá determinar a seqüência florística e a velocidade da regeneração.

De acordo com Miranda (1999), nos países desenvolvidos de clima mediterrânico, como parte da França, Espanha, Grécia, Itália e Estados Unidos (Califórnia) são frequentes os incêndios florestais, em períodos de verão. O mesmo ocorre em regiões subpolares, como nas áreas de tundra e de vegetação de coníferas, como do Alasca e da Rússia. Em países tropicais, as queimadas ocorrem normalmente no inverno, durante o período seco. Já no Brasil, este fenômeno é generalizado, principalmente devido às atividades agrícolas.

Ainda o mesmo autor, comenta que a prática do fogo continua impondo riscos, pois tende sempre a fugir ao controle e a deixar marcas na paisagem. O fogo aplicado à limpeza de terrenos para uso agrícola é prática comum, principalmente em cultivos de cana-de-açúcar em todo o Brasil. No rodízio das estações, no Norte ou no Sul, há sempre algum lugar queimando. Tanto pode ser por descuido humano ou por acidente natural, as chamas deixam rastros por onde passam, guiadas pelos ventos, ajudadas pela baixa umidade, alimentadas pela vegetação e relevo. Todas estas características, típicas de cada região, influenciam direta ou indiretamente nos processos de ignição e combustibilidade de um incêndio.

Contudo Brown e Davis (1973) comentam que incêndios provocados por incendiários chegam a 26%, seguido dos fumantes, com 15% e de queimas para limpeza, com 18%, constituem-se nos primeiros grupos de causas dos incêndios nos Estados Unidos. De acordo com Vélez (1982), na região mediterrânea os incêndios devido ao descuido de pessoas em recreação (fogueiras, fumantes descuidados), são quase um terço de todos os incêndios.

Conforme Calabri (1982), dentre os incêndios causados pelo homem, existem aqueles oriundos de negligência e os criminosos. Salas e Chuvieco (1994), complementam esta afirmação quando se referem aos fatores humanos como a fonte mais comum de incêndios florestais na região oeste da Espanha, bem como em todo o país. De acordo com Castañeda

(1997), na Colômbia a grande maioria dos incêndios florestais está relacionada com a existência de atividade humana.

Já no Brasil, Miranda (1999) relata que é estatisticamente comprovado que mais de 98% das queimadas praticadas são de natureza agrícola. O agricultor decide quando e onde queimar. É uma prática “controlada”, desejada e faz parte do sistema arcaico de produção. Os lavradores queimam resíduos de colheita, áreas de savana, pastagens nativas e plantadas, além da palha da cana-de-açúcar para facilitar a colheita. Já os incêndios florestais são de natureza acidental (atualmente existem muitos incêndios criminosos, para facilitar a limpeza de futuras áreas de agricultura), indesejados e difíceis de controlar. Eles só ocorrem em vegetações propícias a esse tipo de fenômeno, como as florestas degradadas, entremeadas por arbustos e gramíneas.

Entretanto Soares (2002) relata que, a categoria de “incendiários” passou a ocupar o primeiro lugar seguido pela categoria “queima para limpeza”. O aumento dos incêndios causados por incendiários é um fenômeno mundial e está relacionado com o agravamento das questões sociais, como o desemprego e a pressão sobre a terra, por exemplo.

Todavia Veríssimo *et al.* (1992) comenta que a exploração de madeira e os incêndios vêm causando severos danos à composição e estrutura de florestas na Amazônia. Holdsworth e Uhl (1997) afirmam que as florestas exploradas são mais susceptíveis a incêndios por causa do acúmulo de resíduos vegetais e da maior incidência de radiação solar nas clareiras. Os incêndios em florestas segundo diversos autores (Veríssimo *et al.* 1992; Nepstad *et al.*, 1999) podem ocorrer em várias intensidades e etapas e destruir ou danificar de 10% a 80% da biomassa remanescente. De acordo com Cochrane e Schulze (1999), um incêndio rasteiro inicial, pode ampliar os danos da exploração, matando mais árvores e abrindo o dossel da floresta. Assim, a floresta fica ainda mais susceptível a novos incêndios mais intensivos.

Uhl, Kauffman e Silva (1990), em pesquisas na região de Paragominas no estado do Pará, mostram uma seqüência de alterações introduzidas pelo ser humano na Floresta Amazônica e a existência de quatro tipos de cobertura vegetal: floresta primária, floresta explorada, pastagem e floresta secundária, onde constataram o risco dos incêndios florestais em cada tipo de cobertura vegetal, alteradas ou não (caso da floresta primária) pela atividade humana. Os mesmos autores comentam que, o fator antrópico proporciona uma fragilidade na área florestal e até pouco tempo atrás, essa região era classificada quanto ao risco de incêndio como nulo a baixo.

Schumacher (2003), exemplifica algumas catástrofes de grande magnitude (ex. grandes incêndios) como o que ocorreu em julho de 1988, no Parque Nacional das Emas,

estado de Goiás. Onde foram destruídos cerca de 500 quilômetros quadrados de reservas florestais. O mesmo autor ainda relata o incêndio, ocorrido em janeiro de 1998, de amplitude devastadora, desta vez no estado de Roraima. O qual, devido à falta de equipamentos e pessoal habilitado, a queimada somente foi debelada com a ocorrência de chuvas.

O INPE a partir do avanço da tecnologia detecta e registra focos de calor e/ou incêndios de pequenas ou grandes proporções, por sensores instalados em satélites e estes dados são atualizados diariamente. A partir disso, pode-se levantar anualmente os números de focos de calor (incêndios ou possíveis incêndios) em todo o território nacional. Destaca-se no ano de 2003, o registro pelos sensores espaciais de 211.021 mil focos de calor no Brasil, a maioria concentra-se no centro e norte do Brasil. O maior número de focos de calor foi registrado no ano de 2005 (dados obtidos até 29/12/2005), Onde foram registrados 225.607 focos de calor em todo o Brasil, quase 7% a mais do que o ano de 2003. O estado do Rio Grande do Sul aparece como 20º estado com o maior número de focos de calor, 404 no total (www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/).

Chuvieco e Congalton (1989) comentam que, além de saber as causas, devem-se levantar os fatores inerentes à área e à vegetação local, como: relevo, tipos vegetais, uso da terra, dados meteorológicos locais, além de outras informações. Os mesmos autores ainda relatam que, todos estes dados são analisados de acordo com a sua distribuição espacial na área e para obter melhores resultados, a análise é realizada por meio de um SIG. A facilidade da entrada de dados, rapidez no processamento e o dinamismo no cruzamento de informações obtidas com o SIG, tornam esta técnica indispensável em estudos desta natureza.

2.3 Fatores ambientais associados ao risco de incêndio florestal

Segundo Brown e Davis (1973) o risco de incêndio está associado à probabilidade de um fogo iniciar pela presença e/ou atividade de agentes causadores, enquanto que o perigo de incêndio está relacionado ao material combustível definido pelo tipo, arranjo quantidade, condições e localização que forma uma condição especial de ameaça de ignição ou representa dificuldade na extinção do fogo.

Soho (1999) complementa o exposto anteriormente, descrevendo que o risco de incêndio representa a chance de um incêndio se iniciar em função da existência de agentes de ignição e o perigo de incêndio é composto pelo risco de incêndio e pelas condições de combustível, clima e topografia.

Soares e Batista (1997), comentam que a cobertura vegetal é responsável pelo fornecimento do material combustível para queima. A variação dessa cobertura implica em mudanças de diversos aspectos relacionados com o comportamento do fogo, principalmente combustível e condições climáticas.

De acordo com Soares (1985), a cobertura vegetal é classificada em função do potencial para a ocorrência e propagação de incêndio, de acordo com a combustibilidade das espécies ocorrentes e as características da floresta, tais como composição, estágio de desenvolvimento e tipo de manejo. Um povoado puro de coníferas oferece maior risco de propagação do que um povoado de folhosas, mantidas as demais condições constantes.

Segundo Jemison, Lindenmuth e Keetch (1949) as temperaturas do solo e do ar, a umidade, o vento, a radiação e a evaporação variam bruscamente entre florestas densas e abertas. Assim, o equilíbrio da umidade do material combustível e as taxas de ganho e perda de umidade são diferentes para distintos graus de exposição. O material combustível segundo Schroeder, Beck (1970) e Soares (1985), ocorrem em inúmeras combinações de tipo, quantidade, tamanho, forma, posição, arranjo e teor de umidade. Esses materiais são classificados quanto ao tipo e periculosidade, basicamente em função do diâmetro (quanto menor, mais perigoso), estado que se encontra (combustíveis vivos ou morto), e grau de compactação.

Além da combustibilidade Salas e Chuvieco (1994) descrevem outro fator importante para dar início a um incêndio, a inflamabilidade das espécies. Essa está associada às suas características físicas e químicas, em especial ao conteúdo de resina, espessura da casca e conteúdo de umidade. Chuvieco e Congalton (1989) classificaram a vegetação quanto a inflamabilidade correlacionando espécies, densidades e associações.

De acordo com Brown e Davis (1973), outro fato relevante são as características topográficas, as quais para os autores é como um elemento fixo, mas que implica em significativas mudanças no perigo de incêndio.

De acordo com Fuller (1991), altas elevações têm um clima frio e úmido, o que implica em observar-se uma curta estação normal de incêndio. Pyne (1984), indica que a altitude regula a temperatura e a precipitação. De acordo com Furman (1978) ao longo de uma cadeia montanhosa, as altitudes podem ser agrupadas em três grupos, onde se observam diferentes efeitos sobre o equilíbrio da umidade do material combustível. Chuvieco e Congalton (1989) e Salas e Chuvieco (1994) consideraram que o risco de incêndio é menor nas altas altitudes devido o efeito das condições climáticas mais amenas sobre o conteúdo de umidade do material combustível. Contudo, no entendimento de Brown e Davis (1973), tanto

a altitude quanto o ângulo de orientação das encostas provocam diferenças significativas nas condições climáticas.

Fuller (1991) diz que a orientação das encostas influencia a intensidade de radiação solar incidente sobre o terreno, tendo efeito sobre a umidade do ar e do material combustível. No hemisfério norte as faces sul e oeste recebem maior quantidade de radiação solar e por isto elas são muito mais aquecidas e secas do que as exposições norte, que recebem menor quantidade de luz. Exposição sul e oeste têm uma estação normal de incêndios mais longa, em maior período diário de queima e estatisticamente um maior registro de incêndios do que as inclinações norte, sendo que, as maiorias dos incêndios que se iniciam nestas faces, atingem grandes proporções.

Já Soares (1985) comenta que no hemisfério sul, os raios solares incidem mais diretamente sobre faces voltadas para o norte e conseqüentemente transmitem mais calor para essa exposição que para a outra. A face oeste é a segunda a receber maior quantidade de energia seguida da leste e, finalmente, a que menos se aquece é a face sul. Portanto o efeito da exposição aumenta de acordo com o aumento da latitude.

Fuller (1991) afirma que esta variação na taxa de radiação significa que todas as inclinações têm diferentes microclimas, implicando em variações na quantidade e diversidade da vegetação ocorrente.

Segundo Fuller (1991) a inclinação do terreno está diretamente relacionada com a velocidade e a direção de propagação do fogo, porque a temperatura do ar aumenta, pré-aquece os combustíveis à frente do fogo, o que facilita o avanço do mesmo com maior velocidade nos aclives. Os terrenos inclinados agem como uma chaminé, transportando o calor e as chamas ladeira acima. Assim, dependendo do ângulo de inclinação e da velocidade do vento, a inclinação pode ser mais importante do que o vento na determinação da taxa de propagação do fogo.

Heikillä, Grönqvist, Jurvélius (1993) afirmam que o desenvolvimento do fogo se dará com maior facilidade nos aclives do que nos declives ou no plano. O movimento da coluna de convecção e a transmissão do calor nos declives é mais lenta do que em uma superfície plana, sendo que a maior velocidade é observada nos aclives. A velocidade de propagação do fogo em aclive é proporcional ao ângulo de inclinação do terreno.

Contudo Chuvieco e Congalton (1989) consideram que a maior causa de incêndio identificadas está relacionada as atividades antrópicas.

Chuvieco e Salas (1993) indicaram as áreas ao longo das rodovias, ferrovias e áreas de recreação como importantes no processo de ignição a partir do estudo dos relatórios de

ocorrência de incêndios. Ferraz e Vetorazzi (1998), indicaram como área de risco as regiões ao longo de carregadores, estradas internas e rodovias, devido à incidência de incêndios criminosos, à prática de cultos religiosos, aos cigarros e às pequenas fogueiras.

De acordo com Chuvieco e Congalton (1989), o risco oferecido pelas estradas pode ser associado ao nível de interação dos transeuntes em relação ao meio. Deste ponto de vista, uma estrada pavimentada apresenta uma área de influência de 50 m enquanto que uma estrada secundária apresenta uma área de influência de 150 m, visto que é mais fácil parar e se deslocar a pé, bem como entrar nas propriedades circundantes. Chou *et. al* (1990) indicam que um raio de influência de 100 m ao redor de infra-estruturas e estradas traduz a área em risco devido a presença humana. Segundo Almeida (2000), as estradas representam áreas de grande risco por causa de sua influência sobre as atividades humanas. De acordo com Almeida (2000), em concordância com Chuvieco e Congalton (1989), a escala de risco varia de acordo com a distância de cada unidade de análise à estrada, essas variam de 25 m a 150 m. Entretanto, Ferraz e Vetorazzi (1998) classificam as vias de acesso segundo o fluxo de pessoas que tem acesso à propriedade. Assim, carregadores de acesso restrito aos funcionários têm influência de 30 m, estradas internas com pequeno tráfego de moradores e visitantes têm influência de 60 m e rodovias com tráfego de veículos e pessoas tem influência de 100 m. Apesar da polêmica em relação à distância e ao tipo de estrada vários autores como Chou, Minnich, Chase (1993), concordam quanto ao aumento do risco de incêndio em áreas mais próximas a estradas e este feito também é observado quando se trata de distância a acampamentos e aglomerados urbanos.

Contudo, Ferraz e Vettorazzi (1998) explicam, chamam atenção sobre os mapas de risco, sobre os fatores que devem ser levados em consideração, fatores como: cobertura vegetal, topografia, condições climáticas, condições da hidrologia, ações antrópicas, entre outros. A existência de um banco de dados digitais, cartográficos e meteorológicos são exigências fundamentais para a geração de mapas da distribuição espacial das áreas de risco e suas intensidades, possibilitando desta maneira a criação de um sistema de análise de risco de incêndios florestais.

2.4 Índice de perigo de incêndio, perigo de combustão e perigo de ignição

Soares (1998) descreve o índice de perigo de incêndio como, uma ferramenta para auxiliar no planejamento e supervisão das atividades de controle de incêndios florestais. O

mesmo autor comenta sobre há existem de vários índices, nacionais, regionais ou locais, geralmente adaptados às condições de cada país ou região.

Soares (1998) refere-se ainda, a um importante aspecto a ser considerado quando se seleciona um índice já existente ou se desenvolve um novo, é que as informações necessárias ao seu cálculo estejam disponíveis na região ou país onde o mesmo será utilizado. Esta é uma das principais restrições à introdução de índices mais completos.

Soares (1972a) comenta que os índices de perigo de incêndio foram introduzidos pela primeira vez no Brasil em 1963, depois do trágico incêndio que atingiu cerca de 2 milhões de hectares no Estado do Paraná. Devido à dificuldade de obtenção de informações básicas, inclusive algumas variáveis meteorológicas, os índices sugeridos naquela oportunidade foram os de Angstrom e Nesterov, que apenas requerem temperatura e umidade relativa do ar e precipitação para seus cálculos.

Couto e Candido (1980) argumentam que, um estudo que envolva o uso atual da terra (material combustível), condições topográficas, exposição do terreno, malha viária, entre outros fatores, pode auxiliar na detecção de locais que apresentam maior risco de ocorrência de incêndios, o que facilita o planejamento e as estratégias de prevenção e combate.

Aranha (2001) comenta ainda que, quando se produz um incêndio florestal, a vegetação susceptível a queima, está diretamente relacionada com os diferentes fatores do meio onde sucedeu o incêndio.

Contudo Chuvieco e Salas (1993) relatam que, graças ao SR e a fotogrametria, entre outras ciências, pode-se utilizar variáveis como os fatores do meio, os quais serviram para a criação de índice de perigo de incêndios, constituindo uma importante ajuda no estudo da distribuição espacial do perigo de incêndio.

Chuvieco e Salas (1993) relatam ainda que, o primeiro sistema de Indexação de Perigo de Incêndio se deve aos Serviços Florestais dos Estados Unidos, que integraram experiências e investimentos de distintas organizações federais, estaduais e privadas de combate de incêndios. Entretanto os mesmos autores relatam que, em 1914 Dubois, conhecia perfeitamente os fatores que afetam o perigo de incêndio e a necessidade de indexá-lo, entretanto não possuía meios para isso.

Contudo Chuvieco e Salas (1993), descrevem que a primeira abordagem sistemática ao problema do índice do perigo de incêndios, realizado através de investigações, se deve a Gisborne. Que em 1928 publicou um estudo sobre o tema e construiu, em 1933, um engenhoso medidor de perigo de incêndio. Este constituído por uma régua de cálculo feita em papel, que correlacionava cinco variáveis e expressava seu efeito conjunto por sete classes de

perigo de incêndio. Esta régua possuía certas imperfeições, como por exemplo, a não inclusão do vento entre suas variáveis, que foram surgindo em régua posteriores. A partir da régua medidora de Gisborne, foi possível desenvolver, nos Estados Unidos, diversos sistemas de indexação por distintas organizações, aplicáveis às diferentes regiões do país. Em 1963, existiam nos Estados Unidos, oito sistemas de indexação, mas foi até 1964, quando foi posto em vigor as instruções e normas que constituem o atual sistema nacional de indexação de perigo de incêndio.

Aranha (2001) comenta que a origem em um primeiro índice de perigo, criado mediante a utilização conjunta de detecção remota e sistemas de informações geográficas foi criado pelos pesquisadores Chuvieco e Congalton, no ano de 1989. Mais tarde, este modelo foi adaptado a diferentes áreas por vários autores, entre eles Chuvieco e Salas (1993) que desenvolveram um novo índice de perigo, o qual, posteriormente foi ajustado à região do Alto Tâmega (Portugal) por Aranha, em 1998.

Aranha (2001) explana que, todos estes modelos de prevenção de perigo de incêndios estão fortemente associados ao tipo de cobertura vegetal do solo e a inflamabilidade e combustibilidade. Por este motivo é importante conhecer e caracterizar bem o tipo de cobertura vegetal, o uso do solo e as condições ecológicas da região em estudo. Porém, é preciso conhecer todas as variáveis do meio que influencia nos diferentes processos que propiciam os incêndios florestais, como: as características topográficas e edafo-climática da área, a proximidade a vias de comunicação (estradas e acessos) e aos núcleos urbanos (quando estes existirem).

O mesmo autor relata que, deve-se ter conhecimento da inflamabilidade e da combustibilidade dos materiais existentes na cobertura vegetal, na hora de calcular o Índice de Perigo de Incêndio (IPI). Estes índices se baseiam em outros dois índices: Índice de Perigo de Ignição (IPIg) e o Índice de Perigo de Combustibilidade (IPC). A partir destes índices, calcula-se o IPI. Para isso, é preciso dispor de um SIG, o qual utiliza ferramentas do próprio programa computacional para obter os resultados desejados.

3 MATERIAL E METODOLOGIA

3.1 Material cartográfico e aplicativos computacionais

Para a elaboração da pesquisa foram utilizados os materiais descritos abaixo:

3.1.1 Material cartográfico:

- Cartas topográficas de Santa Maria (Folha SH. 22 – V – C – IV – 1); Camobi (Folha SH. 22 – V – C – IV – 2), Val de Serra (Folha SH. 22 – V – C – I – 4) e Rio Guassupi (Folha SH. 22 – V – C – I – 3), na escala de 1:50.000, elaboradas pela Divisão do Serviço Geográfico do Exército no ano de 1975;
- Mosaico Digital com escala aproximada de 1:10.000;
- Imagem de Satélite *Landsat 7 ETM+*, com resolução de 30 metros;
- Aerofotos obtidas através de câmera fotográfica de médio formato, com distância focal de 55 mm e altura de vôo aproximada de 2500 m.

3.1.2 Aplicativos computacionais:

- Aplicativo *Idrisi 32*, desenvolvido pela Universidade de Clark. EUA;
- Programa de Edição Vetorial *Carta Linx*, desenvolvido pela Universidade de Clark. EUA.

3.2 Caracterização geral da área de estudo

3.2.1 Localização

O trabalho foi realizado na micro bacia de captação das nascentes do rio Ibicuí Mirim, localizada na porção central do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 29°26'32" a 29°33'57" de latitude sul e 53°40'49" a 53°48'27" de longitude oeste. A micro bacia possui uma área total de 8454,10 ha, da qual provêm aproximadamente 60% da água que é consumida na cidade de Santa Maria.

A Figura 01 demonstra a localização da micro bacia no mapa do estado do Rio Grande do Sul.

3.2.3 Aspectos do solo e relevo

Segundo Streck *et al.*, (2002), o solo da região é caracterizado como Neosolo Litólico eutrófico típico. O material de origem é a rocha basáltica, e bastante raso, ficando em torno de 35 cm de profundidade.

Conforme Vieira (1984), esta bacia tem características um pouco diferenciadas das demais encontradas no estado, tendo em vista a natureza do relevo. Boa parte do Rio Ibicuí tem seu curso em terrenos paleozóicos da bacia sedimentar do Paraná (Depressão Central).

Apresentando um relevo variado, intercalado com as seguintes unidades de relevo, na metade nordeste representado por coxilhas onduladas, já a sudoeste se tem um relevo bem acidentado em virtude da transposição da região entre o Planalto Meridional Brasileiro e a Depressão Central do Rio Grande do Sul. Este segmento constitui uma área sem grandes variações altimétricas, sendo que as maiores cotas se situam ao redor de 200 m, onde dominam as amplas e alongadas formas de topos convexos ou planos, cujas encostas caem suavemente em direção aos vales, com aprofundamentos médios em torno dos 40 m (<http://coralx.ufsm.br>).

3.2.4 Aspectos da vegetação

Segundo Leite e Klein (1990) esta região compreende as florestas das porções médias e superiores do vale do Rio Uruguai, denominada como Floresta Estacional Decidual. Para os mesmos autores a área, em geral, é tipicamente Ombrófila sem período seco e com bastante intensidade e regularidade pluviométricas. Seus índices térmicos determinam dois períodos bem distintos: um de 4 a 5 meses, centrado no verão, com médias compensadas iguais ou superiores a 20° C e outro de 2 a 3 meses, centrados no inverno, com médias iguais ou inferiores a 15° C. O clima, apesar de quente-úmido durante boa parte do ano, conserva, por apreciável período, caráter frio, capaz de imprimir restrições à proliferação e ao desenvolvimento de grande número de espécies tipicamente tropicais.

3.3 Metodologia

3.3.1 Mosaico digital concatenado com o uso de sistemas de coordenadas

Através da interpretação das fotografias aéreas do ano de 2005, na escala aproximada de 1:10.000, foi possível a elaboração do mosaico digital georreferenciado.

O mosaico digital foi elaborado a partir do uso de fotografias aéreas provenientes de câmaras de médio formato, com distância focal de 55 mm e altura de vôo de aproximadamente 2500 metros, o que resultou em uma escala aproximada de 1:10.000. Para o recobrimento de toda a área foi necessária a realização de oito faixas no sentido nordeste.

O processo para obtenção deste mosaico iniciou-se a partir da elaboração do plano de vôo e da realização do vôo aerofotográfico. Em seguida passa-se para a etapa de trabalho em laboratório onde as aerofotos passam pelo processo de revelação e ampliação, para posteriormente ser digitalizada através do uso de scanner.

Após digitalização as aerofotos (consideradas como imagens) são armazenadas em formato *raster*, ou seja, em formato de leitura contendo linhas e colunas, que definem a resolução espacial das imagens. Essas foram importadas para o aplicativo computacional, para o formato reconhecido pelo programa (JPG). A importação se faz necessário para que a imagem seja lida e processada, bem como, permite operações matemáticas e estatísticas necessárias para a elaboração do mosaico.

O concatenamento é elaborado a partir da identificação de alvos e objetos iguais, ou seja, mesmo objeto nas imagens adjacentes. A partir de pontos conhecidos foi possível elaborar o mosaico, ligando o cruzamento de um objeto por uma linha e coluna, de uma imagem, com a linha e coluna da imagem adjacente.

A utilização deste concatenamento compreende um conhecimento técnico maior, pois utiliza pontos de controle terrestre para a orientação e georreferenciamento das imagens. Os pontos de controle foram obtidos a partir de cartas topográficas (DSG), que possibilitaram um nível de detalhamento necessário para o projeto a ser elaborado.

As imagens foram georreferenciadas, separadamente (uma a uma), para um mesmo sistema de coordenadas. Este georreferenciamento consiste em reamostrar a imagem para adotar um sistema de coordenadas específicas e conhecidas.

Este tipo de mosaicagem apresenta uma melhor qualidade e melhor precisão, pois se apóia em coordenadas terrestres, corrigindo a posição e orientação das imagens.

Após a elaboração do mosaico, informa-se apenas o nome dos arquivos, e o número de imagens que serão concatenados. O aplicativo computacional associa a posição do sistema de coordenadas de uma imagem com a posição apresentada na outra imagem a ser concatenada.

Para se efetuar a união de outras imagens, foi necessário salvar em arquivo uma seqüência de concatenamentos anteriores, posteriormente o aplicativo interpretou como apenas uma imagem, e assim sucessivamente.

Na Figura 02, podem-se visualizar as etapas do processo de concatenamento realizado com auxílio do aplicativo computacional.

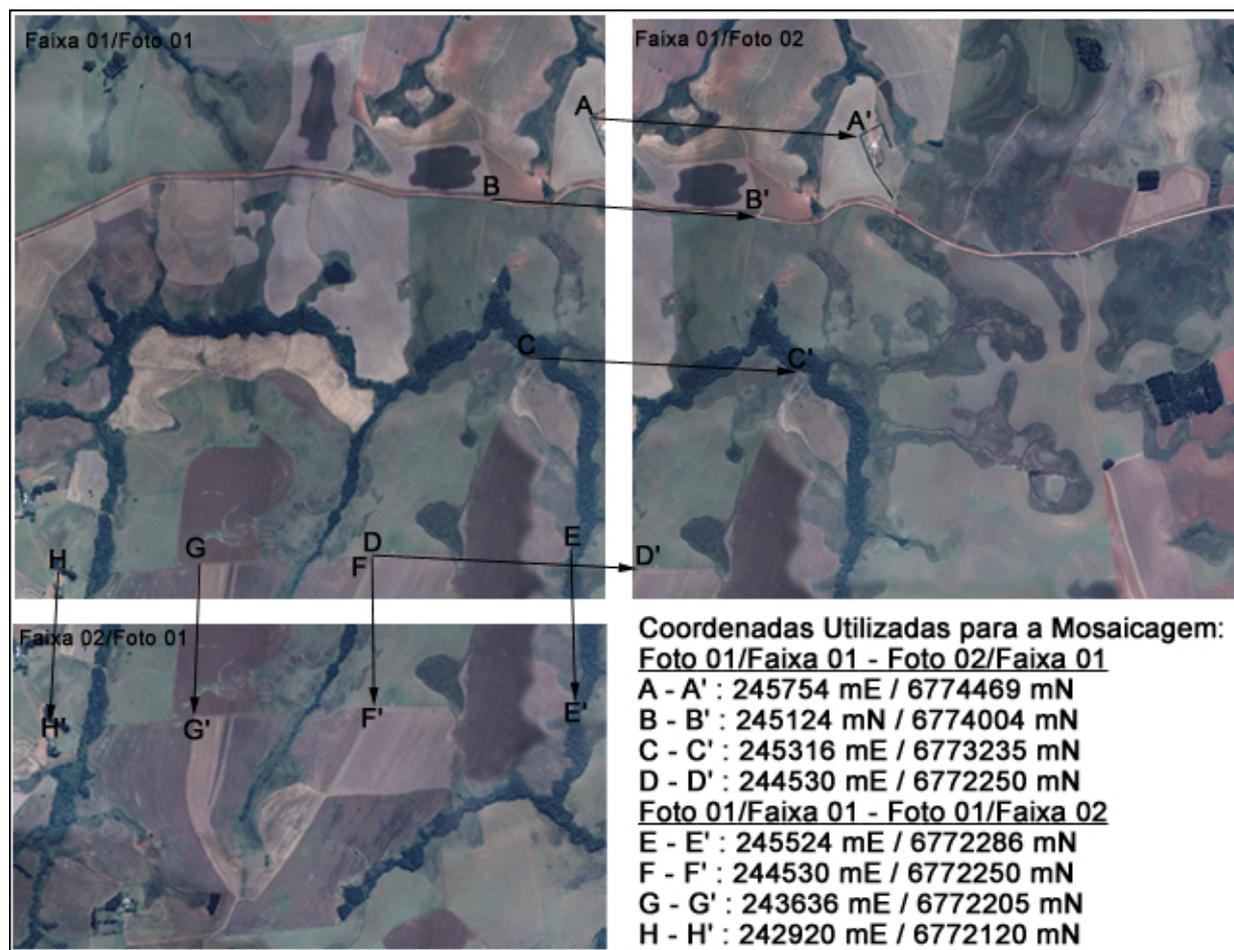


Figura 02 - Concatenamento realizado com a aplicação de leitura de um Sistema de Coordenadas em Aerofotos Georeferenciadas

O resultado da concatenação foi um mosaico semi-controlado com boas condições técnicas para a aplicação neste projeto.

Este mosaico foi uma importante ferramenta, possibilitando o levantamento de dados ambientais, oferecendo, elementos necessários para a elaboração desta dissertação.

A Figura 03 representa o resultado da concatenação por meio do sistema UTM (Universal Transversa de Mercator / Fuso 22). Porém, podem ser aplicados vários outros sistemas de coordenadas, reconhecíveis por diversos aplicativos computacionais utilizados em

levantamentos semelhantes. Ao final do processo, o aplicativo computacional lê toda a imagem digital e, para cada posição do mosaico, obtém-se a posição x: latitude, e Y: longitude.

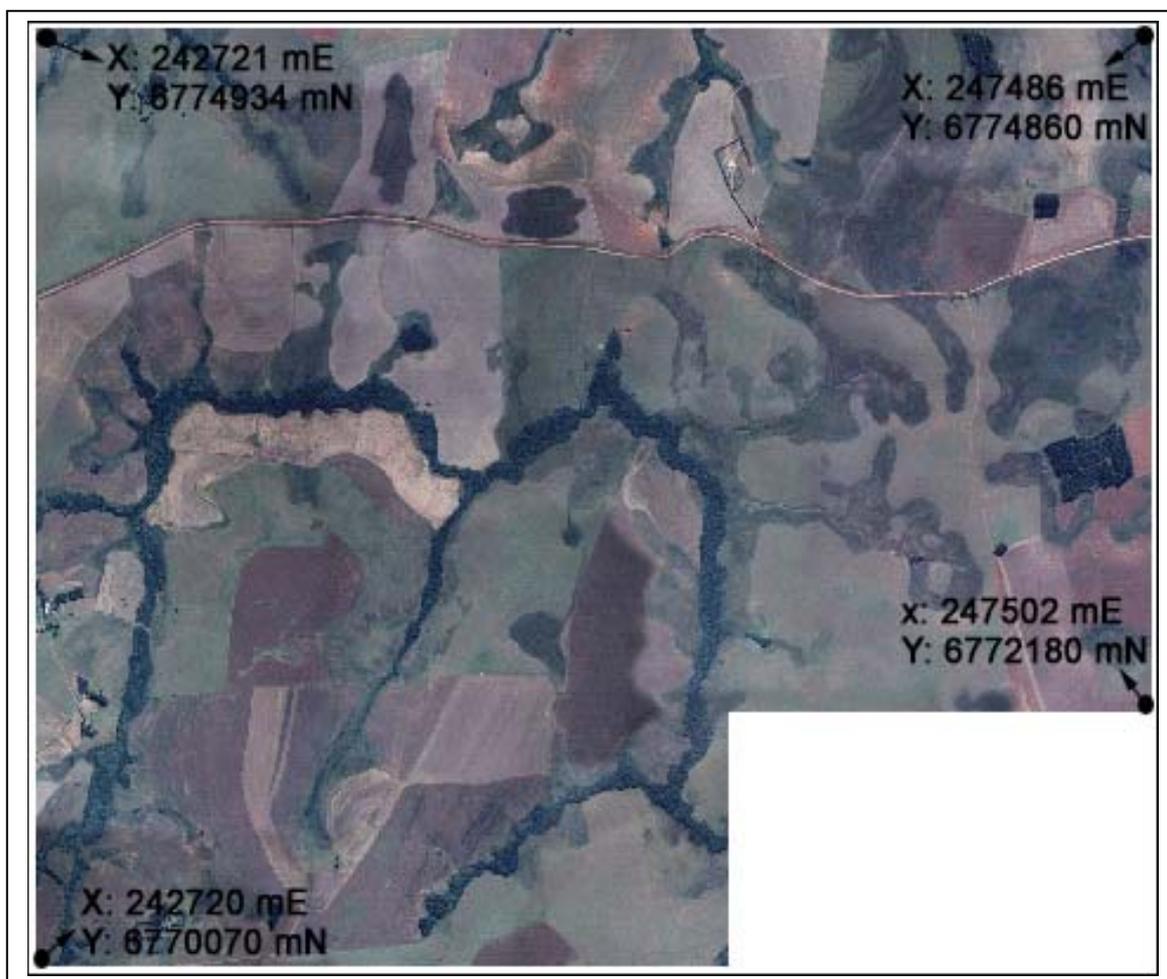


Figura 03 - Mosaico Digital Semi-Controlado obtido com a aplicação da concatenação por Sistemas de Coordenadas

Ao final do processo obteve o mosaico digital georreferenciado, o qual possibilitou um melhor processo de classificação do uso da terra e considerado um material ilustrativo de ótima qualidade para a área de estudo.

3.3.2 Levantamento das informações básicas (Planos de Informações – PI)

Todos os informações e mapas gerados foram georreferenciados com o uso do aplicativo *Idrisi*, no sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), no

fuso 22 Sul, com origem da quilometragem no Equador e Meridiano Central de 51° WGr, *datum* horizontal SAD-69, e *datum* vertical Imbituba, Santa Catarina.

As informações referentes as redes de drenagem e viária, curvas de nível e limite da área de estudo foram digitalizados diretamente em tela (programa computacional *Idrisi*), a partir das cartas da DSG que encontravam-se em formato digital. Estas informações foram passadas para o ambiente de um SIG (*Idrisi*), na forma de Planos de Informações (PIs). A partir dessas informações, todos os pontos de apoio foram ajustados e georreferenciados.

Esses PIs foram posteriormente utilizados em cruzamentos com os demais mapas. Este processo possibilita manter a base de dados com referência espacial única, possibilitando a realização de operações (somas, multiplicações, cruzamentos, entre outras) dentro do aplicativo sem ter problemas de incompatibilidade entre os planos.

O limite foi digitalizado e estruturado em forma de polígono, para cálculo de área e cruzamento com os demais mapas, extraindo apenas os dados referentes à área de estudo.

As curvas de nível, da mesma forma das informações anteriores, foram obtidas a partir de digitalização em tela e possuem em seus atributos as referidas cotas de altitudes, posteriormente utilizada na elaboração do mapa clinográfico.

Todas essas informações serviram de subsídio para a elaboração dos mapas de ignição, combustibilidade e conseqüentemente o mapa de incêndio.

3.3.3 Mapa de uso da terra

O mapa de uso da terra foi produzido a partir da classificação digital supervisionada, por máxima verossemelhança (maxlike) em imagens do sensor ETM+ do satélite Landsat 7, órbita ponto 223/080 de 20/12/99, utilizando as bandas 3,4 e 5.

Com as três bandas espectrais, pôde-se partir para a elaboração da composição no *Idrisi*.

Após importar as bandas espectrais 3, 4 e 5 efetuou-se a montagem da imagem, adotando-se a seguinte seqüência:

- banda 3- para a cor vermelha;
- banda 4- para a cor verde;
- banda 5- para a cor azul.

Desta forma adotou-se a composição falsa cor 5,4,3.

Com a conclusão das etapas anteriormente descritas, foi possível dar início a classificação digital propriamente dita. O *Idrisi* associa amostras coletadas de *pixels* a serem classificadas, e adota classes de uso, as quais foram pré-determinadas a partir do mosaico digital. São feitas coletas de amostras de diferentes usos e esses são associados a partir da cor e textura do *pixel* analisado pelo aplicativo utilizando, através da ferramenta *digitiz*. Os passos usados para a elaboração do mapa de uso da terra, foram:

a) Coletaram-se amostras, por meio de digitalização em tela de polígonos sobre as imagens. Foram coletadas aproximadamente 10% para cada tipo de uso coletado, considerando este valor significativo (verificação após classificação, utilizando como base de comparação o mosaico), para o propósito da pesquisa.

A Tabela 01 apresenta às classes de ocupação do solo, com seus respectivos coeficientes.

Classes de ocupação do solo	Coeficientes utilizados no Índice de Perigo de Ignição - IPIg	Coeficientes utilizados no Índice de Perigo de Combustibilidade - IPC	Legenda
Água	- 20	- 20	Ag.
Floresta	4	10	Fl.
Agricultura	5	13	Agr.
Solo Exposto	0	0	Solo Ex.
Pastagem	20	20	Past.
Reflorestamento	8	15	Refl.

Tabela 01: Classes de ocupação do solo com seus respectivos códigos e legenda

Assim, foi possível obter seis categorias para análises, são elas:

- **Água** – águas profundas (sem sedimentos) e águas superficiais (com sedimentos).
- **Floresta** – área onde existem florestas, como por exemplo, a floresta nativa.
- **Agricultura** – envolve área onde existe predominantemente qualquer tipo de agricultura, podendo estar associadas com outras classes de cobertura vegetal com menor representatividade.
- **Solo Exposto** – área de descanso, área de preparo para futuro plantio, ou área de preparo para possíveis obras civis.

- **Pastagem** – envolve áreas onde a pastagem é predominante.
- **Reflorestamento** – representa áreas ocupadas por reflorestamento.

b) Com a digitalização das amostras dos diferentes tipos de ocupação identificada na imagem e com o auxílio do mosaico georreferenciado (em casos de incertezas), o programa classificou a ocupação do solo. Essa classificação deve-se a partir da resposta espectral das amostras coletadas e usadas como base na classificação. A ferramenta denominada *maxlike* possibilitou a classificação da imagem a partir do agrupamento dos *pixels* semelhantes de acordo com número digital, separando esses *pixels* em conjuntos amostrados.

c) Ao final de todo este processo tem-se, como resultado, o mapa de uso da terra, obtido a partir da classificação supervisionada. Deste modo, o classificador adotará os parâmetros determinados a partir da coleta de amostras e por método matemático/estatístico (escolhido pelo classificador e processado no *software*) agrupa os *pixels* de acordo com sua radiância em uma das seis classes que foram usadas para o referido trabalho.

d) com a classificação efetuada, foi possível quantificar a área de cada uma das classes que se adotou na pesquisa, em que o aplicativo *Idrisi* processou as informações de acordo com o número digital do *pixel* de cada uma das seis classes. Associou a área do *pixel*, multiplicando pelo número total de *pixels* de cada classe gerando, dessa forma, as informações sobre o uso do solo.

A escolha dos valores (pesos) dos coeficientes foi em função das observações feitas por Aranha (2001) e adaptado para a área de estudo. Estes valores variaram de -20 (água) até 20 (pastagem) e isso se deve aos valores adotados para a aplicação nos índices de perigo de incêndio e de combustibilidade de cada classe de ocupação, ou seja, a facilidade do material tem de iniciar o processo de ignição e/ou de combustibilidade.

3.3.4 Mapa clinográfico

O mapa clinográfico foi elaborado a partir do modelo digital do terreno, gerado através das curvas de nível adquiridas pela digitalização em tela das cartas da DSG, em escala de 1:50.000 e arquivadas no banco de dados do aplicativo *Idrisi*. Após isso, utilizou-se a imagem de elevação, através do modelo *Surface analysis* do aplicativo, com a opção de declividade em porcentagem.

O módulo *surface* determina a declividade de cada célula (*pixel*) da imagem, baseado nas células vizinhas acima e abaixo, da esquerda e da direita da célula em questão.

Em seguida, os valores de declividade foram reclassificados e agrupados em classes com intervalos definidos, além disto, foram dados valores de coeficientes (pesos) relativos ao risco para suas diferentes declividades, como representados na Tabela 02 a seguir:

Classes de Declividade	Categorias	Coefficientes
$\leq 15^\circ$ e áreas planas	Muito Baixo	3
16 - 25°	Baixo	16
26° - 35°	Médio	20
35° - 45°	Elevado	8
$\geq 46^\circ$	Muito Elevado	1

Tabela 02 – Código relativo às classes de declividade

A classe de declividade é adaptada de Soares (1985) relacionado ao grau de inclinação do terreno em função de sua influência na taxa de propagação, que traduz o risco de incêndio. Os valores de declividade do terreno foram distribuídos em cinco classes que corresponderam aos riscos muito baixo, baixo, médio, elevado e muito elevado. Para cada uma destas classes foi atribuído um coeficiente, em função das observações feitas por Aranha (2001) e adaptado para a área de estudo, traduzindo o nível de risco da área estudada.

3.3.5 Mapa de exposição

Dentre as variáveis topográficas de relevância ao estudo de incêndios florestais, tem-se a exposição ao sol, que interfere diretamente em fatores como o conteúdo hídrico do combustível. Deste modo, as massas florestais expostas na direção Norte, são (em dias ensolarados) mais desidratadas e propensas a maior risco de incêndio florestal.

Contudo, as vertentes que recebem maior intensidade dos raios solares durante o dia, são mais propícias a iniciarem um incêndio florestal. Assim, o mapa de exposição do terreno foi elaborado também no programa *Idrisi* através do módulo *analytical hillshading*.

Para a elaboração do mapa de exposição, foi utilizado a vertente na estação do verão e às 13:00 horas (por ser o horário que a umidade relativa do ar é baixa), pois a perda de

umidade (evapotranspiração) das plantas já aconteceu em grande parte e o risco de incêndio é maior. O ângulo de inclinação do sol utilizado foi de 15° (valor padrão adotado para esse tipo de trabalho). Posteriormente foram gerados seis classes ou níveis de insolação para a micro bacia. Cada uma delas recebeu um peso que varia de 1 a 20, conforme a periculosidade de ocorrência de incêndios, de acordo com estudos realizados por Aranha (2001) e adaptado para a área de estudo.

De acordo com Ferraz e Vetorazzi (1998), foram adaptadas as condições de risco de incêndio em função da exposição para o hemisfério sul. Estes intervalos angulares foram distribuídos em seis classes (cinco classes de exposição, mais as regiões planas, onde se adotou o coeficiente com valor 1, pois a exposição é praticamente nula) e para cada uma foram atribuídos coeficientes, que traduzem o nível de risco e servem como base para as operações algébricas posteriores. O descrito anteriormente está representado na Tabela 03.

Ângulo de orientação	Exposição	Coefficientes
112,5° a 247,5°	SE / S / SW	4
67,5° a 112,5°	E	8
22,5° a 67,5°	NE	12
247,5° a 337,5°	NW / W	16
337,5° a 22,5°	N	20

Tabela 03 – Classificação quanto à exposição do terreno

3.3.6 Distribuição da rede viária e férrea

Para os dados de distribuição das redes viária e férrea, foram manipulados e aplicadas técnicas de delimitação da área de influência descritas a partir dos eixos das estradas e ferrovias. O raio de influência definido foi de 1000 metros para ambos os casos. Este valor foi definido em função da escala de análise e representação dos dados, já que as referências indicam que o maior número de incêndio acontecem entre 25 e 1000 m. Assim, o mapa de risco segundo a distribuição da rede viária e férrea, e é classificado a partir de uma tabela dicotômica (Tabela 04), como sugerido por Chuvieco e Congalton (1989), Chou et al. (1990) e Chou, Minnich e Chase (1993). Todas as áreas delimitadas pelo raio de influência foram consideradas sobre risco quanto a ignição em relação as demais áreas, as quais consideraram-se sem risco. Os coeficientes de risco apresentados nesta tabela traduzem o nível de influência

da circulação humana e foi usado na equação de ignição para posteriormente ser utilizado na determinação do índice de incêndio da área de estudo. A Tabela 04 dicotômico, representa os valores utilizados para a obtenção do índice de ignição.

Classes	Risco	Coefficiente
Sob influência	Sim	1
Sem influência	Não	0

Tabela 04: Classificação da distribuição da rede viária e férrea

3.3.7 Mapa de risco

Após o tratamento das diferentes variáveis, a próxima etapa foi integrá-las nos modelos de indexação, modelo de Perigo de Ignição, Perigo de Combustibilidade e conseqüentemente de Perigo de Incêndio. Deve-se relatar que, este modelo foi adaptado do utilizado por Aranha (2001). Estes modelos foram adaptados às condições e área de estudo e as equações podem ser observadas a seguir:

$$(01) \text{ IPIg} = (3V + 2E + A + DR_{v,f})$$

$$(02) \text{ IPC} = (5V + 3E + 4D + A - DR_{v,f})$$

$$(03) \text{ IPI} = \text{IPIg}|\text{IPC}$$

Onde:

- IPIg: Índice de Perigo de Ignição
- IPC: Índice de Perigo de Combustibilidade
- IPI: Índice de Perigo de Incêndio
- V: Uso da terra
- E: Exposição
- D: Declive
- A: Altitude
- $DR_{v,f}$: Distâncias das Redes Viárias e Férreas

Nestas equações, foram realizadas operações matemáticas (somas, subtração e multiplicação), entre os diversos temas (uso da terra, exposição, declive, altitude e distâncias

das redes viárias e férreas). Para as operações entre imagens foi necessário utilizar um outro modelo do programa *Idrisi*, conhecido como *overlay*. Esta ferramenta serve para realizar varias operações matemáticas entre imagens (adição, subtração, multiplicação, divisão, máxima, mínima, entre outras).

Para as operações com imagens e escalares (valores numéricos) foi usado o modelo *scalar*, que permite todo tipo de operação aritmética entre imagens e escalares.

Como cada índice foi dividido em cinco classes (Nulo, Baixo, Médio, Elevado e Muito Elevado) e as imagens obtidas apresentam um número maior de classes (0 a 255), os índices IPIg e IPC tiveram que ser reclassificados em cinco intervalos iguais, antes de serem cruzados, conforme apresentado na Tabela 05.

Categorias	Classes de IPIg e IPC
Nulo	< 0
Baixo	0-60
Médio	60-120
Elevado	120-180
Muito Elevado	>180

Tabela 05 – Classes de IPIg e IPC

Álvarez (2003) comenta que, para obter o Índice de Perigo de Incêndio é preciso realizar o cruzamento dos índices previamente determinados, este mediante a rotina *crosstab*, que realiza duas operações:

A primeira consiste em uma tabulação cruzada, na qual as classes de uma imagem são comparadas com as de outras, mediante um quadro de dupla entrada. Neste quadro aparece recolhido o número de cédulas de cada combinação possível, assim como uma ou duas possíveis medidas de correlação V de Cramer, que varia de 0 a 1. O valor 0 indica que não existe correlação e o valor 1 indica uma correlação perfeita.

A tabulação cruzada, obtida através da realização da análise *crosstab*, é uma matriz quadrada de dimensão cinco, onde as filas representam a categoria de Perigo de Ignição e as colunas a categoria de Perigo de Combustibilidade. Os valores que aparecem nelas correspondem ao número de células da imagem de Perigo de Incêndio que pertencem a cada cruzamento das classes anteriores.

Já que a imagem obtida de IPI apresenta 25 classes (resultado da matriz 5 x 5) e o objetivo do estudo apresenta cinco classes, propõe-se a realização de uma nova reclassificação. Os valores da tabulação cruzada estão representados no Quadro 01, a seguir:

	1	2	3	4	5
1	Muito Baixo	Baixo	Médio	Médio	Elevado
2	Baixo	Baixo	Médio	Elevado	Elevado
3	Médio	Médio	Médio	Elevado	Elevado
4	Médio	Elevado	Elevado	Muito Elevado	Muito Elevado
5	Elevado	Elevado	Elevado	Muito Elevado	Muito Elevado

Quadro 01 – Classes de Índice de Perigo de Incêndio antes da reclassificação

Após o cruzamento foi obtido cinco classes (matriz 1 x 5) as quais foram utilizadas para a classificação do Índice de Perigo de Incêndio, e estão apresentadas no Quadro 02.

Classes	Categorias
1	Muito Baixo
2	Baixo
3	Médio
4	Elevada
5	Muito Elevado

Quadro 02 - Classes de Índice de Perigo de Incêndio

3.3.8 Criação dos índices de perigo de incêndio, perigo de ignição e perigo de combustão

A partir das equações (01) e (02) obteve-se, por meio do SIG, duas novas imagens, que representam os índices de perigo calculado para a zona da micro bacia do rio Ibicuí Mirim. Após isso, foi realizado um cruzamento entre estes dois índices e obteve-se o índice final da pesquisa: o índice de perigo de incêndio (IPI), que apresenta numericamente e em forma de mapa os locais mais críticos em caso de incêndio na área de estudo.

Sobre estas imagens foi aplicado o módulo *histo*, indicando a distribuição dos diferentes índices na área de estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise dos planos de informações obtidos através do mapa base

Para a criação de um índice perigo de incêndio foi necessário o conhecimento da área de estudo. A partir da montagem do mapa bases através das cartas da DSG e georreferenciamento, foram extraídas informações da localização e extensão das redes viárias (154,14 km) e de férreas (42,99 km), além da curvas de nível e limite. Essas informações foram usadas na obtenção dos planos de informações e posteriormente empregadas na obtenção do índice de perigo de incêndio na área de estudo. A Figura 04 apresenta o mapa base utilizado na obtenção das informações posteriormente utilizadas no índice de perigo de incêndio.

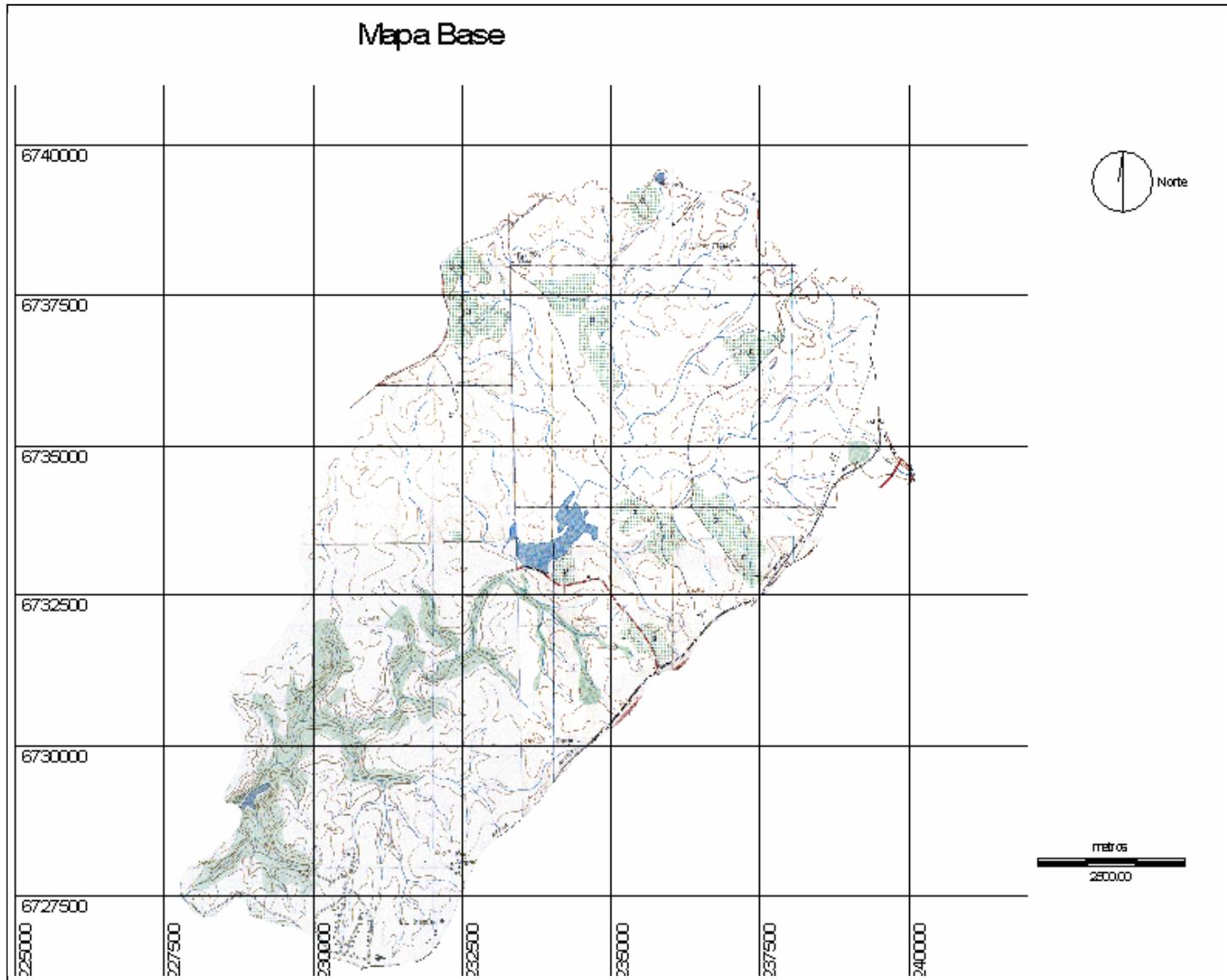


Figura 04: Mapa Base da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim (Santa Maria/RS)

4.2 Mapa de uso da terra

A micro bacia das nascentes do rio Ibicuí Mirim contemplam uma área de 8454,10 ha, a qual foi determinada pelo processo de cálculo de área do programa *Idrisi*.

A Tabela 06 mostra as classes de uso da terra e as respectivas áreas em hectares e percentagem.

Temas	Área (ha)	%	Coefficientes utilizados no Índice de Perigo de Ignição – IPIg	Coefficientes utilizados no Índice de Perigo de Combustibilidade - IPC
Água	149,756	1,77	- 20	- 20
Floresta	1560,996	18,47	4	10
Agricultura	3172,993	37,54	5	13
Solo Exposto	1327,531	15,70	0	0
Pastagem	2185,341	25,85	20	20
Reflorestamento	26,761	0,31	8	15
Não Classificado	30,726	0,36	-	-

Tabela 06 – Uso da terra da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim

Para a micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim, apresentaremos os principais usos da terra, assim distribuídos: Agricultura (37,54%), Pastagem (25,85%), Floresta (18,47%), Solo Exposto (15,70%), Água (1,77%), Não Classificado (0,36%), e Reflorestamento (0,31%).

Esses usos têm influência direta com relação ao índice de perigo de incêndio. Quando analisamos individualmente, percebemos que o local é potencialmente perigoso, tanto no processo de ignição, quanto no processo de combustibilidade dos materiais. É fato que materiais de pequenos diâmetros (relação superfície/volume) tenham um processo de secagem (desidratação) mais rápido, quando comparados a materiais de diâmetros maiores. Neste caso, podemos considerar a agricultura e a pastagem como matérias de alto poder de ignição, somando 63,39% do total da área estudada, por isso recebem um coeficiente de IPIg de 5 (ação humana mais intensa) e 20 respectivamente. Além disto, a combustibilidade deste material após o processo de ignição são considerados altos, recebendo desta forma os valores de 13 para agricultura e 20 para pastagem.

O reflorestamento é considerado tanto para o IPIg como para o IPC o segundo lugar referente aos valores dos coeficientes (8 e 15 respectivamente). Leva-se em consideração que em locais de reflorestamento a serrapilheira (dependendo da espécie) é composta de folhas e galhos finos, estas matérias também são de fácil ignição e combustibilidade.

Ao analisar a água e o solo expostos, percebe-se que não possuem material vegetal e, portanto, não têm influência nos processos de ignição e de combustão, recebendo valores de coeficientes baixos, -20 e 0 respectivamente.

A floresta possui valores intermediários de ignição (IPIg = 4) e combustibilidade (IPC = 10), mas deve-se compreender que poucas florestas encontra-se intactas atualmente, a ação antrópica é um fator quase que intrínseco quando falamos de florestas, contribui desta forma, para um aumento do potencial do índice de risco de incêndio.

Desta forma o estudo realizado por Vogel (2005) apresenta considerações importantes sobre a área. O pesquisador coletou dados sobre a serrapilheira em uma parcela da área de estudo e após dois anos verificou que a deposição total de serapilheira e seus componentes foram de 14.871,9 kg ha⁻¹, com uma média anual de 7436,0 kg ha⁻¹ depositados sobre o solo. Destes, observa-se que no segundo ano de coleta feita pelo pesquisador, a deposição de serapilheira foi menor do que no primeiro ano. Já a deposição de galhos finos e miscelânea, mantiveram-se mais ou menos constante nos dois anos de observação, conforme tabela 07 a seguir.

Primeiro Ano (kg ha⁻¹ ano⁻¹)				
	Folhas	Galhos finos	Miscelânea	Serapilheira
Total	6252,4	1283,2	871,0	8406,6
Média mensal	521,0	106,9	72,6	700,5
Desvio	186,7	71,5	57,6	246,4
CV (%)	35,8	66,8	79,3	35,2
(%)	74,4	15,3	10,4	100
Segundo Ano (kg ha⁻¹ ano⁻¹)				
	Folhas	Galhos finos	Miscelânea	Serapilheira
Total	4410,7	1165,6	889,1	6465,3

Média mensal	367,6	97,1	74,1	538,8
Desvio	126,3	81,3	48,4	155,2
CV (%)	34,4	83,7	65,3	28,8
(%)	68,2	18,0	13,8	100
Média anual (kg ha⁻¹)				
	Folhas	Galhos finos	Miscelânea	Serapilheira
Média anual	5331,5	1224,4	880,1	7436,0
(%)	71,7	16,5	11,8	100

Tabela 07 - Serrapilheira depositada ao longo dos dois anos de estudo na Floresta Estacional Decidual em Itaara-RS, Brasil, Vogel (2005).

Nota-se na Tabela 01, que a média anual da distribuição relativa da serapilheira foi de: folhas com 71,7%, galhos finos com 16,5%, e miscelânea com 11,8%. Todos estes materiais são classificados como combustíveis finos a médios, aumentando desta forma o risco de incêndio no local. Outro fator importante levantado pelo mesmo autor foi, a sazonalidade e variável climática relativa ao acúmulo da serapilheira desta área. Ressalta-se ainda que, tal estratégia é característica das Florestas Estacionais Deciduais do Sul do Brasil, onde uma estagnação do crescimento provocada pelo inverno faz com que ocorra a eliminação da folhagem senescente, visando o novo período de crescimento, que se inicia com a primavera, com o aparecimento de nova folhagem.

Porém essa afirmação é difícil de ser atribuída a essas variáveis climáticas. Os ventos também são fontes importantes de derrubada de folhas nas florestas. Uma vez que a maior deposição de serapilheira ocorreu em novembro de 2003 (mês de elevadas temperaturas), período do ano em que ocorrem às tempestades tropicais.

Esses resultados indicam que somente o uso das variáveis climáticas, temperaturas médias e precipitação mensal, não são suficientes para correlacionar a deposição de serapilheira com essas variáveis ambientais. Sendo necessário o uso de mais variáveis climáticas, como por exemplo, velocidade de ventos e direção, e a ocorrência de tempestades no local.

Contudo, estes devem ser fatores estudados mais profundamente, para complementarem estudos sobre serapilheira e inseridos em índices de incêndio, podendo auxiliar, fornecendo dados mais precisos, quanto ao risco de incêndios de distintas regiões.

A Figura 05 apresentará o mapa de uso da terra, este foi georreferenciado e as classes são diferenciadas conforme a legenda.

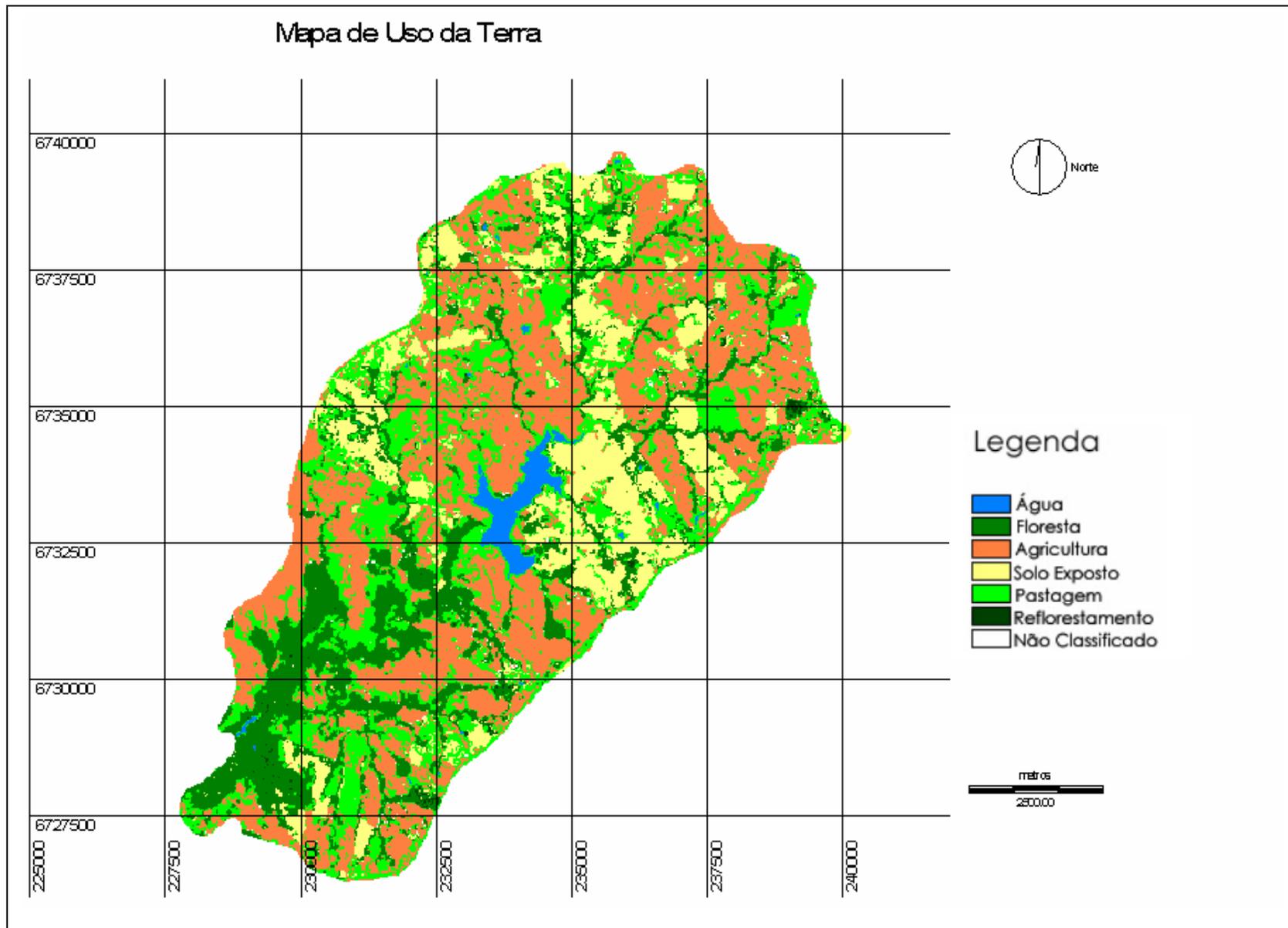


Figura 05 – Mapa de Uso da Terra da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim

4.3 Mosaico digital

A Figura 06 representa o mosaico digital, gerado através de fotografias aéreas realizado na área de estudo. Este mosaico serviu como base para obtenção das classes de uso da terra, bem como, a reambulação dos temas.

Em função do georreferenciamento e da escala do mosaico (aproximada de 1:10.000 e resolução de aproximadamente 1 metro por *pixel*), foi possível a obtenção de detalhamento dos temas de uso da terra e de redes viárias, os quais não são conseguidos nas imagens com resolução de 30 metros. Deste modo facilitou a classificação digital supervisionada, elucidando temas que em certos momentos apresentavam dúvidas no processo de classificação.

Além disto é um excelente material ilustrativo, possibilitando uma compreensão ampla da área de estudo, como pode ser visualizado na Figura 06.

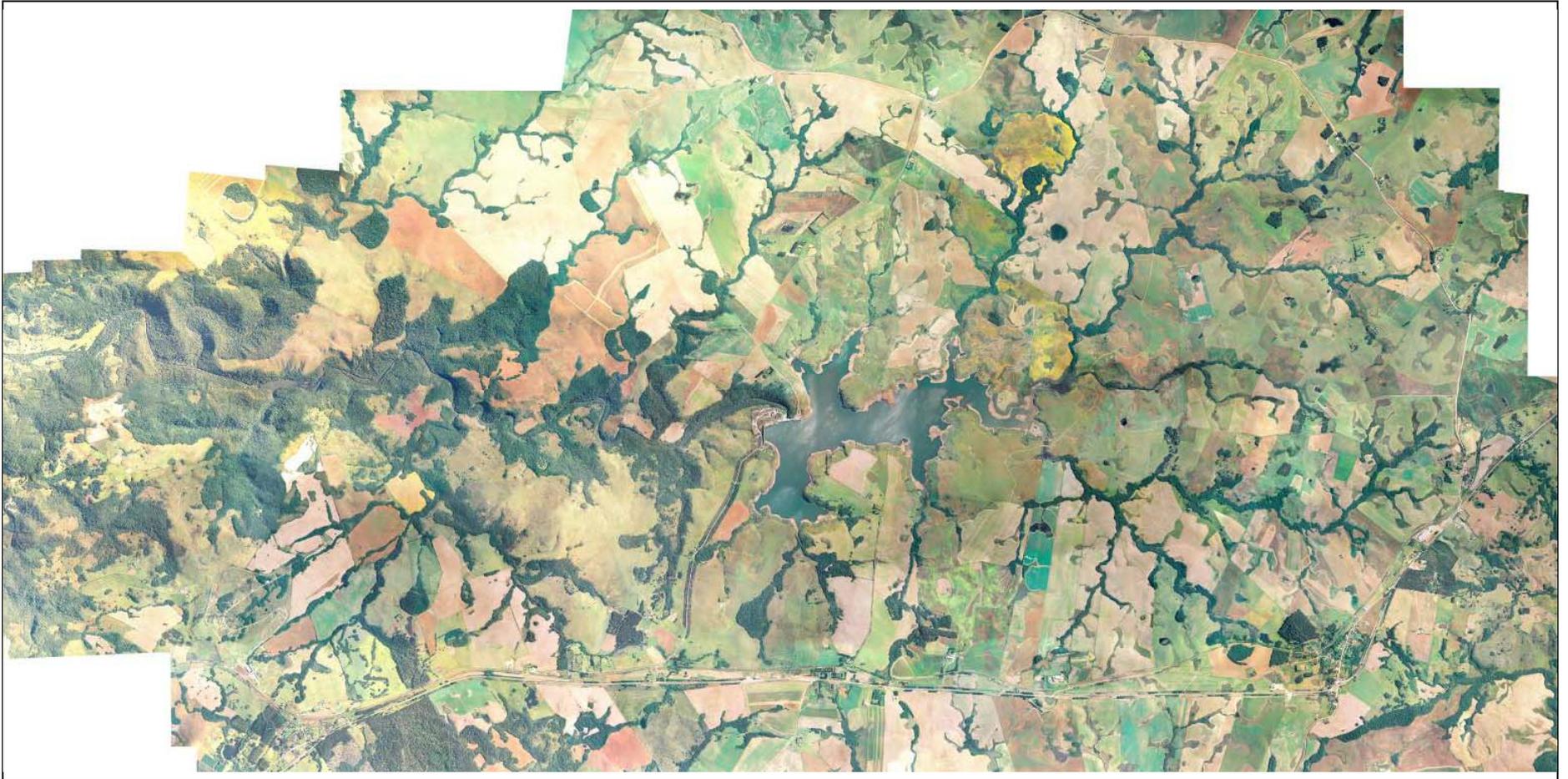


Figura 06 - Mosaico digital da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim

4.4 Mapa de exposição

O mapa de exposição das encostas representa o efeito do sol sobre o conteúdo de umidade do material combustível. Assim, as encostas voltadas para o Hemisfério Norte são diretamente iluminadas pelo sol no período mais quente do dia, isto faz com que a vegetação, que recobre estas encostas, seja mais seca do que a situada nas encostas voltadas para o Hemisfério Sul.

Pode-se verificar na Tabela 08 os resultados obtidos através da manipulação dos dados de altitude para a área de estudo, este processo foi feito no aplicativo computacional *Idrisi* e os resultados são apresentados na Tabela 08 a seguir:

Categorias	Área (há)	%	% Acumulada
Muito Baixo	5767,32	68,22	68,22
Baixo	912,59	10,79	79,01
Médio	80,65	0,96	79,97
Elevado	1046,40	12,38	92,35
Muito Elevado	647,14	7,65	100

Tabela 08: Classes de exposição para a micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim

Segundo os dados da Tabela 08, são referentes a classe de risco e os resultados observados foram:

- a) 68,22% foram classificadas como risco muito baixo, esse valor refere-se às encostas com direção Sul, Sudeste, Sudoeste ou áreas planas. Isto significa que os efeitos da radiação solar incidente influenciam pouco no processo de secagem de material combustível.
- b) 10,79% têm direção Leste, correspondendo a um risco baixo. Estas encostas são iluminadas no período da manhã e a radiação solar é em parte consumida no processo de evaporação.
- c) 0,79% está voltada para a direção Noroeste, correspondendo a um risco médio. Este risco é o menor encontrado de todas as categorias existentes.
- d) 12,38% das encostas têm direção Noroeste e Oeste, estas recebem iluminação no período da tarde, quando a energia recebida é mais

intensa e é utilizada para a secagem dos materiais combustíveis. O risco é classificado como elevado.

- e) 7,65% estão orientadas na direção Norte, correspondendo ao risco classificado como muito elevado. Tendo em vista que neste horário as encostas recebem energia solar do período mais quente do dia. Desta fase a secagem do combustível é mais intensa.

Em resumo, cerca de 20,03% do total da área estudada, estão classificadas quanto ao risco entre as categorias de elevado e muito elevado.

A Figura 07 mostra o mapa de risco de incêndio em relação às encostas existentes na micro bacia hidrográfica do rio Ibicuí Mirim.

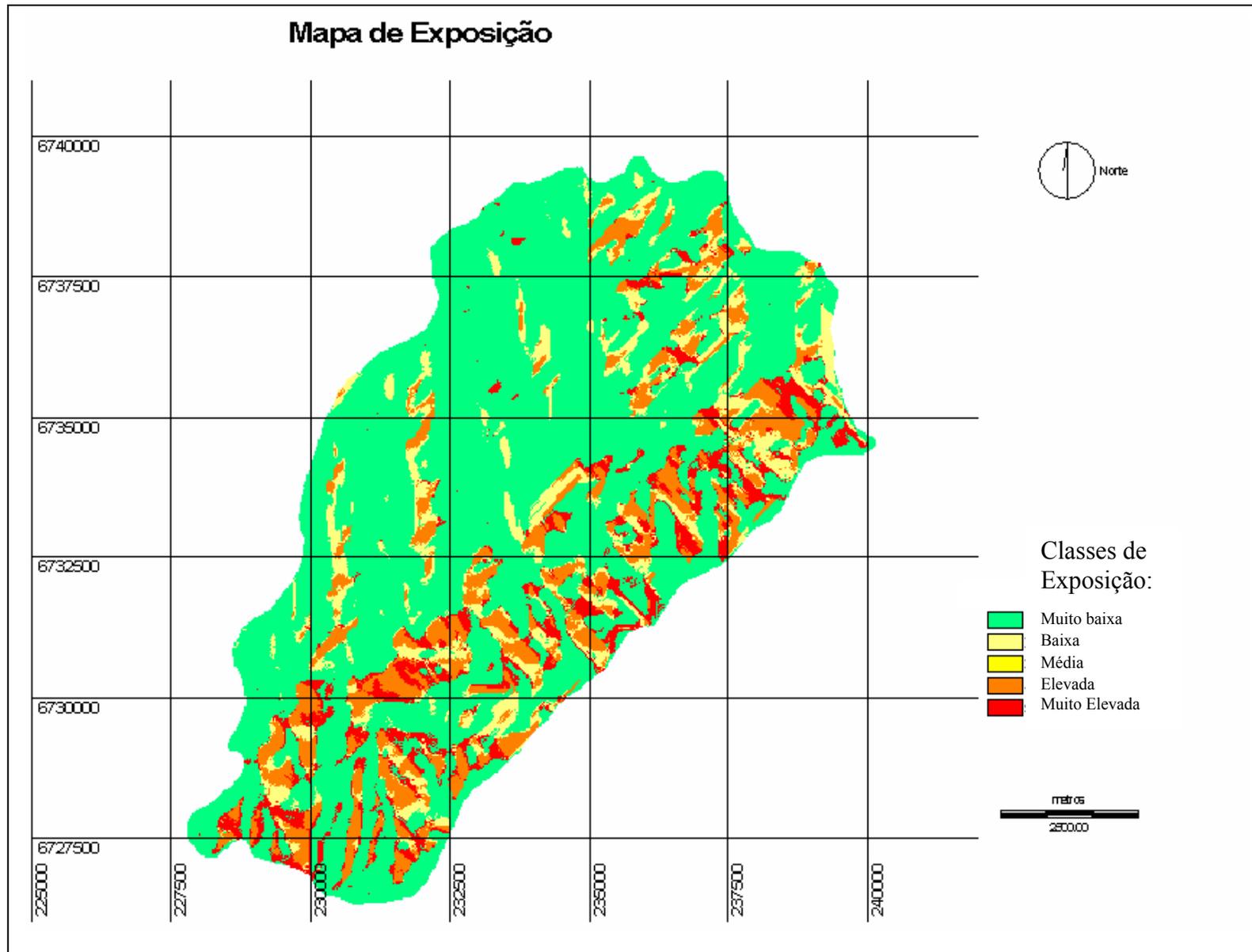


Figura 07 – Mapa de risco de incêndio em relação às encostas existentes na micro bacia hidrográfica do rio Ibicuí Mirim

4.5 Mapa clinográfico

O mapa clinográfico permitiu uma visualização das classes de declividade. Sendo assim, adotou-se como parâmetro cinco classes clinográficas, que variam de plano até valores maiores que 46°. Parâmetros estes que levam em consideração as classes propostas com o risco potencial de incêndio, bem como o seu percentual de ocorrência para cada classe.

A partir das classes de declividades, podem-se determinar os locais mais propícios à ignição e combustibilidade do material vegetal existente na área.

A ação do fogo é diretamente proporcional à declividade do terreno. Quanto maior a declividade, maior o contato das chamas na vegetação (grau de inclinação chamas/superfície), desta forma, mais rápido é a ação do fogo na área, podendo, muitas vezes, tornar incêndios de pequena magnitude em grandes incêndios de difícil controle.

Do ponto de vista prático, a declividade do terreno é a variável que permite determinar as aptidões e limitações dos diferentes usos da terra e possibilitando fazer um ordenamento das culturas e implementando medidas de segurança contra incêndios. A Tabela 09 apresenta a área referente às classes de declividade, demonstrando os resultados encontrados.

Classes de Declividade	Categorias	Área (ha)	%	% Acumulada
≤ 15°	Muito Baixo	6374,160	75,39	75,39
16 - 25°	Baixo	1586,557	18,77	94,16
26° - 35°	Médio	26,011	0,30	94,46
35° - 45°	Elevado	155,493	1,85	96,31
≥ 46°	Muito Elevado	311,863	3,69	100

Tabela 09 - Classes de declividade da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim

Observando os resultados da Tabela 09, constatou-se que a classe compreendida entre 0 a 15°, classificada como área plana a levemente ondulada, apresenta o maior percentual (75,39%), ocupando uma área de 6374,160 ha do total da microbacia hidrográfica. Este índice demonstra que a declividade do terreno facilita o planejamento preventivo (construção de açudes, aceiros, entre outras) e ações diretas de combate a incêndios, caso venha a ocorrer no local.

A classe com declividade de 16° a 25° compreendem uma área de 1586,557 ha e corresponde a 18,77% do total da área de estudo.

A categoria classificada como média, compreende a menor área do estudo, apenas 0,3% do total, esta declividade varia de 26° a 35°.

Em seguida temos a categoria classificada como elevada (35° a 45°), está compreende uma área total de 1,85%.

Por último, tem-se a classe clinográfica igual ou superior a 46°, a qual ocupa 311,863 ha, representando um percentual de 3,69% da área total, tem sua maior abrangência na porção sudoeste da bacia hidrográfica, classificada como muito elevada. Nesta elevação seria ideal a instalação de uma torre de incêndio, que cobriria a maior parte da área em estudo e seria de grande ajuda para a detecção rápida de princípios de incêndios.

A representação espacial das classes de declividades pode ser observada na Figura 08.

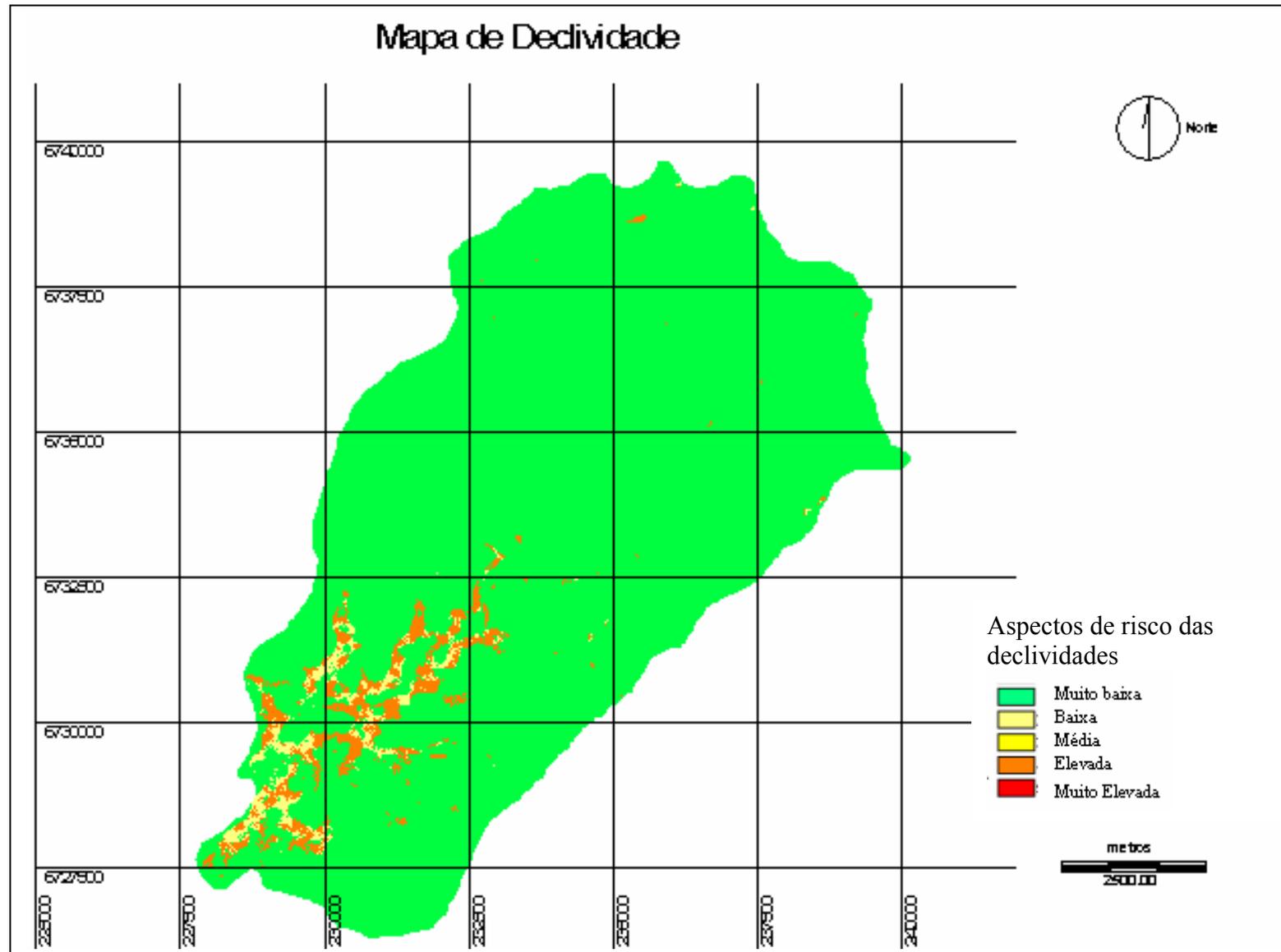


Figura 08 – Mapa Clinográfico da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim

4.6 Índice de perigo de ignição (IPIg)

O IPIg foi obtido a partir do cruzamento dos mapas de: cobertura do solo, exposição, altitude e mapas da rede viária e férrea existentes no local (equação 01, descrita no item 3.2.7). Ao cruzarmos estes planos obtiveram-se os seguintes resultados, conforme apresenta a Tabela 10, a seguir:

Categorias	Área (ha)	% Acumulada
Muito Baixo	7119,813	84,22
Baixo	1287,61	99,45
Médio	18,922	99,67
Elevado	26,491	99,98
Muito Elevado	1,261	100

Tabela 10 – Nível de risco de ignição para a micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim

Verificou-se que, para as categorias do Índice de Perigo de Ignição na micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim, os valores mais elevados corresponde a categoria muito baixa, com 84,22% da área total, seguido do risco baixo, com 15,23%. Nota-se que ao aumentar o perigo, os valores estão diminuindo (médio, elevado e muito elevado), não ultrapassando 0,5% no somatório total. Fato que pode ser elucidado no anexo 01, onde estes temas foram cruzados com a rede viária e férrea, verificando que os pontos de alto risco de incêndio estão localizados próximos as mesmas. Isto porque de acordo com Dias (1955), cerca de 15% dos fogos nas florestas foram originados por fumantes (utilizadores das estradas e acessos existentes), em florestas de Portugal. Ainda de acordo com o mesmo autor, fumantes negligentes foram considerados os principais causadores de fogos nos Estados Unidos, Canadá, Austrália e Rússia. Também se deve considera um elemento de ignição de incêndios florestais as fagulhas ou causas acidentais provocadas pelos trens.

Estes resultados podem ser visualizados na Figura 09 da página seguinte.

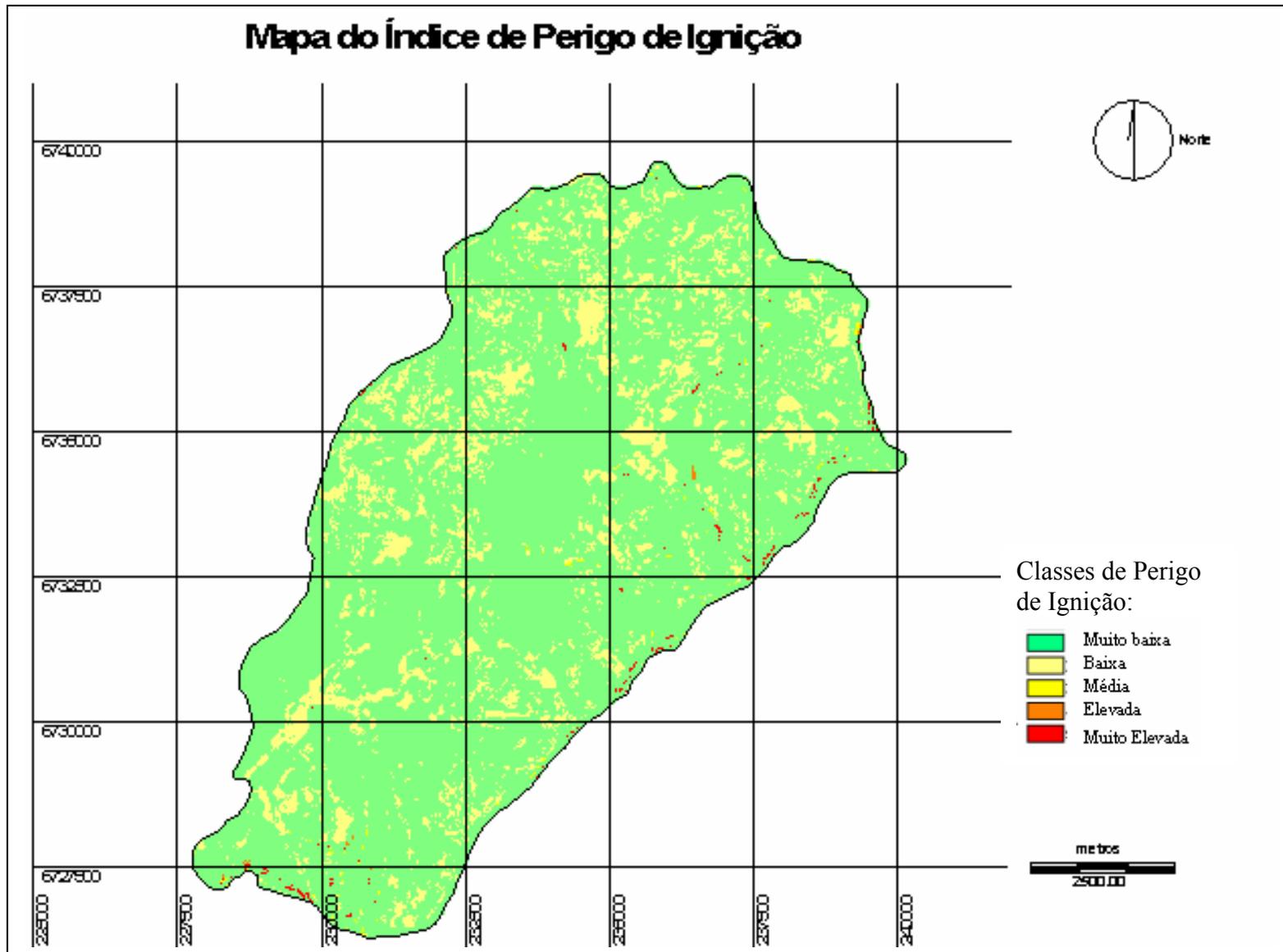


Figura 09 – Mapa do Índice de Perigo de Ignição da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim

4.7 Índice de perigo de combustibilidade (IPC)

Para o cálculo deste índice foi usado o mesmo processo do anterior. Neste caso em particular adicionou-se na multiplicação o plano de informação da declividade e foram subtraídas as distâncias das redes viárias e férreas, por estas não influenciarem na combustibilidade dos materiais (equação 02, descrita no item 3.2.7). Os resultados podem ser vistos na tabela a seguir:

Categorias	Área (ha)	% Acumulada
Muito Baixo	7954,646	94,10
Baixo	0	94,10
Médio	490,987	99,90
Elevado	0	99,90
Muito Elevado	8,469	100

Tabela 11 – Nível de risco de combustibilidade para a micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim

Analisando a Tabela 11, verificou-se uma semelhança deste índice com o anterior, no que se refere aos resultados obtidos. O maior valor foi encontrado na categoria muito baixa (94,10%). Particularmente, não foram encontrados valores em categorias intermediárias, classificadas como: baixa e elevado. Assim como o anterior, o valor classificado como muito elevado foi significativamente baixo apenas 0,1% do total.

Os locais que apresentaram risco de incêndio estão sobre as pastagens e florestas. Estes locais são considerados mais sensíveis, quando analisados individualmente, fatos este já comentado anteriormente.

Os resultados das classes do Índice de Perigo de Combustibilidade podem ser vistos na Figura 10.

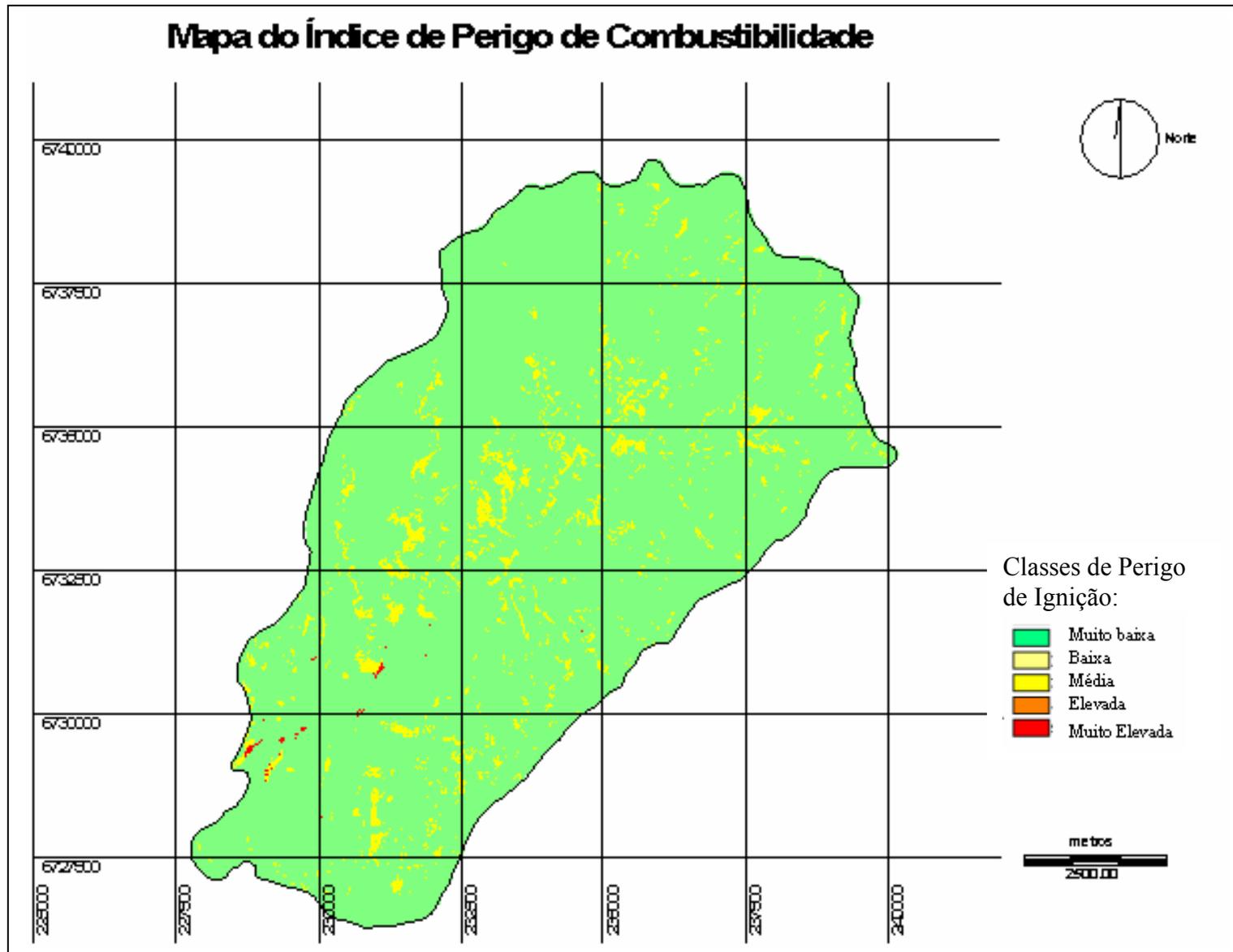


Figura 10 – Mapa do Índice de Perigo de Combustibilidade da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim

4.8 Índice de perigo de incêndio (IPI)

Do cruzamento das imagens de Índice de Perigo de Ignição e de Índice de Perigo de Combustibilidade obtive-se o mapa de Índice de Perigo de Incêndio (Figura 13) e a partir deste, realizaram-se cálculos para definir os valores em hectares e percentagens para as cinco categorias adotadas, apresentadas na Tabela 12.

Categorias	Área (ha)	%	% Acumulada
Muito Baixo	2108.39	24,94	24,94
Baixo	5010.88	59,27	84,21
Médio	480.08	5,67	89,89
Elevado	829.33	9,81	99,69
Muito Elevado	25.41	0,3	100

Tabela 12 – Nível de risco de incêndio para a micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim

Analisando a Tabela 12, verifica-se que a categoria que obteve o maior valor foi a Baixa, com 59,27% do total. Em seguida vieram as categorias, Muito Baixa (24,94%), Elevada (9,81%), Média (5,67%) e por ultimo a categoria Muito Elevada (0,3%). Isto reflete nas medidas a serem tomadas com relação a ações preventivas e corretivas neste local. Medidas como o ordenamento florestal, construção de aceiros, instalação de torre de incêndio, mapeamento, entre outras ações, para a região estudada.

A geração do IPI resultou em um mapa sintético que representa os níveis de risco considerados para a área de estudo, permitindo uma análise da situação de risco para a tomada de decisões. Esta visão integrada torna-se importante pela dificuldade em se identificar áreas de risco pela análise isolada de cada fator, principalmente área de diversidade de fatores de risco. Na Figura 11 é apresentado o mapa resultante do Índice de Perigo de Incêndio na área de estudo.

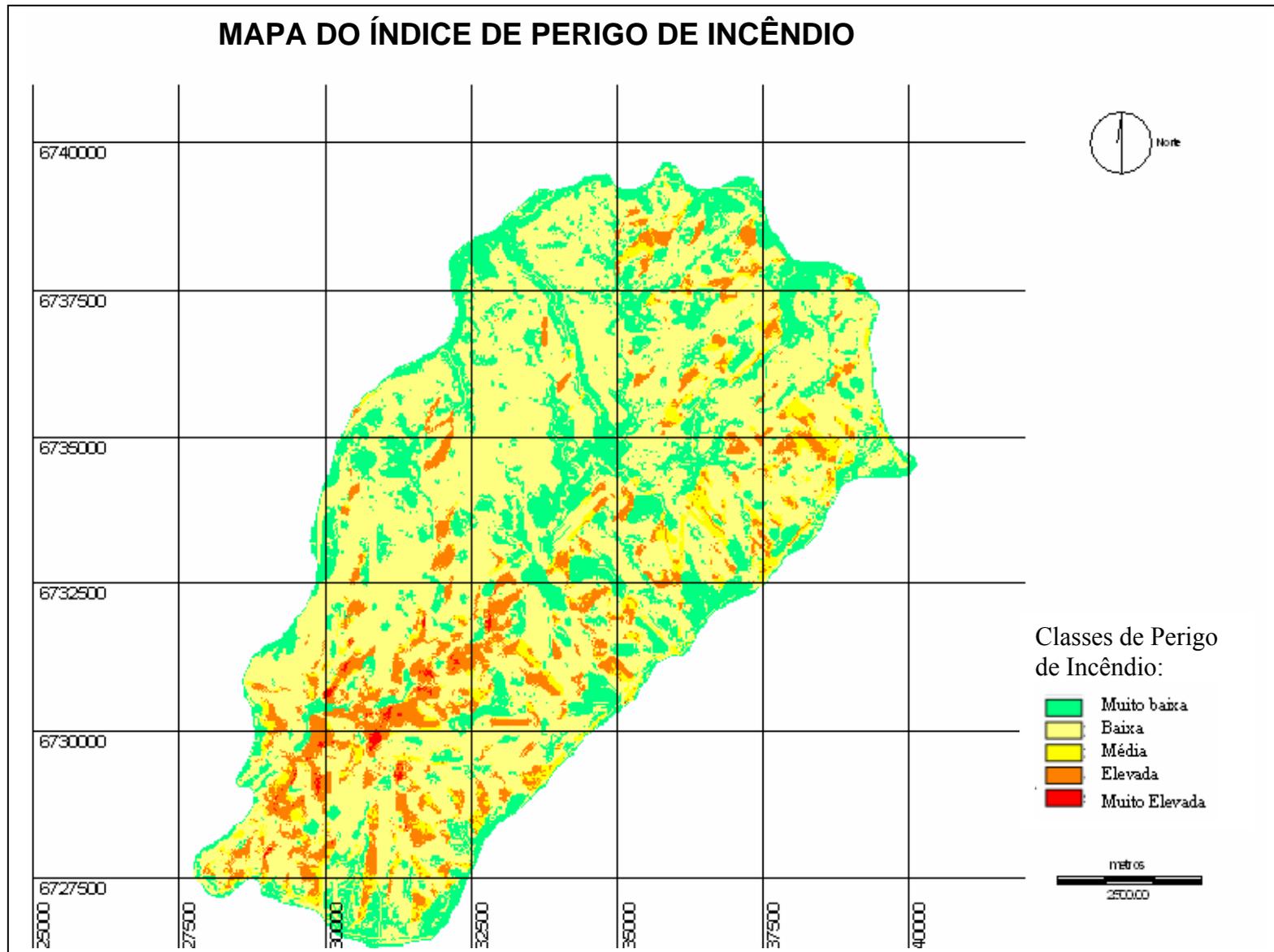


Figura 11 – Mapa do Índice de Perigo de Incêndio da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim

5 CONCLUSÕES

Os resultados permitiram concluir que, a partir de aplicações de conhecimentos e técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas e incêndios florestais, foi possível desenvolver o Índice de Perigo de Incêndio da região da micro bacia hidrográfica das nascentes do rio Ibicuí Mirim.

O estudo mostrou, a existência da relação entre os fatores ambientais e os antrópicos, indicando a possibilidade de desenvolvimento de um método de determinação de perigo de incêndio, baseado apenas nas variáveis estudadas.

As técnicas e os aplicativos computacionais utilizados mostraram-se capazes de suprir as necessidades do trabalho, além de serem de fácil operacionalidade.

Por fim, através dos resultados obtidos pela aplicação dos índices, ações preventivas podem ser tomadas. Será necessário analisar os fatores (uso da terra, declividade, material combustível, ações antrópicas, entre outros) individualmente e a partir disso, estudar ações preventivas (como: torre de incêndio, construções de aceiros, açudes, melhoria no ordenamento florestal, limpeza da área, tratamentos silvícolas, realização de incêndios de baixa intensidade, entre outras) com o intuito de proteção ambiental.

6 RECOMENDAÇÕES

A metodologia proposta é recomendada para aplicações em levantamentos semelhantes para distintos monitoramentos ambientais, como a aplicação para a proteção florestal.

Sugere-se em trabalho futuro de semelhante objetivo, utilizar-se outras bandas espectrais do sensor do satélite Landsat 7, com térmica, para determinação da temperatura da imagem e adotar este como um valor para ser aplicado nas equações. Podemos também usar em caso de incêndios já ocorridos e detectados pela imagem, outra banda, a banda 2, pois essa possibilita a visualização de áreas (em imagem utilizada para classificação do uso da terra) atingidas pelo fogo, possibilitando correlacionar o incidente a particularidades da região.

Recomenda-se utilizar imagens de épocas diferentes (estações do ano) para garantir uma abrangência (com relação as diferentes estações do ano) ainda maior da área de estudo.

Outras informações podem ser inseridas nas equações para elaboração dos índices de combustibilidade, ignição e incêndios mais precisos, como os ventos, os diâmetro de material combustível, as temperaturas diárias, as médias mensais ou utilizar a imagem termal, entre outros fatores. Estas informações trarão maior precisão para novos índices ou adaptações de índices já existentes, além de possível elaboração de simulações.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, R. Forest fire risk areas and definition of the prevention priority planning actions using GIS. Disponível em: <www.sgi.ursus.maine.edu/gisweb/. Acessado em: 17/03/06.

ÁLVAREZ, P.M.L. **Aplicación de un SIG para la Detección del Índice de Peligro de Incendio a partir de Imágenes Landsat TM, para la región del Alto Tâmega.** Relatório final de estágio em licenciatura em Engenharia Florestal, UTAD, Vila Real, 2003.

ARANHA, J.T.M., GONZALVES, G. **Criação de um Índice de Perigo de Incêndio para o Vale do Alto Tâmega.** Departamento Florestal – ESIG 2001, Lisboa, 2001.

ARANHA, J.T.M., WALFORD, N., LUCAS, N. **A Fire Hazard Index for The Vale do Alto Tâmega – Tools and methodologies for Fire Danger Mapping.** UTAD, Vila Real. Portugal, 2001:

ASSAD, E. D. & SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura.** Brasília: EMBRAPA - SPI / EMBRAPA - CPAC, 1998.

BARRO, S.C.; CONARD, S.G. **Use of ryegrass seeding as an emergency revegetation measure in Chaparral ecosystems.** Berkeley: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1987.

BECKER B. Grandes Projetos e Produção do Espaço Transnacional: uma nova estratégia do estado na Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia**, n.51, p.230-254, 1989.

BECKER, E.L.S.; BOLFE, E.L. & PIROLI, E.L. **Classificação digital do uso da terra na microbacia do Arroio do Veado Silveira Martins-RS, Brasil.** In: Ciclo de Atualização Florestal do Cone-Sul. ANAIS. Santa Maria. 08 a 10 de Setembro, 1999.

BROWN, A.A.; DAVIS, K.P. **Forest fire: control and use.** 2.ed. New York: McGraw Hill Book, 1973.

BROWN, A.A.; DAVIS, K.P. **Forest fire, control and use.** New York, McGrawHill, 2nd.ed. p.686, 1973.

BURROUGH, P.A., **Principles of geographical information systems for land resources assessment.** Clarendon Press: Oxford, 1989.

CALABRI, G. Recent evolution and prospects for the Mediterranean region. In: NAO, T. van. **Forest fire prevention and control.** The Hague: Martinus Nijhoff, p. 113-126, 1982.

CALIJURI, M.L.; RÖHM, S.A. **Sistemas de Informações Geográficas.** CCET/DEC - Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária. Viçosa, M.G. 1994.

CAMARA, G. e MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais.** INPE, São José dos Campos, SP. 1996.

CAMP, A.E.; HESSBURG, P.F.; EVERETT, R.L. Dynamically incorporating late-successional forest in sustainable landscape. In: HARDY, C.C.; ARNO, S.F. (Eds.). **The use**

of in forest restoration. Ogden: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, p. 20-23, 1996.

CASTAÑEDA, A. Zonificación para el manejo de incendios en plantaciones forestales em Colômbia. **Boletín de Protección Forestal**, Colômbia, n.2, p.38-46, abr. 1997.

CASTELLANI, T.T.; STUBBLEBINE, W.H. Sucessão secundária inicial em mata tropical mesófila, após perturbação por fogo. **Revista Brasileira de Botânica**, v.16, p.181-203, 1993.

CHOU, Y. *et. al.* Spatial autocorrelation of wildfire distribution in the Idyllwild Quadrangle, San Jacinto Mountains, California. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**, Bethesda, v.56, n.11, p.1507-1513, nov.1990.

CHOU, Y.; MINNICH, R.A.; CHASE, R.A. Mapping Probability of Fire Occurrence in San Jacinto Mountains, California. **Environmental Management**, New York, v.17, n.1, p.129-140, 1993.

CHUVIECO, E., SALAS, J. **Mapping the spatial distribution of forest danger using GIS.** **Int. J. Geographical Information Systems**, v.10, nº 3, p. 333-345, 1993.

CHUVIECO, E.; CONGALTON, R.G. **Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping.** *Remote sensing of environment*, v.29, p. 147-59, 1989.

CLARK, D.A. The role of disturbance in the regeneration on neotropical moist forest. In: BAWA, K.S.; HEDLEY, M. (Eds). **Reproductive ecology of tropical forest plants.** Paris: Patheron Publishing Group, UNESCO, p.291-315, 1990.

COCHRANE, M.; SCHULZE, M.D. Fire as a recurrent event in tropical forest of the eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition. **Biotropica**, Kansas, v.31, n.1, p.2-16, 1999.

COUTINHO, L.M. O Cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência Hoje**, Brasília, v.12, p.131-138, 1990.

COUTO, E.A.; CANDIDO, J.F. **Incêndios florestais.** Viçosa: Imprensa Universitária Federal de Viçosa, p.26-33, 1980.

FERNANDES, D.; FERNANDES, M.T.C. **Imagens de Radar de Abertura Sintética como instrumento de auxílio na avaliação do impacto ambiental,** Santos, IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1998. CD-ROM.

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

FULLER, M. **Forest fires: an introduction to wildland fire behavior, management, firefighting, and prevention.** New York: J. Wiley, 1991.

FURMAN, W. Wildfire zones on a mountain ridge. **Annals of the association of american geographers.** Washington. V.68, n.1, p.89-94, mar. 1978.

HEIKILLÄ, T.V.; GRÖNQVIST, R.; JURVÉLIUS, M. **Handbook on forest fire control**. Helsinki: Painotalo, 1993.

HOLDSWORTH, A.R.; UHL, C. Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. **Ecological application**, v.7, p.713-725, 1997.

IDRISI. **Tutorial on-line**. Clark Labs. Worcester MA – USA. 2001.

INPE – INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em: www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/. Acesso em 01/012006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Disponível em: <http://www.dpi.inpe/proarco/bdqueimadas>. Acesso em: 13 fev.2005.

Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul. Disponível em: (<http://coralx.ufsm.br>). Acesso em 13/04/06

JEMISON, G.M.; LINDENMUTH, A. W.; KEETCH, j.j. **Forest fire danger measurement in the Eastern United States**. Washington: U.S.D.A. Forest Service, 1949. (Handbook n.1).

KAUFFMAN, J.B. Survival by sprouting following fire in tropical forest of the Eastern Amazon. **Biotropica**, Kansas, v.23, p.219-224, 1991.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: 1990.

LOPES, L.H.A., HOCHHEIM, N. **Sistema de Informações Geográficas utilizado no estudo dos efeitos das ocupações em áreas de solo criado**. RS. In: 2º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico - COBRAC Anais. Florianópolis, 13-17 out. 1996.

MADRUGA, P. R. de A. e PEREIRA, R. S. **Sistema de Informação Geográfica aplicada à área florestal - uma proposta metodológica** – Tópico Especial Apresentado ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. UFPR. Curitiba. 1991.

MADRUGA, P.R. de A. **Diagnose física do uso da terra em 1966/77 e 1985 na região de programação nº 6 – RS**. Dissertação de Mestrado. Santa Maria: UFSM, 1985.

MADRUGA, P.R.A. **Sistema integrado de manejo de bacias hidrográficas**. Tese de Doutorado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

MARTINEZ, J.O.; AGUILERA, R. Aplicaciones de tecnologia SIG y GPS para el manejo del fuego. In: Prognosis y Gestion en Control de Incendios Forestales, Santiago de Chile. *Actas...*, Santiago de Chile: **Proyeto FONDEF FI – 13**, p.95-101, 1995.

MARTINS, S.V.; BARROS, N.F.; SAMPAIO, O.B. *et al.* Liberação e lixiviação de nutrientes pela queima da manta orgânica de três coberturas vegetais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.2, p.149-156, 1995.

MIRANDA, E. E. Disponível em: <<http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/meioamb/ecossist/queimada/qincend/index.htm>>. Acesso em: 13 de abr. 2004.

- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961.
- MUTCH, R.W.; COOK, W.A. Restoring fire to ecosystems: methods vary with land management goals. In: HARDY, C.C.; ARNO, S.F. (Eds) **The use of fire in forest restoration**. Ogden: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, p.9-11, 1996.
- NEPSTAD, D.C.; VERÍSSIMO, J.A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forest by logging and fire. **Nature**, v.398, p.504-508, 1999.
- NOGUEIRA, R.N. **Modelamento matemático em Sistemas de Informações Geográficas aplicado ao levantamento preliminar de solos**. Pelotas: DS/FAEM/UFPEL, 1996, p.88 Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Pelotas, 1996.
- NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2 ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1995.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto. Curso de Especialização em Geoprocessamento**. UFRJ, IBGE. Deptº de Geografia. Rio de Janeiro, 1999. vol. 2, Mídia CD.
- NOVO, E.M.L. **Sensoriamento Remoto, princípios e aplicações**. Ed. Blucher São Paulo, SP. 1992.
- OLDEMAN, R.A.A. Tropical rainforest, architecture, sylvigenesis and diversity. In: SUTTON, S.L.; WHITMORE, T.C.; CHADWICK, A.C. **Tropical rainforest: ecology and management**. Oxford: Blackwell Scientific, p.139-150, 1983.
- PENHA, A.S. **Propagação vegetativa de espécies arbóreas a partir de raízes gemíferas: representatividade na estrutura fitossociológica e descrição dos padrões de rebrota de uma comunidade florestal, Campinas, São Paulo**. 1998. 114p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- PEREIRA, R.S.; MADRUGA, P.R. de A.; HASENACK, H. **Geoprocessamento aplicado ao planejamento de uso de recursos naturais - Curso**. Santa Maria : UFSM-CCR-FATEC, 1995.
- PYNE, S.J. **Introduction to wildland fire: fire management in the United State**. New York: J. Wiley, 1984.
- RAMIREZ, M. R. **Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados para Geoprocessamento**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1994. Dissertação de Mestrado.
- SADER, S.A.; STONE, T.A., JOYCE, A. T., **Remote Sensing of Tropical Forest: Na Overview of Research and Applications Using Non-Photographic Sensors. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 56 (10): 13453-1351, 1990.
- SALAS, J.; CHUVIECO, E. Geographic information systems for wildland fire risk mapping. **Wildfire**, Washington, v.3, n.2, p.7-13, jun. 1994.

SALAS, J.; CHUVIECO, E. **Geographic information systems for wildland fire risk mapping**. *Wildfire*, Washington, v. 3, n.2, p.7-13, jun. 1994.

SANCHES, P.A. **Suelos del tropico**: característica y manejo. San José : IICA, 1981.

SCHROEDER, M.J.; BUCK, C.C. **Fire weather**: a guide for application of meteorological information to forest fire control operation. Washington: U.S.D.A. Forest Service, 1970. (Handbook 360)

SHUMACER, M. V., **Caderno didático da disciplina de Proteção Florestal (CFL 506)**, UFSM, 2003.

SILVA, D. A. **Sistemas Sensores Orbitais**. Centro Técnico Aeroespacial. Instituto de Estudos Avançados. São José dos Campos, 1995.

SOARES, R.V.; Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997, **Revista Florestal**, v.32, n.2, p. 219-232, 2002.

SOARES, R. V.; 1972a. Índices de perigo de incêndio. **Floresta** Curitiba, v.3, n.3, p.19-40, 1972.

SOARES, R. V.; Desempenho da "Fórmula de Monte Alegre" Índice Brasileiro de Perigo de Incêndios Florestais, **Cerne**, v.3, n.1, p.087-099,1998.

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

SOARES, R.V.; **Incêndios Florestais**: controle e uso do fogo. Curitiba, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 231p, 1985.

SOHO, D.M. What is a "fire hazard"? **Forestland Steward**, Sacramento, n.424, p.12, 1999.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002.

TEIXEIRA, A. et al. **Qual a melhor definição de SIG**. Revista FATOR GIS, n.11, 1995.

TEIXEIRA, A. L. de A., MORETI, E., CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos Sistemas de Informações Geográficas**. Rio Claro: ed. Do Autor. 1997.

UHL, C.; CLARK, K.; CLARK, H. *et al.* Successional patterns associated with slash-and-burn agriculture in the upper rio Negro region of the Amazon basin. **Biotropica**, Kansas, v.14, p.631-649, 1981.

UHL, C.; JORDAN, C.; CLARK, K. *et al.* Early plant succession after cutting and burning in the upper rio Negro region of the Amazon basin. **Journal of Ecology**, Oxford, v.69, p.631-649, 1981.

UHL, C.; KAUFFMAN, J. B.; SILVA, E. D. da. **Os caminhos do fogo na Amazônia**. Revista Ciência Hoje, v.11, n.65, ago. 1990.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses**: MDT/ Universidade Federal de Santa Maria. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. – 6ª. Ed – Santa Maria: Ed. da UFSM, 2005.

VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; MATTOS, M.; TARIFA, R.; UHL, C.; Logging impacts and prospects for sustainable forest management in na old Amazonian frontier: the case of Paragominas. **Forest ecology and management**, v.55, p. 169-299, 1992.

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

VIEIRA, E. F. **Rio Grande do Sul**: Geografia física e vegetação. Porto Alegre: Sagra, 1984.

VOGEL, M.L.H. **Quantificação da biomassa e nutrientes em uma floresta estacional decidual em Itaara-RS, Brasil**. 2005. 94f. Tese de doutorado em Engenharia Florestal - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

8 ANEXOS

ANEXO 01: Mapa do IPIg x rede viária e rede férrea existente

