https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/25217/D%20-%20OLIVEIRA%2c%20DANIELLE%20DOS%20SANTOS%20DE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

DANIELLE DOS SANTOS DE OLIVEIRA

ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIOS EM POVOAMENTOS FLORESTAIS NO NORTE DE SANTA CATARINA

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Antonio Carlos Batista

CURITIBA

2002

Aos meus pais, Pedro e Sueli

e ao Williams

dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade e confiança.

Ao Professor Dr. Antonio Carlos Batista, pela orientação, apoio e incentivo durante todos os momentos.

Aos Professores co-orientadores Dr. Ronaldo Viana Soares e Dra. Cláudia Robbi Sluter, pelas críticas e sugestões.

Aos Pesquisadores Dr. Leocádio Grodzki e Dr. Marcelo Diniz Vitorino, pelas contribuições como examinadores do trabalho.

À Rigesa-Westvaco Celulose, Papel e Embalagens, Ltda., na pessoa de seu diretor Engenheiro Florestal Etsuro Murakami, que permitiu a realização deste trabalho e em especial aos profissionais Engenheiro Florestal Marco Antônio Rigota Brito, Edson Brehmer, Sônia Figueira e Manoel Salvador.

À Bibliotecária Tânia Baggio de Barros, Biblioteca de Ciências Florestais e Tecnologia da Madeira - UFPR, pela cuidadosa revisão.

Ao Williams Carlos Pretko, pela compreensão, apoio e carinho sempre dedicados.

À minha família pela compreensão, apoio e carinho que sempre dedicaram.

Aos colegas e amigos que com suas sugestões contribuíram muito para minha formação.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS vi
LISTA DE FIGURAS vii
LISTA DE SIGLAS viii
RESUMO xi
ABSTRACT x
1 INTRODUÇÃO 01
2 REVISÃO DA LITERATURA 03
2.1 RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL 03
2.1.1 Agentes de ignição dos incêndios florestais 04
2.1.2 Fatores ambientais associados à propagação do fogo 06
2.1.2.1 Características da cobertura vegetal 07
2.1.2.2 Características do material combustível 08
2.1.2.3 Características topográficas 09
2.1.2.4 Condições climáticas 10
2.2 ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIO 11
2.2.1 Metodologias para o zoneamento de risco de incêndio 12
2.3 FATORES DE RISCO/PERIGO 18
2.3.1 Presença humana 18
2.3.2 Cobertura vegetal 21
2.3.3 Quantidade de material combustível 23
2.3.4 Características topográficas 27
2.3.5 Variáveis meteorológicas 30
3 MATERIAL E MÉTODOS 33
3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA 33
3.2 OBTENÇÃO DE DADOS PARA O ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIO 36
3.3 PROCEDIMENTOS PARA A GERAÇÃO DO MAPA DE RISCO 39
3.3.1 Presença humana na região 39
3.3.1.1 Coleta de dados 39
3.3.1.2 Classificação 40
3.3.1.3 Implementação 41
3.3.2 Cobertura vegetal 42
3.3.2.1 Classificação 42
3.3.2.2 Implementação 43
3.3.3 Material combustível 43

3.3.3.1 Coleta 43
3.3.3.2 Classificação 45
3.3.3.3 Implementação 45
3.3.4 Características topográficas 46
3.3.4.1 Classificação 46
3.3.4.2 Implementação 47
3.3.5 Ventos Predominantes 47
3.3.5.1 Coleta de dados 47
3.3.5.2 Classificação 48
3.3.5.3 Implementação 48
3.3.6 Integração dos dados 48
3.3.7 Cruzamento dos mapas de risco preliminares 49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 53
4.1 OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIO NA REGIÃO 53
4.2 RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DA PRESENÇA HUMANA 56
4.3 RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E DO MATERIAL COMBUSTÍVEL 60
4.4 RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DA DECLIVIDADE DO TERRENO E DA ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS 71
4.5 RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DOS VENTOS PREDOMINANTES 78
4.6 DEFINIÇÃO DO CRITÉRIO DE INTEGRAÇÃO DOS MAPAS DE RISCO PRELIMINARES 82
4.7 ANÁLISE DO CRITÉRIO DE PONDERAÇÃO 86
4.8 ANÁLISE DA VIZINHANÇA 93
4.9 ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIO 99
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 103
5.1 CONCLUSÕES 103
5.2 RECOMENDAÇÕES 104
6 REFERÊNCIAS 107

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COEFICIENTES DE INFLAMBILIDADE DE ALGUMAS FORMAÇÕES VEGETAIS 21
TABELA 2 – FATORES CLIMÁTICOS RELACIONADOS AOS AMBIENTES – VERÃO/1987 22
TABELA 3 – FORMAÇÃO VEGETAL E QUANTIDADE DE COMBUSTÍVEL CORRESPONDENTE 24
TABELA 4 – MATERIAL COMBUSTÍVEL ASSOCIADO COM DIFERENTES FORMAÇÕES VEGETAIS 25
TABELA 5 – MATERIAL COMBUSTÍVEL EM ASSOCIAÇÃO COM DISTINTOS AMBIENTES 25
TABELA 6 – FÓRMULAS PARA CÁLCULO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL 26
TABELA 7 – INCLINAÇÃO DO TERRENO E O FATOR DE PROPAGAÇÃO ASSOCIADO 30
TABELA 8 – ATIVIDADES E PRESENÇA HUMANA NA REGIÃO NO ANO DE 2001 40
TABELA 9 – CLASSIFICAÇÃO DA PRESENÇA HUMANA 41
TABELA 10 – SUB-CLASSIFICAÇÃO DA PRESENÇA HUMANA 41
TABELA 11 – CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL 42
TABELA 12 – CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A QUANTIDADE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL 45
TABELA 13 – CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A DECLIVIDADE DO TERRENO 46
TABELA 14 – CLASSIFICAÇÃO DA ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS 47
TABELA 15 – CLASSIFICAÇÃO DOS VENTOS PREDOMINANTES 48
TABELA 16 – OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIOS NA RIGESA NO PERÍODO 1984 A 2001 53
TABELA 17 – ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ENTORNO DA PROPRIEDADE E A DISTÂNCIA EM CONTATO COM A MESMA – JUNHO/JULHO 2001 56
TABELA 18 – CONSTITUIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO COM RELAÇÃO AO USO DO SOLO ANO 2001 61
TABELA 19 – CARGA DE COMBUSTÍVEL ATRIBUÍDA DE ACORDO COM CADA FORMAÇÃO VEGETAL 67
TABELA 20 – ESTUDO DA DIREÇÃO DO VENTO EM RELAÇÃO A UMIDADE RELATIVA E PRECIPITAÇÃO NO PERÍODO DE 1990 A 2001 79
TABELA 21 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO 83
TABELA 22 – ÁREAS SEGUNDO CADA CLASSE DE RISCO DE ACORDO COM O MAPA INTEGRADO 86
TABELA 23 – CLASSES DE RISCO SEGUNDO OS PESOS PROPOSTOS POR SALAS E CHUVIECO (1994) E FERRAZ E VETTORAZZI (1998) 88
TABELA 24 – ÁREAS SEGUNDO CADA CLASSE DE RISCO DE ACORDO COM O MAPA DE INTEGRADO COM A ANÁLISE DO EFEITO DA VIZINHANÇA 93
TABELA 25 – DISTRIBUIÇÃO DE ÁREAS EM RISCO POR TIPO DE FORMAÇÃO VEGETAL 100
TABELA 26 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE RISCO EM RELAÇÃO AS REGIÕES ADMINISTRATIVAS 100
TABELA 27 – DISTRIBUIÇÃO DE ÁREAS EM RISCO POR TIPO DE FORMAÇÃO VEGETAL CONSIDERANDO O EFEITO DA VIZINHANÇA 101
TABELA 28 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE RISCO EM RELAÇÃO ÀS REGIÕES ADMINISTRATIVAS CONSIDERANDO O EFEITO DA VIZINHANÇA 102

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE TRÊS BARRAS-SC 33
FIGURA 2 – MAPA DE DETALHAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO 34
FIGURA 3 – COMPOSIÇÃO DO ZONEAMENTO DE RISCO 51
FIGURA 4 – EXEMPLO DO EFEITO DA ANÁLISE DA VIZINHANÇA SOBRE O MAPA ORIGINAL 51
FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DOS DADOS DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES 52
FIGURA 6 – ÁREA QUEIMADA DURANTE OS MESES DO ANO 54
FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO DE OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIOS DURANTE OS MESES DO ANO 54
FIGURA 8 – MAPA DE FRONTEIRAS E ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ENTORNO DA PROPRIEDADE FLORESTAL 57
FIGURA 9 – PRESENÇA HUMANA 59
FIGURA 10 – ÁREA DE ESTUDO CLASSIFICADA SEGUNDO AS FORMAÇÕES VEGETAIS OCORRENTES 62
FIGURA 11 – DETALHAMENTO DOS POVOAMENTOS FLORESTAIS 63
FIGURA 12 – COBERTURA VEGETAL 65
FIGURA 13 – DISTRIBUIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO EM RELAÇÃO AO RISCO SEGUNDO A COBERTURA VEGETAL 66
FIGURA 14 – MAPA DE RISCO EM FUNÇÃO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL 68
FIGURA 15 – DISTRIBUIÇÃO DA ÁREA TOTAL EM FUNÇÃO DO RISCO SEGUNDO O MATERIAL COMBUSTÍVEL 69
FIGURA 16 – MAPA HIPSOMÉTRICO DA REGIÃO DE ESTUDO 72
FIGURA 17 – MAPA DE RISCO EM FUNÇÃO DA DECLIVIDADE DO TERRENO 73
FIGURA 18 – DISTRIBUIÇÃO DA ÁREA EM FUNÇÃO DO RISCO SEGUNDO A DECLIVIDADE DO TERRENO 74
FIGURA 19 – ÂNGULOS DE ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS 75
FIGURA 20 – MAPA DE RISCO EM FUNÇÃO DA ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS 76
FIGURA 21 – DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO SEGUNDO A ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS 77
FIGURA 22 – VENTOS PREDOMINANTES SEGUNDO OS REGISTROS METEOROLÓGICOS 78
FIGURA 23 – MAPA DE RISCO EM FUNÇÃO DOS VENTOS PREDOMINANTES 81
FIGURA 24 – DISTRIBUIÇÃO DA ÁREA EM RELAÇÃO AOS VENTOS PREDOMINANTES 82
FIGURA 25 – INTEGRAÇÃO DOS MAPAS DE RISCO PRELIMINARES 87
FIGURA 26 – MAPA DE RISCO SEGUNDO OS PESOS PROPOSTOS POR SALAS E CHUVIECO (1994) 89
FIGURA 27 – MAPA DE RISCO SEGUNDO OS PESOS PROPOSTOS POR FERRAZ E VETTORAZZI (1994) 90
FIGURA 28 – TALHÃO 144 ATINGIDO POR INCÊNDIO EM 1995 E AS ZONAS DE RISCO 92
FIGURA 29 – ÁREAS SEGUNDO CADA CLASSE DE RISCO DE ACORDO COM O MAPA INTEGRADO COM A ANÁLISE DO EFEITO DA VIZINHANÇA 94
FIGURA 30 – DETALHE DA ÁREA DO PARQUE SCHUARTZ 96
FIGURA 31 – DETALHE DE ÁREA DE CORTE RASO 97
FIGURA 32 – DETALHE DA REGIÃO 4 – PAUL 98

LISTA DE SIGLAS

A – Componente ameaça
AC – Componente aceiros
AL – Componente altitude
ARA – Povoamentos de araucária
ccv – Peso atribuído à componente cobertura vegetal
CV – Componente cobertura vegetal
cd% – Peso atribuído à componente declividade
cmc – Peso atribuído à componente material combustível
coe – Peso atribuído à componente orientação das encostas
cvp – Peso atribuído à componente ventos predominantes
D% – Componente declividade
DE – Componente distância à estradas
DR – Componente distância aos rios
E – Direção Leste
EDT – Povoamentos de *Eucalyptus dunni* talhadia
EDU – Povoamentos de *Eucalyptus dunni*
EL – Povoamento de *Pinus elliottii*
ES – Componente estradas e carreadores
EVI – Povoamentos de *Eucalyptus viminalis*
EXE – Área experimental de eucalipto
EXP – Área experimental de pinus
FWI – *Fire Weather Index*
I – Componente iluminação do terreno
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MC – Componente material combustível
N – Direção Norte
NE – Direção Nordeste
NF – Construções
NFB – Banhado (áreas com solo não mecanizável)
NFDRS – *National Fire Danger Rating System*
NFR – Estradas
NW – Direção Noroeste
OE – Componente orientação das encostas
ON – Corte raso
ONP – Áreas disponíveis para plantio
PH – Componente presença humana
PI – Plano de informação
PP – Preservação permanente
PSE – Pomar de sementes de eucalipto
PSP – Pomar de sementes com pinus
RIF – Risco de incêndio florestal em cada unidade de análise
S – Direção Sul
SE – Direção Sudeste
SIG – Sistema de informações geográficas
SW – Direção Sudoeste
TA – Povoamento de *Pinus taeda*
TIN – *Triangulated Irregular Network* ou rede irregular de triângulos
US – Componente uso do solo
V – Componente vulnerabilidade
VP – Componente ventos predominantes
VZ – Componente uso do solo na vizinhança
W – Direção Oeste
ZRIF – Zoneamento de risco de incêndio florestal

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido em Três Barras-SC, em uma região composta por plantios de pinus, eucalipto, araucária e vegetação nativa, tendo como objetivo fazer o zoneamento de risco de incêndio considerando o efeito integrado da presença humana, cobertura vegetal, quantidade de material combustível, declividade do terreno, orientação das encostas e ventos predominantes. Para esta análise utilizou-se um Sistema de Informações Geográficas (SIG). A presença humana na região foi identificada a partir das ortofotos existentes e cadastro em campo. A cobertura vegetal foi obtida diretamente do banco de dados existente. Com relação ao material combustível, utilizaram-se modelos para estimar a carga acumulada sobre o piso da floresta quando se tratava de plantios de pinus e eucalipto, e valores de referência para áreas de corte raso e vegetação nativa. A declividade e a orientação das encostas foram extraídas a partir do modelo tridimensional do terreno. Os ventos predominantes foram identificados a partir da análise de registros meteorológicos diários e investigando-se também suas relações com a precipitação, umidade relativa e temperatura média do ar. As informações dos registros de incêndio foram reunidos em uma planilha (data, região/talhão atingido, causa, área queimada, duração, força de combate). Nesta planilha foram agregadas informações sobre as variáveis em estudo para todos os talhões atingidos. A partir da análise desta planilha observou-se que todos os incêndios ocorridos no período de 1984 a 2001 se deveram à ação humana e a área queimada média foi inferior aos valores médios encontrados para o estado (SC) e para o país. Em seguida, com base na revisão bibliográfica e nos dados coletados, foram preparadas tabelas de classificação segundo o risco de incêndio para cada uma das variáveis em estudo. Estas tabelas foram aplicadas a cada um dos mapas donde surgiram os mapas de risco preliminares. A análise da presença humana na região indicou que 27,7% da área sofre algum tipo de influência. Considerando a cobertura vegetal, observa-se que 66% da área foi classificada como risco extremo correspondendo aos plantios de pinus. Segundo o material combustível, cerca de 38,7% da área apresentou risco alto e aproximadamente 50% risco moderado. Com relação à declividade do terreno observou-se que a maioria da área (99,6%) apresentou risco nulo e baixo. Analisando-se a orientação das encostas, observou-se que as áreas que apresentaram maior risco estão voltadas para as direções N (risco extremo), NW e W (Risco muito alto) e NE (risco alto), que correspondem a 50% da área total. Considerando os ventos predominantes observou-se que 25,2% da área total estava sob influência de ventos NE e NW, com características aparentemente mais secas e 14,5% da área está sob influência de ventos SE e SW com características aparentemente mais úmidas. Na seqüência, com a aplicação de uma análise de correlação foram definidos os pesos de cada uma das variáveis. Os mapas foram sobrepostos e o resultado deste cruzamento de informações resultou no zoneamento de risco. De acordo com o modelo de ponderação proposto, observou-se que a maioria da área se encontrava classificada como risco baixo (51,7%) e moderado (29,2%). Entretanto, os resultados obtidos a partir da integração dos mapas de risco preliminares são muito sensíveis às variáveis utilizadas na análise e aos pesos atribuídos.

Palavras chave: Incêndios florestais; Zoneamento; Sistemas de Informação Geográfica; Proteção Florestal.

ABSTRACT

This work was developed in Três Barras, State of Santa Catarina, Brazil, in a region composed of pine and eucalyptus plantations and indigenous vegetation. The objective of the research was to build a forest fire risk map through the integrated analysis of human presence, vegetation cover, fuel load, slope gradient and aspect, and predominant winds. For this analysis the Geographical Information System (GIS) was used. The information about the human presence in the region was obtained from the analysis of ortophotos and field records. The vegetation cover was retrieved from available data base. For the estimation of fuel load, mathematical models developed for pine and eucalyptus plantations and literature information for the exploited areas and indigenous vegetation were used. The slope gradient and aspect were obtained from the land digital model analysis. The predominant winds were obtained from daily meteorological ten-year period records. The influence of precipitation, temperature and air humidity over predominant winds was also analyzed. The fire records information were assembled in archives (date, region, stand, cause, burned area, time, firefighting efforts). Also were inserted information about studied factors for all the analyzed stands. From the archives analysis it was observed that all fires occurred in period of 1984 to 2001 were from human activities, and the mean burned area was inferior to the mean burned area for Santa Catarina State and Brazil. Based on literature information and acquired data, classification tables according to fire risk for each studied factors were prepared. From this classification it was possible to elaborate thematic fire risk maps. The results of the human presence analysis showed that 27,7% of the area suffered from some kind of influence. Considering the vegetation cover, the results showed that 66% of the area corresponding to pine plantation was classified as extreme risk. As to the fuel load, around 38,7% of the area represent high risk and 50% moderate risk. In relation to the slope gradient, it was observed that the majority of the area (99,6%) presents null and low risk. Analyzing the slope aspect, it was noticed that the areas which present higher risk were directed to the N (extreme risk), NW and W (very high risk) and NE (high risk), which correspond to 50% of the total area. Considering the predominant winds it was observed that 25,2% of the total area was under influence of NE and NW winds with apparently dryer characteristics, and 14,5% of the area was under the influence of winds from SE and SW with apparently higher moisture content. Through the application of correlation analysis the weights of each factor were calculated. The final stage of this work was the construction of a risk map, resulted from the superposition of various thematic maps developed in the previous stage. The fire risk map obtained from the correlation analysis between the environmental conditions and the local fire occurrences showed that 51,7% of the area was under low risk and 29,2% under moderate risk. However, the final map was highly influenced by the weighted model, being necessary a very discerning analysis of the environmental conditions associated to the forest fire occurrences in the region.

Key-words: Wildfires; Fire risk map; GIS; Forest Protection

1 INTRODUÇÃO

A ação do fogo sobre a floresta atinge não só a cobertura vegetal, mas também as características do solo, a fauna silvestre e a atmosfera, podendo ser altamente destrutiva quando se trata de incêndios florestais. Por isto o fogo constitui-se em ameaça constante às florestas, ao meio ambiente, à propriedade e à própria vida humana.

Condições meteorológicas favoráveis à propagação de incêndios se repetem periodicamente, o que, aliado à cultura histórica da queima para limpeza de pastagens e de restos de agricultura e à ação de incendiários, pode agravar a situação de tal maneira que grandes incêndios podem ocorrer a qualquer momento, caso não sejam tomadas medidas adequadas de proteção. Além dos bens econômicos representados pelas grandes áreas ocupadas por povoamentos comerciais e pomares de sementes, as áreas ocupadas por vegetação nativa requerem uma atenção especial, em função de seu valor ecológico.

O risco de incêndio depende de algumas variáveis que podem influir tanto na disponibilidade da fonte de fogo para o seu início como nas condições que favoreçam a sua propagação. Estas variáveis são principalmente tipo de vegetação, características do material combustível, topografia, tipo de ocupação do solo e condições meteorológicas. A quantificação destas variáveis por distrito florestal possibilita a elaboração de mapas indicativos do risco de incêndios, que são importantes ferramentas para o planejamento da prevenção e para o dimensionamento das forças de ataque quando for necessário o combate a um incêndio em qualquer região administrativa da propriedade florestal.

O zoneamento do risco de incêndios florestais é um elemento básico para o planejamento da proteção florestal, proporcionando uma visualização da distribuição espacial do risco em toda a área protegida e possibilitando uma melhor adequação dos recursos e equipamentos destinados à prevenção e combate de acordo com o nível de perigo de cada região. Entre as atividades que podem ser otimizadas com o uso do

zoneamento de risco de incêndios se encontram a distribuição das torres de observação (SNEEUWJAGT, 1998) e a definição de rotas de patrulha, direcionado-as para as áreas críticas como sugerem SOUSA et al. (2000). A publicação do zoneamento de risco da propriedade pode inclusive auxiliar na divulgação das áreas críticas, na conscientização dos proprietários vizinhos e no desenvolvimento de um maior senso de responsabilidade na população.

Para a execução do zoneamento de risco dispõe-se atualmente dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Em um ambiente SIG é possível armazenar, inserir, administrar, analisar e apresentar dados espaciais na forma de mapas, relatórios, gráficos e diagramas. É possível fazer sobreposição de informações e análises espaciais, que se tornam subsídio para a tomada de decisões. Todas estas potencialidades são indispensáveis aos estudos relacionados aos incêndios florestais tendo em vista seu caráter espacial e a diversidade de fatores ambientais relacionados.

O objetivo principal deste projeto foi desenvolver uma metodologia para a elaboração de um mapa de risco de incêndio para uma propriedade florestal, através dos seguintes objetivos específicos:

- Análise da influência das atividades humanas na região;
- Zoneamento do risco segundo a cobertura vegetal;
- Zoneamento do risco segundo o material combustível;
- Zoneamento do risco segundo a declividade do terreno e a orientação das encostas na propriedade;
- Análise dos ventos predominantes e suas características em relação às diferentes encostas;
- Análise de diferentes modelos de integração e investigação de um modelo de ponderação adequado às condições locais.

Procurou-se com esta pesquisa obter uma metodologia de fácil reprodução que pudesse ser aplicada a todas as regiões administrativas de uma propriedade florestal. Isto permitirá a atualização periódica dos dados de acordo com a dinâmica da vegetação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL

A combustão é uma reação química que ocorre na presença simultânea de oxigênio, material combustível e uma fonte de calor (PYNE, 1984; BATISTA, 1990). O risco de incêndio é a condição potencial de ocorrência e propagação de um incêndio florestal, definido pelas características do material combustível, entre outros fatores, que somados formam uma situação favorável de ignição e dificuldade de extinção do fogo (SOUSA et al., 2000). Um incêndio florestal ocorre quando um ambiente é ou está momentaneamente vulnerável e é exposto a um fator de ameaça, ou seja, na junção de combustíveis inflamáveis expostos a uma fonte de calor. Desta forma os dois fatores que regem a ocorrência de incêndio são a vulnerabilidade do ambiente e o fator de ameaça (CASTAÑEDA, 1997).

No entendimento de BROWN e DAVIS (1973) o risco de incêndio (*fire risk*) está relacionado a probabilidade de um fogo iniciar pela presença e/ou atividade de agentes causadores, enquanto que o perigo de incêndio (*fire hazard*) está relacionado ao material combustível definido pelo tipo, arranjo, quantidade, condição e localização que forma uma condição especial de ameaça de ignição ou representa dificuldade na extinção do fogo. BACHMAN (2001) apresenta uma diferenciação detalhada sobre os conceitos de *fire danger*, *fire hazard* e *fire risk*. Acaba concluindo que o *fire danger*, comumente expresso por índices de perigo, pode ser considerado como a percepção humana do perigo. *Fire hazard*, corresponde à ocorrência do evento em si e *fire risk* é caracterizado pela probabilidade do incêndio ocorrer e pelas proporções dos efeitos que pode causar. No entendimento de SOHO (1999) o risco de incêndio (*fire risk*) representa a chance de um incêndio se iniciar em função da existência de agentes de ignição e o perigo de incêndio (*fire hazard*) é composto pelo risco de incêndio (*fire risk*) e pelas condições de combustível, clima e topografia.

"O conceito de vulnerabilidade refere-se assim aos combustíveis e às condições ambientais que os tornam susceptíveis de ignição, enquanto que o conceito de risco se refere à ocorrência das causas que a provocam. A concomitância da vulnerabilidade e do risco origina o perigo de eclosão dos incêndios." (MACEDO; SARDINHA, 1987, p. 89). De acordo com CASTAÑEDA (1997) o risco de incêndio é composto pela vulnerabilidade e o fator de ameaça a que está submetido o ambiente. A vulnerabilidade pode ser traduzida em função do material combustível e das condições ambientais, que favorecem a ignição e propagação do fogo. Entre os fatores relacionados encontram-se as características do material combustível, a topografia do terreno, as condições climáticas e as características do solo em associação com a cobertura vegetal. A ameaça diz respeito à probabilidade da existência de agentes naturais e antrópicos que dêem início ao processo de combustão.

Através da combinação destes dois componentes pode-se obter vários graus de risco de incêndio. Por exemplo, quando se tem grande ameaça, mas pouca vulnerabilidade, o risco é baixo, e qualquer foco inicial não encontrará condições favoráveis à sua propagação. Da mesma forma, se há uma grande vulnerabilidade, mas não existe um agente de ameaça, o risco continua sendo muito baixo. Entretanto, se há uma grande vulnerabilidade e agentes de ameaça, o risco se torna elevado. Desta forma, há a necessidade da análise espacial de ambos os componentes para se caracterizar o risco de incêndio como um todo.

2.1.1 Agentes de ignição dos incêndios florestais

O conhecimento dos principais agentes causadores de incêndios permite que sejam identificadas regiões com maior ou menor risco de ignição devido a sua exposição aos mesmos.

A maioria dos incêndios em áreas florestais resulta de ações humanas de uso e ocupação da terra. As estatísticas sobre as ocorrências de incêndios florestais demonstram que, tanto no Brasil como na maioria dos outros países, as principais causas dos incêndios são de natureza humana.

Os incêndios causados por raios, em escala mundial, representam pequena porcentagem em relação ao número total de ocorrências (BROWN; DAVIS, 1979; CALABRI, 1982; GOLDAMMER, 1982a; DROLET, 1998). Estes incêndios integram a única categoria de ocorrências de incêndio de origem natural. Entretanto, eles normalmente atingem áreas de difícil acesso e distantes das forças de supressão (PYNE, 1984) resultando em poucas ocorrências com grandes áreas queimadas (DROLET, 1998). No Canadá, RAMSEY e HIGGINS[1] citados por SOARES (1989), relatam que as ocorrências devidas aos raios correspondem a 30% e é uma das principais causas dos incêndios florestais. Os países escandinavos freqüentemente são vítimas dos incêndios causados por raios (na Finlândia 26% e na Suécia 12%), e também algumas regiões da antiga União Soviética (BARDAN, 1982).

Segundo BROWN e DAVIS[2] citados por SOARES (1989), os incendiários, com 26%, seguidos dos fumantes, com 15% e das queimas para limpeza, com 18%, constituem-se nos principais 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, acendendo fogueiras, e aos fumantes são responsáveis por quase um terço de todos os incêndios. Incêndios intencionais também são muito numerosos e no oeste mediterrâneo estão se tornando mais freqüentes. Conforme CALABRI (1982), dentre os incêndios causados pelo homem, existem aqueles oriundos de negligência e os criminosos. A situação de perigo tem se agravado com o desenvolvimento da indústria e do turismo, o aumento do padrão de vida, e sobretudo, a diminuição da população rural com atividade madeireira. Segundo GOLDAMMER (1982a), na Alemanha a maioria dos incêndios são causados por acidentes, alguns por incendiários ou outras causas. BARDAN (1982), estudando os incêndios nas regiões

---

[1] RAMSEY, G. S.; HIGGINS, D. G. **Canadian forest fire statistics**. Ontário: Canadian Forestry Service, 1981. (Information Report PI-X-9)

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

central, norte e leste da Europa, observou que em muitos países os incêndios são causados por faíscas de trens e por atividades relacionadas ao uso do fogo. Infelizmente ocorrem muitos casos de incêndio devido à ação de piromaníacos. Na Suécia, um número relativamente alto de incêndios se deve ao rompimento de linhas de alta tensão.

Nos últimos anos, os incendiários tornaram-se a principal causa de incêndios na Finlândia. Em muitos países o número de incêndios ocorridos pela ação de incendiários tem aumentado muito, e a prevenção a este tipo de agente de ignição é complexa (HEIKILLÄ; GRÖNQVIST; JURVÉLIUS, 1993).

Segundo SALAS e CHUVIECO (1994) os fatores humanos são 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. SOARES (2000, p. 06) comentando sobre as causas dos incêndios florestais no Brasil cita que:

> ...em um estudo sobre estatísticas de incêndio no Brasil de 1983 a 1987 a principal causa dos incêndios foram as "queimas para limpeza" seguida pelos "incendiários". Entretanto, em uma análise mais recente (1994 a 1997), a categoria de "incendiários" passou a ocupar o primeiro lugar seguida pela categoria "queimas 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.

2.1.2 Fatores ambientais associados à propagação do fogo

Diversas características do ambiente têm forte influência sobre o início, a propagação e a intensidade dos incêndios florestais. Os fatores do ambiente mais relacionados com os incêndios florestais são o material combustível, as condições climáticas, a topografia e o tipo de cobertura vegetal (BROWN; DAVIS, 1973).

Em um estudo realizado por JEMISON, LINDENMUTH e KEETCH (1949) na região de *Coastal Plain*, EUA, os fatores determinantes do perigo de incêndio florestal foram o conteúdo de umidade do material combustível, o vento, as condições da vegetação e a estação do ano. De acordo com MCARTHUR (1962) as principais

variáveis relacionadas com a propagação dos incêndios são as características do material combustível (tais como quantidade, umidade, tamanho e arranjo), a velocidade do vento, a capacidade de transporte de faíscas, a inclinação do terreno e a instabilidade atmosférica. SOARES (1985) indica que os fatores que mais influem na propagação dos incêndios florestais são o material combustível (quantidade, tipo, arranjo e umidade), condições climáticas, topografia e tipo de floresta.

2.1.2.1 Características da cobertura vegetal

A cobertura vegetal é responsável pelo fornecimento do material combustível para queima. A sua composição química pode influenciar na velocidade e quantidade de calor liberado em um incêndio.

A variação na cobertura vegetal implica em mudanças de diversos aspectos relacionados com o comportamento do fogo, principalmente combustível e condições climáticas. As propriedades dos combustíveis variam de acordo com o tipo de floresta e estas diferenças podem causar alterações no desenvolvimento de incêndios. Uma floresta densa, proporciona um microclima mais ameno e os combustíveis apresentam um conteúdo de umidade maior e mais estável do que uma floresta rala ou aberta. Deste modo, pode-se afirmar que o fogo se propaga com mais facilidade na floresta aberta do que na densa. Em florestas ralas ou abertas o ar circula com facilidade contribuindo para acelerar a secagem do material combustível. Por outro lado na floresta densa o ar não circula livremente, a cobertura vegetal intercepta a radiação solar e reduz a evaporação contribuindo para o aumento da umidade relativa e redução da temperatura do ar. As características das espécies existentes também podem modificar as condições de propagação de incêndios, sendo que de modo geral uma floresta de coníferas apresenta condições mais propícias para a propagação do fogo do que uma de folhosas (SOARES; BATISTA, 1997). 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 diferem com o grau de exposição.

O tipo e a composição da floresta desempenham um papel importante na determinação do potencial de uma área desenvolver e sustentar incêndios. A presença ou ausência de arbustos e espécies de sub-bosque em um talhão pode também afetar o comportamento do fogo, pelo fornecimento adicional de combustível para a combustão e pelos efeitos sobre o microclima (MCARTHUR, 1962).

2.1.2.2 Características do material combustível

O material combustível é um dos elementos fundamentais para a ocorrência e propagação de incêndios porque é um dos componentes do triângulo do fogo. Não há possibilidade de ocorrência de fogo se não houver combustível para queimar. Material combustível florestal pode ser definido como qualquer material orgânico, vivo ou morto, no solo ou acima deste, capaz de entrar em ignição e queimar. Os materiais combustíveis ocorrem em inúmeras combinações de tipo, quantidade, tamanho, forma, posição, arranjo e teor de umidade (SCHROEDER; BUCK, 1970; SOARES, 1985).

Os combustíveis são classificados basicamente em função do diâmetro. Com relação ao tipo e periculosidade, os combustíveis florestais são classificados em perigosos (combustíveis mortos com diâmetro menor que 1,0 cm), semi-perigosos (combustíveis mortos com diâmetro maior que 1,0 cm) e verdes (combustíveis vivos). A quantidade considera o peso de material existente por unidade de área e permite a estimativa da quantidade disponível para queima. A quantidade também indica indiretamente a intensidade do fogo. Os materiais combustíveis são encontrados desde o piso até a copa das árvores e são classificados em combustíveis de solo (sobre o solo), de superfície (até 1,80 m acima do solo) e aéreos (a partir de 1,80 m acima do solo). A continuidade vertical, ou seja, a existência de combustíveis superficiais e aéreos por exemplo, implica na possibilidade de transformação de incêndios de solo ou superfície em incêndios de copa. Por outro lado, a continuidade horizontal garante o

sucesso da propagação do fogo mantidas as demais variáveis constantes. As partículas de materiais combustíveis ainda devem ser caracterizadas em função do grau de compactação, ou seja, a proximidade entre as partículas que de forma indireta rege a quantidade de oxigênio disponível para o processo de combustão. A umidade do material combustível regula a quantidade de energia calorífica necessária para evaporar a água contida no material combustível e permitir a sua queima. Quanto menor for a energia requerida, maiores serão a velocidade e a intensidade do fogo, mantidas as demais variáveis constantes.

2.1.2.3 Características topográficas

O relevo compreende a forma física e as características do terreno de uma região. Segundo BROWN e DAVIS (1973) a topografia do terreno é um elemento fixo, mas que implica em significativas mudanças no perigo de incêndio. Costuma-se dizer que a "topografia faz o clima" e determina o tipo de combustível em uma região. Considerando-se que o comportamento do fogo é em grande parte o resultado do clima e do combustível disponível, pode-se dizer que a topografia também influi decisivamente no comportamento do fogo. A topografia afeta profundamente as características dos ventos, particularmente os ventos convectivos. Além disso, é responsável pela localização dos diversos tipos de combustíveis, tendo influência sobre o seu crescimento e inflamabilidade devido os seus efeitos sobre o clima (GAYLOR, 1974). PYNE (1984) complementa que feições topográficas influenciam indiretamente o comportamento do fogo devido ao impacto das formas da superfície terrestre sobre o combustível e o clima ocorrente.

O efeito da topografia sobre o comportamento do fogo se assemelha ao efeito do vento, quando todos os outros fatores são mantidos constantes (BROWN; DAVIS, 1973). De acordo com esses autores, o padrão de início, bem como a direção principal de propagação de incêndios, são determinados principalmente pela velocidade do vento e pela topografia. Em terrenos acidentados,

ambos os fatores controlam as condições iniciais de ignição e propagação. Imediatamente após a ignição o fator mais importante é o vento. Entretanto, com o desenvolvimento do fogo em intensidade, a topografia se torna mais dominante, principalmente nas inclinações mais acentuadas. As características topográficas influenciam no desenvolvimento de incêndios florestais principalmente sob três aspectos: elevação, inclinação e orientação das encostas. A elevação está relacionada intimamente às modificações climáticas. A inclinação das encostas influencia nas condições de pré-aquecimento dos combustíveis e modifica a taxa de propagação. A orientação das encostas tem influência sobre as condições de umidade e tipo de material combustível, em função das condições de iluminação solar.

Além dos três fatores principais a influência da topografia pode ser observada em termos de acessibilidade ao local para o combate (BROWN; DAVIS, 1973) e como barreira. Assim, feições como lagos, represas, rios, pântanos, penhascos e áreas sem vegetação podem servir como barreiras naturais contra o fogo. Desta forma, a presença ou ausência de barreiras naturais é um importante fator topográfico (HEIKILLÄ; GRÖNQVIST; JURVÉLIUS, 1993).

2.1.2.4 Condições climáticas

Existem poucas atividades que sofrem mais os efeitos da variação climática do que a floresta e os incêndios florestais. Elementos tais como temperatura, umidade relativa, vento e precipitação têm um efeito definido no comportamento do fogo, influenciando decisivamente na ignição e na propagação dos incêndios.

O principal efeito dos fatores climáticos sobre o material combustível é a modificação de seu conteúdo de umidade. A precipitação, a umidade relativa e a temperatura do ar exercem grande influência sobre o conteúdo de umidade do combustível. A ocorrência da precipitação colabora para o aumento do conteúdo de umidade. A umidade relativa tem efeito contrário ao da temperatura do ar, pois valores de umidade relativa mais elevados implicam em ar e combustíveis mais úmidos,

enquanto temperaturas mais elevadas promovem a secagem dos combustíveis. O vento também influencia a taxa de secagem do material combustível. A velocidade e a direção dos ventos também são muito importantes na propagação dos incêndios: a primeira modifica a taxa de propagação enquanto que a segunda indica a provável direção de propagação.

2.2 ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIO

Uma zona de risco de incêndio é uma área delimitada em função do potencial de ocorrência e propagação do fogo, identificada através de características ambientais comuns que se traduzem em um mesmo potencial de risco. Segundo SHOW e CLARKE (1953), as zonas de risco são delimitadas segundo a distribuição de pontos de ignição de incêndios. Estas áreas de concentração formam zonas de risco, úteis no trabalho de elaboração do plano de prevenção e combate ao fogo (SHOW; CLARKE, 1953; COUTO; CÂNDIDO, 1980).

De acordo com SOARES (1996), os incêndios não estão distribuídos uniformemente através das áreas florestais. Em algumas regiões, a freqüência com que os incêndios ocorrem é maior, como próximo a vilas ou acampamentos, margens de rodovias, margens de estradas de ferro, proximidade de áreas agrícolas e pastagens e margens de rios e lagos. Em contrapartida, existem locais onde raramente ocorrem incêndios. A elaboração de um mapa de risco, através da marcação dos pontos onde ocorrem os incêndios, possibilita a visualização das áreas de maior incidência de incêndios e auxilia na elaboração dos planos de proteção. De acordo com BROWN e DAVIS (1973) normalmente 80% das ocorrências se encontram em áreas de risco, enquanto 20% das ocorrências estão distribuídas em outras áreas.

2.2.1 Metodologias para o zoneamento de risco de incêndio

Vários pesquisadores têm desenvolvido zoneamento de risco de incêndios florestais utilizando metodologias que permitem associar os fatores ambientais de uma região com os incêndios florestais, possibilitando desta forma mapear o risco potencial de incêndios dessa área em função da sensibilidade dos fatores analisados em relação ao fogo. Muitos destes pesquisadores têm utilizado Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

GETTER (1976) propôs para a classificação do potencial de incêndio florestal, projetado e implementado pelo Serviço Estadual de Incêndio do Colorado (CSFS), a utilização dos seguintes critérios: declividade do terreno, orientação das encostas, densidade da vegetação e tipos de vegetação.

BURGAN e SHASBY (1984) utilizaram dados espectrais para mapear o material combustível, dados de declividade, elevação, orientação das encostas e dados climáticos (velocidade do vento, temperatura, umidade relativa e cobertura de nuvens) para estimar o potencial de risco de incêndio para a área de estudo.

MACEDO e SARDINHA (1987) apresentam o território português dividido em quatro graus de risco de incêndio (pouco sensível, sensível, muito sensível, e extremamente sensível), de acordo com os seguintes critérios: (a) distribuição e natureza das espécies florestais e sua vulnerabilidade ao fogo; (b) grau de combustibilidade e inflamabilidade da vegetação arbustiva e sub-arbustiva; (c) média das temperaturas máximas do período de maio-setembro; (d) umidade relativa média do ar para o mesmo período; (e) relevo; (f) orientação das encostas e (g) índice demográfico de utilização da área.

CHUVIECO e CONGALTON (1989) desenvolveram um método de integração das informações sobre a vegetação (combustível, condições da parcela, e sítio), elevação, declividade, orientação das encostas, proximidade a estradas e trilhas, acampamentos ou edificações com o uso do SIG. A integração das variáveis foi feita segundo o modelo:

Perigo de incêndio = 1 + (100)*CV + (30)*D% + (10)*OE + (5)*DE + (2)*AL

Onde:
CV - Plano de Informação (PI) que representa a cobertura vegetal;
D% - PI que representa a declividade;
OE - PI que representa a orientação das encostas;
DE - PI que representa a distância às estradas;
AL - PI que representa a altitude.
Os valores entre parênteses representam os pesos atribuídos a cada uma das variáveis em estudo. O valor resultante deste modelo representa o **perigo de incêndio** em cada unidade de análise.

CHOU et al. (1990) desenvolveram uma metodologia para o zoneamento de risco de incêndios em áreas da Floresta Nacional de San Bernardino na Califórnia através de um SIG. Os fatores utilizados para caracterizar o grau de risco de incêndios foram: topografia, temperatura do ar, precipitação, tipos de vegetação, benfeitorias e rede viária.

CHOU, MINNICH e CHASE (1993) utilizaram um banco de dados para construir um modelo de probabilidade de ocorrência de incêndios que incorpora a vegetação, temperatura, precipitação e infra-estrutura. Neste modelo os autores procuraram estabelecer a influência da vizinhança no fenômeno de ignição.

SALAS e CHUVIECO (1994) também elaboraram um mapeamento de risco de incêndios florestais através de um SIG, combinando as seguintes características do ambiente associadas com os incêndios florestais: topografia, vegetação e alterações antrópicas. As variáveis em estudo foram integradas de acordo com os modelos para risco de ignição e risco de comportamento apresentados a seguir. Os mapas resultantes foram integrados por meio de tabulação cruzada.

Risco de ignição = (4)*PH + (3)*CV + (2)*I – (1)*AL

Risco de comportamento = (5)*MC + (4)*D% + (3)*OE – (1)*AL – (1)*AC

Onde:
PH - Plano de Informação (PI) que representa a presença humana;
CV - PI que representa a cobertura vegetal;
I - PI que representa as condições de iluminação do terreno;
AL - PI que representa a altitude;
MC - PI que representa o material combustível;
D% - PI que representa a declividade;
OE - PI que representa a orientação das encostas;
AC - PI que representa os aceiros.
Os valores entre parênteses representam os pesos atribuídos a cada uma das variáveis em estudo.

ALMEIDA (2000) desenvolveu um mapa de risco de incêndios através da análise dos seguintes fatores: vegetação, declividade do terreno, orientação das encostas, distâncias a estradas e rios. A integração destes dados foi feita por meio do seguinte modelo, cujos coeficientes foram definidos a partir de análise hierárquica.

Perigo = (0,478)*CV + (0,250)*D% + (0,178)*DE + (0,059)*OE + (0,038)*DR

Onde:
CV - Plano de Informação (PI) que representa a cobertura vegetal;
D% - PI que representa a declividade;
DE - PI que representa a distância às estradas;
OE - PI que representa a orientação das encostas;
DR - PI que representa a distância aos rios.
Os valores entre parênteses representam os pesos atribuídos a cada uma das variáveis em estudo. O valor resultante deste modelo representa o **perigo de incêndio** em cada unidade de análise.

KUNTZ e KARTERIS (1994) com o auxílio de um SIG utilizaram para o mapeamento de risco de incêndios a vegetação, a declividade e a orientação das encostas. Além disso, analisaram também a altitude e o mapa geológico.

CHHETRI (2000) desenvolveu um zoneamento de áreas de risco de incêndio baseado apenas no regime de chuvas local.

SOUSA et al. (2000) também utilizaram no zoneamento de risco as variáveis vegetação, declividade e orientação das encostas. Outros fatores utilizados pelos pesquisadores foram rede viária e demografia. O modelo de integração indica que o mapa de risco foi função do uso do solo (39,9%), da declividade (21%), da rede viária (13,6%), da visibilidade das torres (11,1%), da rede hidrográfica (5,9%), da orientação das encostas (4,7%) e da densidade populacional (3,8%).

EKLUND e KIRBY (2000) desenvolveram um modelo de risco de incêndios com base nos mesmos fatores utilizados por vários pesquisadores, acrescentando ainda o modelo digital do terreno e o histórico dos incêndios florestais da região em estudo.

CASTAÑEDA (1997), a partir da utilização de um SIG, elaborou mapas de risco de incêndio utilizando os seguintes critérios: ocorrências históricas e causas, tipo de combustível, idade de plantio, manejo silvicultural, condições climáticas (temperatura, precipitação e vento), solo e topografia. O modelo de integração dos dados foi composto por dois fatores:

$$\textbf{Risco} = (0,6)*A + (0,4)*V$$

Onde:
A - Plano de informação (PI) que representa a ameaça;
V - PI que representa a vulnerabilidade do ambiente.
Os valores entre parênteses representam os pesos atribuídos a cada uma das variáveis em estudo.

SNEEUWJAGT (1998) apresenta o WTA (*Wildfire Threat Analysis*) desenvolvido pelo *Department of Conservation and Land Management* (CALM) da Austrália, que é uma ferramenta para análise dos fatores significativos que contribuem para a ameaça de incêndio e permite a avaliação de alternativas estratégicas. Quatro categorias de mapas foram elaboradas: (a) Valor; (b) Risco de ignição; (c) Responsabilidade de supressão; (d) Potencial do comportamento do fogo. O

resultado foi uma base de dados para o desenvolvimento de planos de prevenção e manejo do fogo.

CHATTO (1998), apresenta um modelo de análise espacial em ambiente SIG da ameaça de incêndios baseado em fatores de risco, perigo e valores ameaçados. Compõem a análise de risco o estudo do histórico de incêndios e áreas queimadas maiores que 50 ha, bem como áreas de recreação, áreas rurais e acessos. O perigo é traduzido por fatores topográficos (declividade e orientação das encostas), climáticos (índice de perigo) e cobertura vegetal. Os valores ameaçados englobam valores tangíveis e não tangíveis, como áreas ocupadas por comércio e áreas ocupadas por espécies raras ou ameaçadas. Os mapas de risco e perigo foram integrados por uma tabela e o mapa de valores foi sobreposto ao mapa resultante.

BACHMAN e ALLGÖWER (1998) apresentam uma estrutura de dados para o estudo do risco em um SIG, considerando fatores relevantes à ocorrência de incêndio, comportamento do fogo e seus efeitos. A ocorrência é admitida ser possível em toda a área de estudo. Assim os parâmetros de comportamento do fogo são calculados para cada unidade de análise e os efeitos identificados pelo valor da feição em risco, considerando o padrão de comportamento do fogo para o local.

No entendimento de GOUMA e CHRONOPOULOU-SERELI (1998) as zonas de risco são definidas a partir do estudo do risco meteorológico, suscetibilidade do combustível e da distribuição das ocorrências de incêndio. Seu método integra estas variáveis e produz zonas de perigo constante e zonas de perigo variável, que ao seu modo exigem medidas de prevenção específicas. O SIG foi utilizado para a integração dos dados e delineamento das zonas de perigo.

FERRAZ e VETTORAZZI (1998) utilizaram como planos de informação a orientação das encostas, a declividade, as estradas e os carreadores, o uso do solo na área de estudo e na vizinhança para gerar um mapa base de risco de incêndio. O mesmo foi multiplicado pelo índice de Monte Alegre para contemplar a influência das condições meteorológicas sobre o processo. Assim, foram obtidos diversos mapas de risco ao longo das estações do ano. As variáveis foram integradas segundo o modelo:

Perigo = (5)*VZ + (4)*US + (4)*ES + (3)*D% + (2)*OE

Onde:
VZ - Plano de informação (PI) que representa o uso do solo na vizinhança;
US - PI que representa o uso do solo;
ES - PI que representa as estradas e carreadores;
D% - PI que representa a declividade;
OE - PI que representa a orientação das encostas.
Os valores entre parênteses representam os pesos atribuídos a cada uma das variáveis em estudo. O valor resultante deste modelo representa o **perigo de incêndio** em cada unidade de análise.

ISSO e PACIFIC MERIDIAN RESOURCES (2000) apresentam o sistema de informações geográficas *FireLine*, especialmente desenvolvido para gerenciar o perigo de incêndio. O primeiro modelo gerado, que cobre 90% do Estado da Califórnia, é função de: (a) modelo digital do terreno, com a análise da declividade; (b) imagens de satélite, para identificar os tipos de material combustível e (c) rede viária.

SMITH (2000) elaborou um mapa de perigo de incêndios oriundo do cruzamento de um mapa de vegetação e um modelo digital do terreno. Para a definição das classes de risco o critério considerado foi a existência de vegetação contínua por mais de 1 hectare e o grau de declividade do terreno.

NUÑEZ-REGUEIRA, AÑÓN e CASTIÑEIRAS (1999) e NUÑEZ-REGUEIRA, CASTIÑEIRAS e AÑÓN (2000) apresentam uma metodologia de mapeamento de risco com base no potencial de energia a ser liberada no caso de um incêndio. Para tanto foram consideradas as características químicas e físicas da cobertura vegetal.

HENDRIX e COEN (2001) utilizaram um SIG e técnicas de sensoriamento remoto para executar a análise do risco de incêndio para o Estado da Flórida (EUA). As variáveis utilizadas foram vulnerabilidade, prováveis danos causados pelo fogo, densidade populacional e área de responsabilidade de supressão. A vulnerabilidade foi traduzida por distribuição dos combustíveis vegetais, densidade da cobertura vegetal,

topografia (declividade, orientação das encostas e altitude), registros históricos e dados climáticos. O resultado do projeto permite identificar áreas de risco e criar mapas de combustíveis, periodicamente atualizados.

2.3 FATORES DE RISCO/PERIGO

2.3.1 Presença humana

Considerando que a maioria das causas de incêndio identificadas está relacionada com as atividades antrópicas, é de suma importância o estudo do componente humano na identificação de áreas de risco de incêndios florestais. Entretanto, este fator não é considerado em muitos modelos de risco por causa da complexidade da intervenção humana no ambiente (CHUVIECO; CONGALTON, 1989; SALAS; CHUVIECO, 1994), pois os incêndios criminosos, por exemplo, não possuem um padrão de ocorrência passível de representação espacial.

O mapa de risco devido às alterações antrópicas do meio representa todas as formas de presença ou atividade de comunidades e infra-estrutura internas e externas ao distrito florestal (CASTAÑEDA, 1997), refletindo o nível de ameaça devido à presença humana ao qual a propriedade florestal está sujeita.

Segundo GOLDAMMER (1982b), o mapa de incêndios florestais, entre outras informações, deve conter de forma codificada as atividades desenvolvidas no terreno limítrofe à propriedade. Esta recomendação vem de encontro ao diagnóstico feito anteriormente de que a maioria dos incêndios florestais ocorre devido à intervenção humana. Assim, a identificação e o geo-referenciamento das alterações antrópicas existentes no interior e entorno do distrito florestal são fundamentais para o desenvolvimento de ações de prevenção aos incêndios, bem como da construção do mapa de risco de incêndios.

Áreas ao longo de rodovias, ferrovias e áreas de recreação foram indicadas por SALAS e CHUVIECO (1994) como importantes no processo de ignição a partir

do estudo dos relatórios de ocorrência de incêndio. FERRAZ e VETTORAZZI (1998), indicaram como área de risco as regiões ao longo de carreadores, estradas internas e rodovias, devido à incidência de incêndios criminosos, à prática de cultos religiosos, aos cigarros e às pequenas fogueiras.

Outro fator importante salientado por estes autores é a influência das atividades exercidas no entorno da área a ser protegida, onde o uso do fogo para manejo do ambiente pode ser comum, como por exemplo, nos plantios de cana-de-açúcar no interior do Estado de São Paulo. Estas práticas podem ser executadas em dias propícios à propagação do fogo e modificações meteorológicas podem promover o desenvolvimento do fogo em direção à área protegida.

De acordo com CASTAÑEDA (1997) as feições relacionadas à presença humana e alterações antrópicas do ambiente que representam perigo à ocorrência de incêndios são as vias de comunicação, as atividades associadas ao uso do fogo, as áreas de recreação, as vilas e lugarejos, os oleodutos, as linhas de alta tensão e as áreas com tensão social.

As vias de comunicação incluem as estradas municipais, estaduais e federais, bem como, estradas de ferro, aceiros e trilhas. 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 à presença humana. As estradas representam áreas de grande risco por causa de sua influência sobre as atividades humanas (ALMEIDA, 2000; PEW; LARSEN, 2001). 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 a estradas, variando de 25 m a 150 m. Entretanto, FERRAZ e VETTORAZZI (1998) classificam as vias de acesso segundo o fluxo de

pessoas que tem acesso à propriedade. Assim, carreadores 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 rodovia com tráfego intenso de veículos e pessoas tem uma influência de 100 m. Apesar da polêmica em relação à distância e ao tipo de estrada, o risco de incêndio aumenta em áreas mais próximas a estradas e este efeito também é observado quando se trata de distância a acampamentos e aglomerações urbanas (CHOU; MINNICH; CHASE, 1993; VEGA-GARCIA et al. 1995; LANGHART; BACHMANN; ALLGÖVER, 1998; PEW; LARSEN, 2001).

As atividades associadas ao uso do fogo são a agricultura e a pecuária, onde o uso do fogo para preparo do solo ou renovação da pastagem é bastante comum. De acordo com CHUVIECO e CONGALTON (1989) as áreas de cultivo representam a principal causa de incêndios florestais devido à queima de resíduos ainda usada para fertilizar o solo.

As áreas recreativas incluem áreas destinadas a camping e piquenique, que podem inclusive se estabelecer informalmente às margens de rios e lagos. As vilas e lugarejos representam a concentração humana de maneira permanente. Oleodutos e linhas de alta tensão estão incluídos pela probabilidade de ignição. As regiões onde há tensão social são aquelas onde ocorre conflito entre o uso do solo atual e o desejado pela população local, condição que pode favorecer a ocorrência de incêndios criminosos.

As categorias de presença humana são definidas de acordo com as atividades existentes no interior e entorno do distrito florestal e ponderadas de acordo com sua influência sobre o risco de incêndio (CASTAÑEDA, 1997).

2.3.2 Cobertura vegetal

A cobertura vegetal é classificada em função do potencial para a ocorrência e propagação de incêndios, de acordo com a combustibilidade das espécies ocorrentes e as características da floresta, tais como composição, estágio de desenvolvimento e tipo de manejo. Um povoamento puro de coníferas oferece maior risco de propagação do que um povoamento de folhosas, mantidas as demais condições constantes (SOARES, 1985; MACEDO; SARDINHA, 1987).

Os plantios florestais são mais sujeitos aos incêndios do que florestas nativas. De acordo com GOLDAMMER (1982) a floresta natural, principalmente em áreas úmidas ou vales, funciona como barreira natural contra o fogo. Os estágios sucessionais de floresta são mais combustíveis que os estágios mais avançados (FERRAZ; VETTORAZZI, 1998). A Tabela 1, adaptada de MACEDO e SARDINHA (1987), apresenta coeficientes de inflamabilidade para diferentes formações vegetais encontradas em Portugal.

TABELA 1 – COEFICIENTES DE INFLAMABILIDADE DE ALGUMAS FORMAÇÕES VEGETAIS

FORMAÇÕES VEGETAIS	COEFICIENTE DE INFLAMABILIDADE
Pinheiro Bravo	0,6
Resinosas diversas	0,6
Eucalipto	0,4
Folhosas diversas	0,1
Sombreiro	0,3
Matorral	0,8

FONTE: MACEDO E SARDINHA (1987)

UHL, KAUFFMAN e SILVA (1990), em um estudo sobre a suscetibilidade de incêndios na Amazônia, observaram 4 ambientes distintos: floresta primária, floresta explorada, pastagem e vegetação secundária instalada sobre pastagem abandonada há 8 anos. Esses 4 ecossistemas apresentam diferentes níveis de suscetibilidade ao fogo, pois ocorrem diferenças importantes quanto à freqüência de

ignição, quantidade e característica do material combustível e microclima, que afetam diretamente a secagem desse combustível. A floresta primária apresenta grande quantidade de material combustível, entretanto, sofre a ação de um microclima ameno, em parte devido a um dossel com cobertura de 80%. A floresta explorada apresenta quantidade de material combustível 3 vezes maior que na floresta primária, sendo que seu dossel é reduzido à metade durante as operações de extração de madeira, o que altera o microclima. Nas regiões ocupadas por vegetação secundária, o uso do fogo em sua vizinhança é constante; o dossel aberto e a estatura baixa facilitam a invasão de gramíneas e herbáceas que contribuem para o aumento da carga de combustível. "As pastagens são altamente inflamáveis no período de estiagem" devido ao acúmulo de resíduos vegetais de alta combustibilidade e às condições de exposição ao clima. Para exemplificar a variabilidade do microclima nos 4 ambientes, a Tabela 2 apresenta valores de umidade relativa do ar, temperatura máxima e temperatura mínima.

TABELA 2 – FATORES CLIMÁTICOS RELACIONADOS AOS AMBIENTES – VERÃO/1987

AMBIENTE	UMIDADE RELATIVA (%)	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)
Floresta primária	86	28	22
Floresta secundária	62	33	21
Floresta explorada	64	37	22
Pastagem	51	38	20

FONTE: UHL, KAUFFMAN E SILVA (1990).

A inflamabilidade das espécies está associada às suas características físicas e químicas, em especial ao conteúdo de resina, espessura da casca e conteúdo de umidade (SALAS; CHUVIECO, 1994). CHUVIECO e CONGALTON (1989) classificaram a vegetação quanto à inflamabilidade correlacionando espécies, densidades e associações. De forma semelhante, GOUMA e CHRONOPOULOU-SERELI (1998) estudaram as formações vegetais e espécies dominantes em acordo com as estimativas de inflamabilidade destas espécies. ALMEIDA (2000) classificou a vegetação de acordo com coeficientes de inflamabilidade extraídos do *Manual de*

Prediction del Peligro de Incendios Forestales (MUNOZ[3] apud ALMEIDA, 2000).

CHOU et. al (1990) e CHOU, MINNICH e CHASE (1993) converteram as classes de vegetação em classes de rotação do fogo devido ao tipo de vegetação, para definir os pesos a serem atribuídos em função da propensão à queima. CASTAÑEDA (1997), classificou a vegetação de acordo com a velocidade de propagação do fogo em seu ambiente.

Além da inflamabilidade e suscetibilidade das espécies à ocorrência de incêndios, KUNTZ e KARTERIS (2000) associam os valores econômicos e ambientais das espécies.

2.3.3 Quantidade de material combustível.

De acordo com GAYLOR (1974), zonas de risco podem ser delimitadas a partir das características dos combustíveis vegetais. As áreas onde se acumulam resíduos de exploração, combustíveis perigosos e semi-perigosos, árvores atacadas por insetos ou doenças, ou que concentrem combustíveis altamente inflamáveis, oferecem grande potencial para a propagação de incêndios.

A quantidade de combustível define se o fogo vai se propagar ou não e determina a quantidade de calor que será liberada na queima (MCARTHUR, 1962; BATISTA, 1990; HEIKILLÄ; GRÖNQVIST; JURVÉLIUS, 1993). A intensidade do fogo é diretamente proporcional à quantidade de combustível que queima. De todo o combustível existente em uma floresta, apenas uma parte está disponível para queima, chamada combustível disponível, e depende de uma série de fatores, particularmente a proporção do material combustível vivo e morto, o tamanho da partícula de combustível, o conteúdo de umidade do mesmo e a continuidade. O combustível disponível é, na verdade, a quantidade do material combustível que normalmente é

---

[3] MUNOZ, P. X. **Manual de perdicion del peligro de incendios forestales.** Espanha: Inst. Nacional para conservacion de la naturaleza, 1982.

consumida num incêndio florestal e corresponde aproximadamente a 70 a 85% da quantidade total do material menor do que 2,5 cm de diâmetro (BATISTA, 1990).

O volume de combustível disponível que queima por unidade de área afeta a intensidade do fogo. Quanto maior o volume de combustível maior a intensidade da queima e maior o total de calor produzido pelo fogo. A quantidade de combustível pode variar em uma grande escala, quando se observa um ambiente com gramíneas finas e outro com resíduos de exploração florestal grossos. O volume do combustível determina o total de calor liberado e desempenha um importante papel na propagação do fogo (HEIKILLÄ; GRÖNQVIST; JURVÉLIUS, 1993). Segundo MCARTHUR (1962) a quantidade de material combustível é uma das variáveis mais significativas que envolvem o comportamento do fogo; afeta tanto a taxa de propagação quanto a intensidade de um incêndio. REGO e BOTELHO (1990) justificam a importância da carga pela observação da fórmula para o cálculo da intensidade do fogo e por isto é fundamental o estudo da quantidade de material combustível e de sua distribuição espacial por toda a propriedade florestal.

A quantidade de material combustível por unidade de área é muito variável em função do ecossistema em estudo. PYNE (1984) indica que a quantidade de material combustível total em função do ambiente em estudo varia segundo a escala apresentada na Tabela 3, que apresenta a quantidade de material combustível por tipo de ambiente:

TABELA 3 – FORMAÇÃO VEGETAL E QUANTIDADE DE COMBUSTÍVEL CORRESPONDENTE

FORMAÇÃO VEGETAL	QUANTIDADE DE COMBUSTÍVEL (Mg/ha)
Gramíneas	2,5 a 12,5
Arbustos secos	50 a 100
Resíduos de exploração	75 a 500
Floresta	250 a 1500

FONTE: PYNE (1984)

HEIKILLÄ, GRÖNQVIST e JURVÉLIUS (1993) apresentam uma distribuição de carga semelhante, acrescentando apenas que em uma floresta mista a quantidade de combustível varia de 100 a 1000 Mg/ha. REGO e BOTELHO (1990) apresentam a quantidade de material combustível na escala apresentada na Tabela 4.

TABELA 4 – MATERIAL COMBUSTÍVEL ASSOCIADO COM DIFERENTES FORMAÇÕES VEGETAIS

FORMAÇÃO VEGETAL	QUANTIDADE DE COMBUSTÍVEL (Mg/ha)
Deserto	0 a 3
Pastagem e arbustos	2 a 12
Floresta nativa em regiões temperadas	5 a 30 podendo chegar a 60
Resíduos de exploração	Até 250
Acúmulo de acículas	1 a 2

FONTE: REGO E BOTELHO (1990)

KAUFFMAN e UHL (1990) em um estudo na Amazônia sobre o material combustível em 4 ambientes (floresta primária, secundária, explorada e pastagem) obtiveram a distribuição de material combustível apresentada na Tabela 5.

TABELA 5 – MATERIAL COMBUSTÍVEL EM ASSOCIAÇÃO COM DISTINTOS AMBIENTES

AMBIENTE	QUANTIDADE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL (Mg/ha)		
	Resíduos de Madeira	Combustíveis Finos	Total
Floresta Primária	51	4	55
Floresta Explorada	173	6	179
Pastagem	40	11	52
Floresta secundária	23	4	28

FONTE: KAUFFMAN E UHL (1990)

Muitos pesquisadores vêm desenvolvendo modelos matemáticos que possibilitam a estimativa da quantidade de combustível por unidade de área, ou mesmo da biomassa. SOUZA (2000) desenvolveu modelos matemáticos para estimar a quantidade de material combustível em povoamentos de pinus e eucalipto. O resultado de seu trabalho consiste numa série de modelos que estimam a quantidade de material

presente no piso da floresta e no sub-bosque. As principais variáveis independentes utilizadas foram a idade do povoamento e a espessura da camada de liteira. Na Tabela 6, encontram-se as equações desenvolvidas por SOUZA (2000):

TABELA 6 – FÓRMULAS PARA CÁLCULO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL

ESPÉCIE	Nº	EQUAÇÃO
Eucalyptus dunni	1	$W_{10} = I^{0,39529} / e^{-0,011708.I}$
	2	$W_v = 7,865731 - 0,271773.I + 0,003354.I^2 - 0,000013.I^3 + 4,111559.\sqrt{h_v}^3$
	3	$W_f = 1,697347 + 0,001005.I^2$
	4	$W_t = 17,256106 - 0,28177.I + 0,003182.I^2$
Pinus taeda	5	$W_{10} = 1,889811 + 1,569117.S + 0,145218.S^2$
	6	$W_{10} = (1,690201.\ln I - 0,495039)^2$
	7	$W_a = 2,356794.S$
	8	$W_a = (7,19864 - 0,000112.I^3 - (12,016474 / \sqrt{I}))^2$
	9	$W_t = 3,35892.S - 1,87453$

FONTE: SOUZA (2000).

NOTAS: W_{10} = Estoque de combustível (Mg/ha) com espessura de até 25 mm ou de dez horas de *timelag*;

I = Idade das plantações (anos);

W_v = Combustível vivo constituído pela vegetação do sub-bosque abaixo de 1,81 m;

h_v = Altura da vegetação (m) com até 1,8 m sob o dossel de *Eucaliptus dunni*;

W_f = Massa de combustível (Mg/ha) constituído de folhedo e miscelânea;

W_t = Combustível total (Mg/ha) ou soma da massa de acículas ou do folhedo com o combustível vivo mais a massa de combustível lenhoso;

S = Espessura da cama de acículas (cm);

W_a = Massa de combustível (Mg/ha) constituído de acículas e miscelânea.

De acordo com PYNE (1984) a quantidade de material combustível em áreas com resíduos de exploração é de 260 Mg/ha, considerando combustíveis com diâmetros de 0 a 7,6 cm. KOEHLER et al. (2000), estudando áreas recém-exploradas de povoamentos com pinus, observaram uma quantidade de material combustível da ordem de 60,7 Mg/ha, considerando materiais combustíveis com diâmetros maiores do que 8,0 cm. RIBEIRO (1997) estudando a quantidade de materiais combustíveis antes e depois de queimas controladas encontrou em plantações de *Eucalyptus viminalis* uma quantidade de material combustível de 29,8 Mg/ha para diâmetros de até 7,6 cm, valor muito próximo ao obtido indiretamente através de modelos de regressão propostos por SOUZA (2000).

POGGIANI et al. (1983) quantificaram a biomassa dos resíduos florestais da copa (ramos e folhas) de *Eucalyptus saligna* com 8 anos de idade, obtendo 16,3 Mg/ha, que representa cerca de 15% da biomassa total. POGGIANI e COUTO (1983), estudando povoamentos de eucalipto de 2,5 anos de idade, observaram uma quantidade de biomassa para a copa (folhas e galhos) de 13,4 Mg/ha, que corresponde a 15,6% da biomassa total. REIS et al. (1985) obtiveram 12,5 Mg/ha para a biomassa de galhos e folhas em povoamentos de eucalipto com 6 anos de idade.

KRAPFENBAUER e ANDRAE (1983) observaram que, a quantidade de serapilheira acumulada em um povoamento de araucária com 17 anos de idade é de 17,9 Mg/ha. Já SCHUMACHER (2000), estudando vários povoamentos de araucária com 14 anos, encontrou uma quantidade média de 11,8 Mg/ha de serapilheira acumulada. FLOSS, CALDATO e BOHNER (1999) avaliaram a produção e decomposição de serapilheira em uma região da floresta ombrófila mista e observaram um acúmulo de 9,7 Mg/ha.

2.3.4 Características topográficas

A avaliação dos efeitos da topografia sobre a propagação de incêndios é feita através do estudo de três fatores básicos: a elevação do terreno, a orientação das encostas e o grau de inclinação do terreno.

A elevação do terreno, em relação ao nível médio dos mares, tem efeito sobre as condições climáticas do local. De acordo com FULLER (1991), altas elevações tem um clima frio e úmido, o que implica em observar-se uma curta estação normal de incêndios. PYNE (1984), indica que a altitude regula a temperatura e a precipitação. No entendimento de BROWN e DAVIS (1973), tanto a altitude quanto o ângulo de orientação das encostas provocam diferenças significativas nas condições climáticas.

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. Exposições sul e oeste tem uma estação normal de incêndios mais longa, um maior período diário de queima e estatisticamente um maior registro de incêndios do que as inclinações norte, sendo que a maioria dos incêndios que se iniciam nestas faces atingem grandes proporções (FULLER, 1991).

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 qualquer 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. Inclusive, em latitudes maiores do que 23°27'S, a face sul nunca recebe insolação direta, nem mesmo no verão, devido a inclinação do eixo da terra em relação ao sol. Portanto, o efeito da exposição aumenta de acordo com o aumento da latitude (SOARES, 1985).

Apesar da quantidade de radiação solar que atinge as exposições leste ser a mesma que atinge as exposições oeste, a temperatura na face oeste é mais elevada que na face leste, a não ser quando possíveis variações diurnas de cobertura de nuvens e de turbidez da atmosfera ocorrem. Isto porque durante a tarde, quando a radiação incide sobre a face oeste, o terreno já está pré-aquecido pelo ar cuja temperatura vem aumentando desde o nascer do sol. O aquecimento de uma face leste, por outro lado, tem início a partir de superfícies com temperaturas mais baixas, ocasionadas pela perda de energia durante a noite anterior. Outro fator que favorece as temperaturas máximas mais altas ao longo da inclinação oeste, é a evaporação. Especialmente no início da manhã, uma parte considerável da radiação solar é gasta na evaporação da água existente no terreno que está ainda úmido pela redução da temperatura na noite anterior. Mais tarde, o terreno já se tornou mais seco e então o calor gasto na evaporação é consideravelmente menor (HAURWITZ; AUSTIN, 1944). FULLER (1991) afirma que esta variação na taxa de radiação significa que todas as inclinações

têm diferentes microclimas, implicando em variações de quantidade e diversidade da vegetação ocorrente. No hemisfério norte, as inclinações voltadas para o norte e *canyons* profundos recebem menos sol, assim o grau de umidade é maior e a vegetação permanece verde por mais tempo. Nas vertentes voltadas para o norte observam-se espécies menos adaptadas a exposição à luz solar, enquanto que nas vertentes voltadas para o sul observam-se apenas espécies muito resistentes à luz solar (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 que o vento na determinação da taxa de propagação do fogo (FULLER, 1991). O desenvolvimento do fogo se dará com maior velocidade 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 (HEIKILLÄ; GRÖNQVIST; JURVÉLIUS, 1993).

MCARTHUR[4], citado por CHANDLER et al. (1983), indica que a taxa de propagação do fogo dobra a cada variação de 10° de inclinação. Já CHANDLER[5] também citado por CHANDLER et al. (1983) observou que a taxa de propagação dobra a cada 15° de inclinação até os 30° e a partir deste ponto passa a dobrar a cada

---

[4] MCARTHUR, A. G. **Control burning in eucalypt forests.** Canberra: Commonwealth of Australia Forestry and Timber Bureau, 1962.

[5] CHANDLER, C.C. **Prediction of fire spread following nuclear explosions.** [S. l.] U.S. Forest Service, 1963. (Research Paper PSW-5).

aumento de 10° de inclinação. ALBINI[6] citado por CHANDLER et al. (1983) indica que o efeito da declividade sobre a propagação varia de acordo com o combustível existente sobre o terreno inclinado.

SOARES (1985), apresenta na Tabela 7 os seguintes fatores de propagação devido à inclinação do terreno:

TABELA 7 – INCLINAÇÃO DO TERRENO E O FATOR DE PROPAGAÇÃO ASSOCIADO

INCLINAÇÃO (%)	FATOR DE PROPAGAÇÃO
5-15	1,00
16-25	1,05
26-35	1,15
36-45	1,20
46-55	1,25

FONTE: SOARES (1985).

2.3.5 Variáveis meteorológicas

Uma análise verdadeira do comportamento do fogo não pode ser feita com base em apenas um fator climático. O comportamento do fogo é o resultado de muitos fatores agindo em conjunto de diferentes formas. Os fatores climáticos básicos que devem ser considerados em incêndios são precipitação, umidade relativa, temperatura e vento (HEIKILLÄ; GRÖNQVIST; JURVÉLIUS, 1993).

A precipitação e a umidade relativa são muito importantes porque influenciam o conteúdo de umidade do material combustível (HEIKILLÄ; GRÖNQVIST; JURVÉLIUS, 1993). Além disso, o conteúdo de umidade também está relacionado com o diâmetro do material combustível, pois quanto menor for o diâmetro mais facilmente a água se evapora.

---

[6] ALBINI, F. A. **Fire behavior estimation.** [S. l.] U.S For. Serv. Nor. For. Fire Lab., 1974. (Unnumered Report).

Os efeitos da temperatura do ar sobre o comportamento do fogo são indiretos, pois quanto mais aquecido o ar e as partículas de combustível, menor a quantidade de calor necessária para iniciar e continuar o processo de combustão. A temperatura do ar afeta a quantidade de energia liberada pelo fogo, mas raramente tem influência sobre a ignição ou a continuação do fogo. A temperatura afeta também a capacidade do ar conter vapor d'água. Além disso, quando a temperatura aumenta a umidade geralmente decresce e desse modo ajuda a baixar o conteúdo de umidade dos combustíveis, aumentando o risco de incêndios (BATISTA, 1990). O ar aquece principalmente pelo contato com a superfície da terra, previamente aquecida pelo sol. Diferenças ou desuniformidades no aquecimento das superfícies produzem contrastes na temperatura do ar, que por sua vez, podem afetar o padrão dos ventos locais, chuvas e tempestades. Vários fatores afetam a temperatura da superfície, os principais são o ângulo do sol, duração do dia e a presença de nuvens (BATISTA, 1990).

O vento é um dos fatores mais importantes na determinação do comportamento do fogo. Ele afeta a taxa de secagem do combustível, aumenta o suprimento de oxigênio, influencia o pré-aquecimento de combustíveis e pode transportar faíscas causando pontos de incêndio em áreas ainda não atingidas. Fortes ventos podem inclinar a coluna de convecção em direção ao solo, permitindo rápido pré-aquecimento e secagem de combustíveis à frente do fogo e permitindo que o fogo se propague mais rapidamente naquela direção. O principal resultado do vento é que influencia ambos, a taxa e a direção de propagação do fogo (HEIKILLÄ; GRÖNQVIST; JURVÉLIUS, 1993). Já os ventos leves auxiliam certos materiais em brasa a dar início ao fogo (BATISTA, 1990). O conhecimento das variações do vento em velocidade e direção são importantes porque influenciam o conteúdo de umidade da vegetação (CASTAÑEDA, 1997).

Normalmente os efeitos das condições meteorológicas sobre a ocorrência e propagação de incêndios são avaliados por intermédio de índices de perigo de incêndio. Estes índices refletem a probabilidade de ocorrência e o comportamento do fogo com base nas condições atmosféricas do dia ou de uma seqüência de dias. Os

principais índices utilizados no Brasil são: Nesterov e Monte Alegre (único brasileiro). Estes índices são úteis para estimar a probabilidade de ocorrência de incêndio, planejar o controle de incêndios, emitir permissão para queimas controladas, estabelecer zonas de perigo, prever o comportamento do fogo e sensibilizar a comunidade (SOARES, 1985).

Alguns pesquisadores utilizam observações meteorológicas como dados de entrada e com o uso de modelos associam-nas às variáveis mapeadas dando origem a mapas de energia liberada, mutáveis em função do tempo e das condições meteorológicas (BURGAN; SHASBY, 1984). CASTAÑEDA (1997) inseriu em seu zoneamento de risco o mapeamento da temperatura, volume de precipitação e intensidade e direção dos ventos. Também através da utilização do índice de perigo de incêndio (Monte Alegre) pode-se gerar mapas diários de risco (FERRAZ; VETTORAZZI, 1998). GOUMA e CHRONOPOULOU-SERELI (1998) mapearam as condições climáticas para toda a área de estudo registrando a variabilidade microclimática para integrar o mapa de risco meteorológico com a suscetibilidade do material combustível e a ocorrência de incêndios.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA

A área de estudo pertence a um distrito florestal de propriedade da Empresa Rigesa-Westvaco Celulose, Papel e Embalagens, Ltda. (RIGESA), composta pelas seguintes regiões administrativas: 02 – Paredão, 03 – Duas Barras, 04 – Paul, 05 – Bugre e 35 – Diva Costa, perfazendo um perímetro de 153.340,7 m e uma área de 6326 ha. Estas regiões estão localizadas no município de Três Barras, integrante da micro-região de Canoinhas, norte de Santa Catarina, a cerca de 380 km de Florianópolis e 170 km de Curitiba. As Figuras 1 e 2 apresentam a localização geográfica e o detalhamento da área de estudo.

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE TRÊS BARRAS-SC

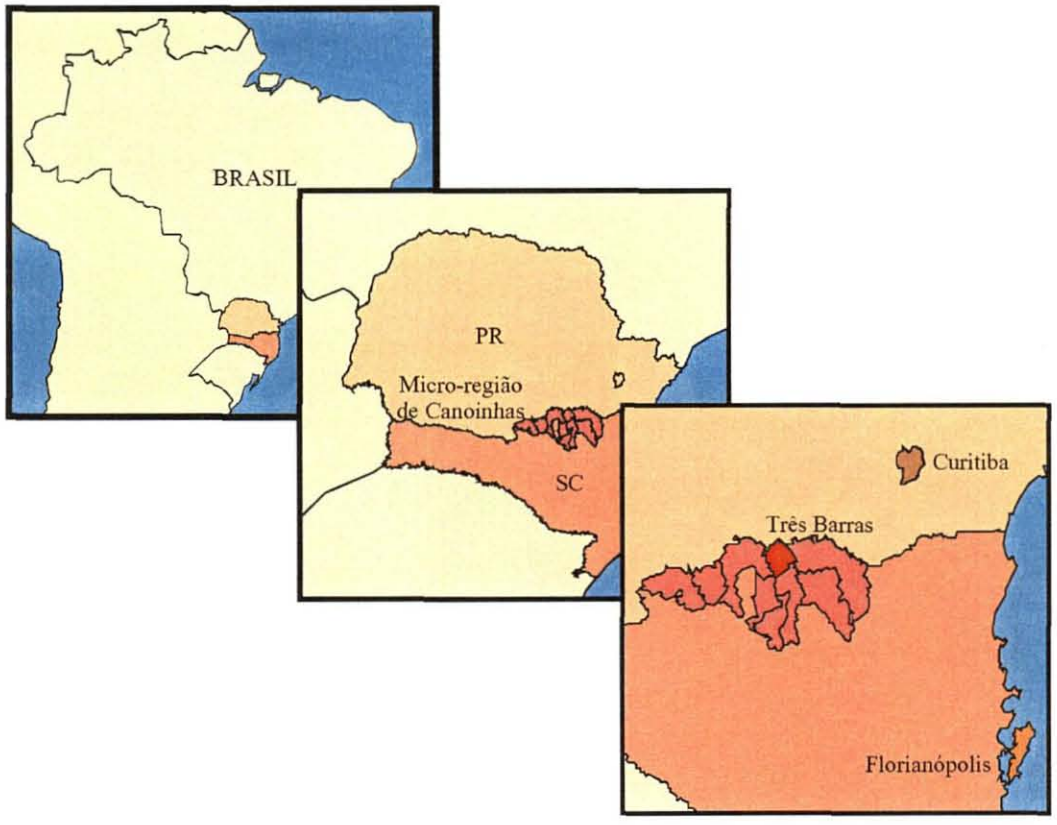
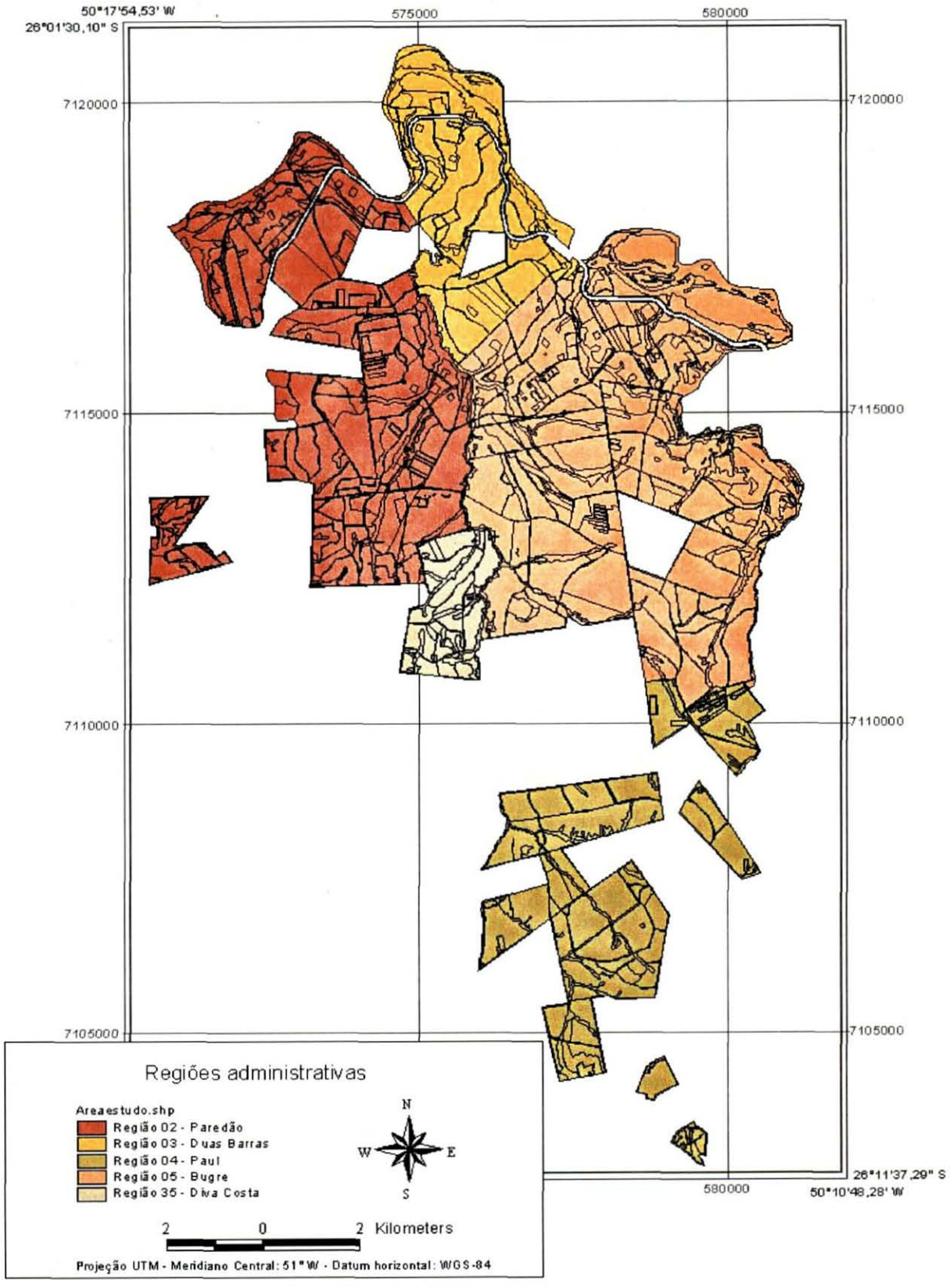


FIGURA 2 - MAPA DE DETALHAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO



A altitude média na micro-região de Canoinhas é de 780 m s.n.m.. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é caracterizado como Cfb (subtropical úmido mesotérmico sem estação seca definida). A temperatura média anual é de 17,9° C, a umidade relativa do ar média anual é de 74,98% e a precipitação média anual é de 1523,92 mm (SAWINSKI JR., 2000).

A micro-região de Canoinhas compõe parte da Bacia do Rio Iguaçu, tendo como principais afluentes os rios Negro, São João, Canoinhas, Paciência, Timbó, Preto e Jangada. Nesta micro-região podem ser observadas regiões de relevo plano até regiões com relevo fortemente ondulado e montanhoso, sendo o relevo na área de estudo caracterizado como suavemente ondulado. (SAWINSKI JR., 2000).

No município de Três Barras, de acordo com o *Censo Agropecuário de 1996*, as atividades econômicas desenvolvidas são lavouras temporárias, lavouras permanentes, pecuária, silvicultura e produção mista (lavoura e pecuária) (SAWINSKI JR., 2000).

A Região 02 apresenta uma área de 1789 ha, com altitude variando de 760 a 845 m. Na Região 03, com área de 746 ha, a altitude varia de 760 a 815 m. A Região 04 apresenta uma área de 1030 ha, com altitude de 780 a 865 m. Na Região 05 a altitude varia de 760 a 830 m e apresenta uma área de 2510,7 ha. A Região 35 apresenta uma área de 251,4 ha, com altitude variando de 775 a 845 m.

A cobertura vegetal da área de estudo é formada por plantios de *Pinus elliotii*, *Pinus taeda*, *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus viminalis*, *Araucaria angustifolia*, áreas experimentais e vegetação nativa pertencente à região ecológica da floresta ombrófila mista.

As condições climáticas são registradas sistematicamente por meio de boletins meteorológicos diários desde a década de 1950. Estes registros são feitos sempre às 14:00 h e incluem dados de pressão atmosférica, direção e velocidade do vento em milhas/hora, precipitação em mm, forma de precipitação, temperatura às 14:00 h, temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar e nebulosidade. O índice de perigo de incêndio IPIRS comumente utilizado na Carolina do Sul, EUA, na

década de 1960 foi adotado pela RIGESA para estimar o risco diário de incêndios florestais. O índice é calculado através da estimativa da umidade do material combustível, da temperatura e umidade relativa do ar medidas às 14:00 h, da precipitação diária e da velocidade do vento. O valor de risco é determinado a partir de uma seqüência de tabelas e pode ser classificado em cinco níveis: Baixo, Moderado, Alto, Muito Alto e Extremo (SOARES, 1998).

As vias de acesso da área são aceiros internos (10 m de largura), aceiros externos (12 m), estradas municipais, estaduais e federais e estrada de ferro (atualmente desativada). As benfeitorias existentes incluem diversas construções e um trecho de linha de alta tensão.

A área de estudo, composta pelas regiões administrativas 02, 03, 04, 05 e 35, foi selecionada devido às seguintes razões: proximidade da sede, facilidade de deslocamento, diversidade das atividades encontradas no entorno, formam um bloco único (com exceção da Região 04) e contém representantes de todas as formações vegetais ocorrentes.

3.2 OBTENÇÃO DE DADOS PARA O ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIO

Para a obtenção das informações necessárias à realização da pesquisa, foram recuperados os seguintes dados:

- Ortofotos infra-vermelhas coloridas na escala 1:10.000 obtidas em 1997;
- Mapas de localização das regiões administrativas na escala 1:10.000 obtidos entre 1965 e 1970;
- Registros e planilhas Meteorológicas da única estação da propriedade, no período de 1990 a 2001;
- Registros de Ocorrência de Incêndio (para o período de 1984 a 2001);
- Banco de dados gráficos, onde estão armazenados os limites dos talhões, hidrografia, curvas de nível, estradas, benfeitorias, edificações, vilas,

alojamento, clube, áreas de recreação, fábrica, e imagens ortoretificadas da região, que integram a base cartográfica da propriedade florestal;

- Banco de dados alfa-numérico, onde estão armazenados dados sobre área, perímetro, número da região administrativa, código da feição representada, espécie ocorrente, idade do plantio, sítio, entre outras, que são periodicamente atualizadas.

Os dados foram processados e analisados com o auxílio dos seguintes softwares:

- ArcView GIS – versão 3.1, com as extensões Spatial Analyst – versão 1.1 e 3D Analyst – versão 1.0, utilizados para integração de dados espaciais e alfa-numéricos;
- Microsoft Excel 97, para a elaboração de planilhas;
- Statigraphics – versão 5.0 para Windows, para executar as análises de correlação.

Com base na revisão bibliográfica e nos dados disponíveis, foram identificadas como informações necessárias ao desenvolvimento do projeto as características topográficas (declividade e orientação das encostas); as características da cobertura vegetal (quantidade de material combustível e tipo de vegetação ocorrente); as características climáticas expressas pelas direções dos ventos predominantes (associados à precipitação, temperatura e umidade relativa) e as características de ocupação humana e histórico da ocorrência de incêndios na região.

Em seguida os dados foram agrupados em função do meio de armazenamento, grau de atualização e disponibilidade para executar o planejamento das atividades necessárias a obtenção de todos os dados.

O planejamento para obtenção dos dados identificou que as características topográficas poderiam ser derivadas da base cartográfica existente em meio digital. Da mesma forma os dados sobre tipo de vegetação estão presentes no banco de dados digital, bastando sua recuperação. Os dados sobre quantidade de material combustível foram obtidos a partir de modelos matemáticos e valores de referência encontrados na

literatura. Dados sobre a presença humana no interior da propriedade estão presentes no banco de dados, tendo sido necessária apenas a coleta das informações referentes às atividades humanas nas propriedades limítrofes, pois não há um levantamento sistemático das características das propriedades no entorno. As ocorrências de incêndio se encontravam em meio analógico e precisaram ser convertidas para o meio digital e associadas aos talhões existentes na base cartográfica. Os ventos predominantes foram identificados a partir do estudo dos registros meteorológicos diários dos últimos 10 anos.

Os dados foram obtidos e recuperados no período de Junho a Julho de 2001. Os que integravam o banco de dados gráfico estavam originalmente no formato vetorial, mas foram posteriormente transformados para o formato matricial, pois de acordo com BURROUGH (1986), este é o mais adequado quando há a necessidade de executar álgebra entre mapas. A dimensão da unidade de análise ou resolução espacial, que é a menor unidade reconhecida no terreno, foi definida como sendo 30 m; assim cada unidade de análise correspondia a uma área de 0,09 ha. Esta resolução foi definida de acordo com as feições de menores dimensões em área no terreno, bem como em concordância com os valores encontrados na literatura, que variam de 30 m até 1 km, originando unidades de análise com áreas de 0,09 a 100 ha (BURGAN; SHASBY, 1984; CHUVIECO; CONGALTON, 1989; ALMEIDA, 2000; KUNTZ; KARTERIS, 1994; SALAS; CHUVIECO, 1994, SOUSA et al. 2000; GOUMA; CHRONOPOULOU-SERELI, 1998; FERRAZ; VETTORAZZI, 1998). As classes de risco foram representadas de acordo com a tabela de cores apresentada por JOHNSON et al. (1998).

3.3 PROCEDIMENTOS PARA A GERAÇÃO DO MAPA DE RISCO

Os procedimentos para a elaboração dos mapas de risco preliminares (presença humana, cobertura vegetal, material combustível, declividade, orientação das encostas e ventos predominantes) são apresentados individualmente, pois as tarefas exigidas para a elaboração são distintas em função da origem dos dados utilizados.

3.3.1 Presença humana na região

3.3.1.1 Coleta de dados

No interior da propriedade florestal, feições tais como fábrica, clube, alojamento, vila e construções, já estão devidamente representadas e inseridas em diferentes níveis de informação existentes no arquivo digital. Outras informações já representadas são estrada de ferro, estradas sem pavimentação, estradas federais e estaduais, linha de alta tensão, aceiros internos e externos. A partir do inventário identificou-se a necessidade de coletar dados sobre as atividades desenvolvidas no entorno, como proposto por FERRAZ e VETTORAZZI (1998), inserido-os no sistema na forma de trechos associados a um atributo que indica o tipo de atividade ocorrente, que passam a integrar o banco de dados gráfico e alfa-numérico.

Para auxiliar a coleta destes dados, utilizaram-se as ortofotos para delimitar os trechos de mudança na paisagem ao longo dos limites das regiões administrativas e o cadastro de campo para verificar o tipo de atividade ocorrente em cada trecho. A fotointerpretação, amplamente utilizada na literatura (GETTER, 1976; BURGAN; SHASBY, 1984; GOUMA; CHRONOPOULOU-SERELI, 1998; FERRAZ; VETTORAZZI, 1998), reduziria muito a atividade de campo, entretanto, observou-se que as ortofotos obtidas em 1997 já estavam desatualizadas. Por isto optou-se por usá-las apenas para locação dos pontos de mudança de paisagem.

3.3.1.2 Classificação

Com base na revisão bibliográfica e nas atividades de observações em campo foi montada uma tabela adaptada de SALAS e CHUVIECO (1994) e CASTAÑEDA (1997) que relaciona o tipo de atividade ou infra-estrutura ocorrente com o raio de influência sobre a propriedade. Além do entorno, utilizaram-se como indicadores da presença humana outros elementos, tais como estradas e aceiros internos, construções e áreas de recreação, conforme recomendação de CHOU et al. (1990). As atividades e/ou infra-estruturas foram agrupadas em: i) Atividades com uso do fogo; ii) Atividades sem uso do fogo; iii) Circulação humana; iv) Infra-estrutura particular e v) Infra-estrutura pública. Para as classes **Atividades sem uso do fogo** e **Infra-estrutura particular** foi atribuído um raio de influência de 30 m, enquanto que para as demais classes o raio de influência atribuído foi 100 m. Estes raios foram definidos de acordo com a análise dos trabalhos realizados por CHUVIECO e CONGALTON (1989), CHOU et al. (1990), SALAS e CHUVIECO (1994), ALMEIDA (2000), FERRAZ e VETTORAZZI (1998), LANGHART, BACHMANN e ALLGÖVER (1998). A Tabela 8 apresenta os grupos de atividades com seu respectivo raio de influência.

TABELA 8 – ATIVIDADES E PRESENÇA HUMANA NA REGIÃO NO ANO DE 2001

GRUPO	RAIO DE INFLUÊNCIA (m)
Atividades com uso do fogo	100
Atividades sem uso do fogo	30
Circulação humana	100
Infra-estrutura particular	30
Infra-estrutura pública	100

3.3.1.3 Implementação

Os planos de informação (PIs) **uso do solo, malha viária, rede hidrográfica, infra-estrutura** e **limites** formaram a base cartográfica para a obtenção do mapa de risco segundo a presença humana. A partir destes PIs foram selecionadas as feições que indicavam atividades e circulação humana e aplicaram-se funcionalidades SIG para a criação do raio de influência de acordo com a Tabela 8. O mapa de risco segundo a presença humana é primeiramente classificado a partir de uma tabela dicotômica (Tabela 9), como sugerido por CHUVIECO e CONGALTON (1989), CHOU et al. (1990) e CHOU, MINNICH e CHASE (1993). Todas as áreas delimitadas pelos raios de influência foram consideradas sob risco enquanto as demais áreas foram consideradas sem risco.

TABELA 9 – CLASSIFICAÇÃO DA PRESENÇA HUMANA

CLASSES	RISCO	COEFICIENTES
Sob influência	Sim	1
Sem influência	Não	0

Em seguida, as áreas sob influência foram classificadas em função de seu contato com o entorno, ou seja, nenhum, parcial e total, de acordo com a Tabela 10, atribuindo-se um coeficiente que traduz o nível de influência da presença humana e é a base para as operações algébricas posteriores.

TABELA 10 – SUB-CLASSIFICAÇÃO DA PRESENÇA HUMANA

CLASSES	CONTATO COM O ENTORNO	RISCO	COEFICIENTES
Sob influência	Total	Sim	3
	Parcial	Sim	2
	Nenhum	Sim	1
Sem influência	Nenhum	Não	0

3.3.2 Cobertura vegetal

3.3.2.1 Classificação

Com base na revisão bibliográfica foi gerada uma tabela que relaciona o tipo de formação vegetal ocorrente com o grau de risco correspondente (Tabela 11). As formações ocorrentes foram distribuídas em seis classes que correspondem aos seguintes níveis de risco: nulo, baixo, moderado, alto, muito alto e extremo. Esta nomenclatura é a mesma utilizada para expressar o risco de incêndio em função do índice de perigo utilizado na RIGESA. Para cada uma destas classes foi atribuído um coeficiente que traduz o nível de risco e é a base para as operações algébricas posteriores.

TABELA 11 - CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL

CLASSES	RISCO	COEFICIENTE
EL, EXP, TA, PSP	Extremo	5
ARA	Muito alto	4
EDU, EDT, EVI, EXE, PSE	Alto	3
NFB, ONP	Moderado	2
PP	Baixo	1
ON, NF e NFR	Nulo	0

NOTAS: EL - Povoamentos com *Pinus elliotti*
EXP - Áreas experimentais com pinus
TA - Povoamentos com *Pinus taeda*
PSP - Pomares de sementes de pinus
ARA - Povoamentos com *Araucaria angustifolia*
EDU - Povoamentos com *Eucalyptus dunni*
EDT - Povoamentos com *Eucalyptus dunni* talhadia
EVI - Povoamentos com *Eucalyptus viminalis*
EXE - Áreas experimentais com eucalipto
PSE - Pomares de sementes de eucalipto
NFB - Áreas com solo não mecanizável
ONP - Áreas disponíveis para plantio
PP - Áreas de preservação permanente
ON - Áreas de corte raso
NF - Construções
NFR - Estradas e aceiros

O valor zero para as classes ON, NF e NFR respeitam o critério apresentado por GREEN et al. (1995) que indica que as áreas com água e solo exposto devem ser classificadas como risco nulo.

3.3.2.2 Implementação

O PI **uso do solo** é a base para a obtenção do mapa de risco segundo a Cobertura Vegetal. O banco de dados alfa-numérico recebeu uma nova coluna denominada CV, que recebe o coeficiente de acordo com a espécie ocorrente em cada polígono segundo a Tabela 11.

3.3.3 Material combustível

3.3.3.1 Coleta

Para o cálculo do material combustível nos povoamentos de *Pinus elliotti* e *Pinus taeda*, áreas experimentais com pinus e pomares de sementes de pinus, foram utilizadas as equações apresentadas por SOUZA (2000). A quantidade calculada corresponde ao material combustível depositado no piso da floresta com diâmetro entre 0 e 8,0 cm, expressa pelas fórmulas para cálculo de W_a (Massa de combustível constituído de acículas e miscelânea) e W_{10} (Estoque de combustível com espessura de até 25 mm ou de dez horas de *timelag*).

A quantidade de material combustível em povoamentos de *Eucalyptus dunni* e *Eucalyptus viminalis*, áreas experimentais e pomares de sementes de eucaliptos, também foi estimada através dos modelos propostos por SOUZA (2000). A quantidade calculada corresponde ao material combustível depositado no piso da floresta com diâmetro entre 0 e 8,0 cm expressa pelas fórmulas para cálculo de W_f (Massa de combustível constituído de folhedo e miscelânea) e W_{10} (Estoque de combustível com espessura de até 25 mm ou de dez horas de *timelag*).

Para expressar a quantidade de material combustível em áreas recém-exploradas de pinus, utilizou-se como valor de referência o obtido por KOHELER et al. (2000) para combustíveis com diâmetro maior do que 8,0 cm, somado ao valor calculado pela formulação apresentada por SOUZA (2000) para a idade de corte, considerando materiais combustíveis com diâmetros de 0 a 8,0 cm.

Para as áreas recém-exploradas de eucaliptos, utilizou-se como valor de referência o calculado por SOUZA (2000) para a idade de corte, somado à quantidade de biomassa correspondente a copa, considerando os valores obtidos por POGGIANI et al. (1983), POGGIANI e COUTO (1983) e REIS et al. (1985).

Para expressar a quantidade de serapilheria em áreas de povoamentos com araucária e com preservação permanente, utilizou-se o valor médio correspondente aos valores observados por KRAPFENBAUER e ANDRAE (1983), FLOSS, CALDATO e BOHNER (1999) e SCHUMACHER (2000). Além disso, utilizaram-se dados fitossociológicos da floresta ombrófila mista obtidos por DURIGAN (1999), dados de volume por hectare das principais espécies desta formação apresentados por ESTUDO (1985) e dados de densidade da madeira recuperados de INOUE et al. (1984), REITZ et al. (1988), LORENZI (1992), CARVALHO (1994), PAULA e ALVES (1997) para calcular a biomassa aérea. Considerando que a vegetação do solo e da serapilheira correspondem a 8,6%, conforme KRAPFENBAUER e ANDRAE (1983), obteve-se valor compatível com os disponíveis na literatura. Este valor também foi utilizado para a estimativa do valor médio para a quantidade de material combustível na floresta ombrófila mista.

Para expressar a carga de combustível em áreas disponíveis para plantio e áreas de banhado, dada a variabilidade de formações vegetais ocorrentes, optou-se por classificá-las como não tratadas. Para as demais áreas, construções e estradas foi atribuído o valor nulo, em função da ausência de combustível nestas áreas. No banco de dados digital foi inserida uma nova coluna denominada W, onde foram armazenadas as cargas de combustíveis.

3.3.3.2 Classificação

A Tabela 12 apresenta a classificação do risco segundo o material combustível depositado no piso da floresta, contendo valores no intervalo de 0,0 a 80,6 Mg/ha. Estes valores foram distribuídos em 6 classes que correspondem aos graus de risco. Para cada uma destas classes foi atribuído um coeficiente que traduz o nível de risco e é a base para as operações algébricas posteriores.

TABELA 12 – CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A QUANTIDADE DE MATERIAL COMBUSTÍVEL

CLASSES DE COMBUSTÍVEL		RISCO	COEFICIENTE
Classe	Observação		
60 a 81 Mg/ha	-	Extremo	5
40 a 59 Mg/ha	-	Muito alto	4
20 a 39 Mg/ha	-	Alto	3
Até 19 Mg/ha	-	Moderado	2
NFB, ONP	Não tratadas	Baixo	1
NF, NFR	Sem material combustível	Nulo	0

NOTAS: NFB - Áreas com solo não mecanizável
ONP - Áreas disponíveis para plantio
NF - Construções
NFR - Estradas e aceiros

3.3.3.3 Implementação

O PI **uso do solo** foi a base para a obtenção do mapa de risco segundo a quantidade de material combustível. Os polígonos foram selecionados em função da quantidade de material depositado encontrada na coluna W, de acordo com as classes apresentadas na Tabela 12.

3.3.4 Características topográficas

3.3.4.1 Classificação

A Tabela 13, adaptada de SOARES (1985) relaciona o grau de inclinação do terreno em função de sua influência na taxa de propagação, que é traduzida como risco de incêndio. Os valores de declividade do terreno foram distribuídos em seis classes que correspondem aos riscos nulo, baixo, moderado, alto, muito alto e extremo. Para cada uma destas classes foi atribuído um coeficiente que traduz o nível de risco e é a base para as operações algébricas posteriores.

TABELA 13 – CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A DECLIVIDADE DO TERRENO

INCLINAÇÃO (%)	RISCO	COEFICIENTES
0 – 4	Nulo	0
5 – 15	Baixo	1
16 – 25	Moderado	2
26 – 35	Alto	3
36 – 45	Muito alto	4
≥ 46	Extremo	5

De acordo com FERRAZ e VETTORAZZI (1998), foram adaptadas as condições de risco em função da orientação das encostas para o hemisfério sul. As encostas (intervalos angulares) foram distribuídas em seis classes apresentadas na Tabela 14. As regiões planas foram classificadas como risco nulo. Para cada uma destas classes foi atribuído um coeficiente que traduz o nível de risco e é a base para as operações algébricas posteriores.

TABELA 14 – CLASSIFICAÇÃO DA ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS

ÂNGULO DE ORIENTAÇÃO	EXPOSIÇÃO	RISCO	COEFICIENTES
157,5° a 202,5°	S	Nulo	0
112,5° a 157,5° e 202,5° a 247,5°	SE / SW	Baixo	1
67,5° a 112,5°	E	Moderado	2
22,5° a 67,5°	NE	Alto	3
247,5° a 337,5°	NW / W	Muito alto	4
337,5° a 22,5°	N	Extremo	5

3.3.4.2 Implementação

As **curvas de nível**, **rede hidrográfica** e **malha viária** foram a base para obtenção da Rede Irregular de Triângulos (TIN), utilizada para descrever a superfície do terreno. A partir do TIN foram derivados os PIs de declividade do terreno e orientação das encostas. O mapa de risco de incêndio segundo a declividade do terreno foi obtido a partir da classificação dos intervalos de declividade extraídos do TIN segundo a Tabela 13. O mapa de risco de incêndio segundo a orientação das encostas foi obtido a partir da classificação das faces de exposição extraídos do TIN segundo a Tabela 14.

3.3.5 Ventos predominantes

3.3.5.1 Coleta de dados

Os registros meteorológicos utilizados são referentes às estações normais de incêndio, como recomendado por GOUMA e CHRONOPOULOU-SERELI (1998), no período de 1990 a 2001. Primeiramente, a partir de uma tabela contendo os valores médios mensais para as variáveis meteorológicas, identificaram-se os ventos mais freqüentes na região de estudo. Em seguida, com uma investigação sobre a relação entre os ventos predominantes, a umidade relativa, a temperatura do ar e a precipitação, procurou-se identificar as características destes ventos a partir dos

registros meteorológicos diários. Na seqüência foi feita uma associação entre as encostas e a direção dos ventos como sugerem CHUVIECO e CONGALTON (1989).

3.3.5.2 Classificação

A Tabela 15 apresenta o critério de classificação das encostas segundo a freqüência com que os ventos ocorrem e suas características principais.

TABELA 15 – CLASSIFICAÇÃO DOS VENTOS PREDOMINANTES

DIREÇÃO DOS VENTOS	TENDÊNCIAS APRESENTADAS	COEFICIENTES
NW/NE	Ventos com características aparentemente mais secas	2
SW/SE	Ventos com características aparentemente mais úmidas	1
Outros	Ventos com menor freqüência	0

3.3.5.3 Implementação

O mapa de risco de incêndio segundo a influência dos ventos predominantes foi obtido a partir da classificação do mapa de orientação das encostas, segundo as direções e características dos ventos predominantes na região.

3.3.6 Integração dos dados

O modelo de integração dos dados foi obtido a partir do estudo dos registros de ocorrência de incêndio na propriedade florestal, como recomendam SALAS e CHUVIECO (1994) e ALCÁZAR et al. (1998). A partir destes registros foi criada uma planilha contendo localização espacial (região administrativa e número do talhão) e as principais características do incêndio (data, dia da semana, causa, duração, área queimada, combatentes envolvidos, espécie e idade da vegetação atingida, entre outras).

Em seguida, o PI uso do solo foi utilizado para localizar espacialmente as ocorrências de incêndio, em função do número da região administrativa e do talhão.

Com a aplicação de funcionalidades SIG obtiveram-se as variáveis declividade, orientação das encostas, ventos predominantes, presença humana, material combustível e cobertura vegetal para cada talhão atingido. Estes dados também foram inseridos na planilha.

Esta planilha foi a base para o estudo da importância de cada variável para o processo de ocorrência e propagação de incêndios. Isto permitiu a formação de uma soma ponderada para a integração dos mapas de risco preliminares. Os coeficientes de cada tema abordado foram obtidos a partir da análise de correlação entre a variável área queimada (ha) dos incêndios ocorridos e as variáveis em estudo. Assim foi estabelecido o grau de correlação que considerou-se correspondente ao grau de importância de cada variável na ocorrência de incêndio.

3.3.7 Cruzamento dos mapas de risco preliminares

O mapa de risco final foi oriundo da álgebra entre os mapas (CHUVIECO; CONGALTON, 1989; ALMEIDA, 2000; SALAS; CHUVIECO, 1994, SOUSA et al. 2000; GOUMA; CHRONOPOULOU-SERELI, 1998; FERRAZ; VETTORAZZI, 1998; HENDRIX; COEN, 2001) de presença humana, cobertura vegetal, material combustível, declividade, orientação das encostas e ventos predominantes. Estes mapas fora integrados por meio de uma soma ponderada, onde se utilizou como peso os valores de correlação obtidos a partir da análise dos registros de ocorrência de incêndio. O mapa de risco resultante traduz a influência das seis variáveis em estudo sobre o risco de ignição e propagação de incêndios na região.

Assim, os dados foram integrados segundo uma somatória adaptada de CASTAÑEDA (1997):

$$\mathbf{RIF = 0{,}5*A + 0{,}5*V}$$

Onde:
RIF - valor resultante do somatório correspondente ao risco de incêndio florestal em cada unidade de análise;
A - Plano de informação (PI) que representa a ameaça;
V - PIs que representam a vulnerabilidade do ambiente.

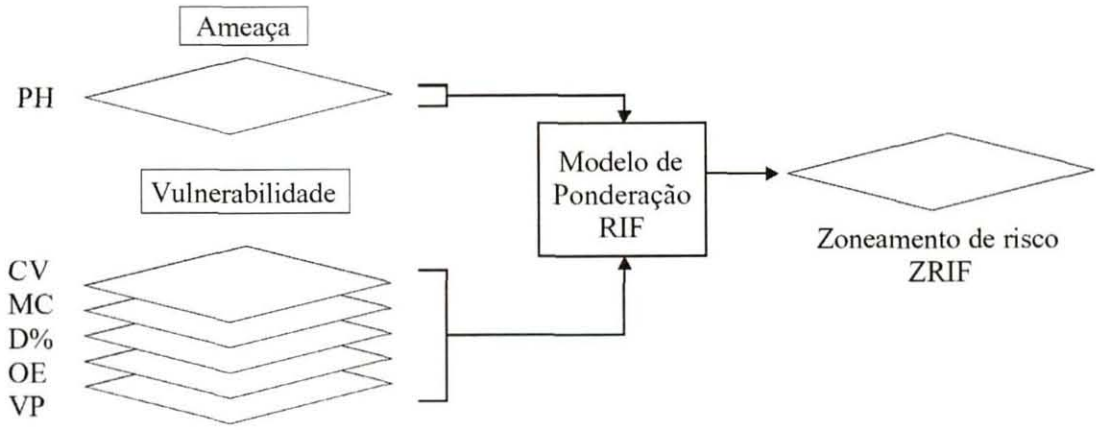
Neste modelo o valor de risco para cada unidade de análise é 50% devido a ameaça existente e 50% devido a vulnerabilidade do ambiente. A ameaça, ou a probabilidade de ocorrência de ignição foi traduzida pelo mapa de presença humana, que recebeu um peso igual à soma dos valores obtidos para as demais variáveis. A vulnerabilidade foi traduzida pelas características da vegetação, características topográficas e influência dos ventos predominantes (Figura 3). Assim, a somatória utilizada foi:

$$\mathbf{RIF = (ccv + cmc + cd\% + coe + cvp)*PH + (ccv*CV + cmc*MC + cd\%*D\% + + coe*OE + cvp*VP)}$$

Onde:
RIF - valor resultante do somatório correspondente ao risco de incêndio florestal em cada unidade de análise;
ccv - peso atribuído à variável cobertura vegetal (CV);
cmc - peso atribuído à variável material combustível (MC);
cd% - peso atribuído à variável declividade (D%);
coe - peso atribuído à variável orientação das encostas (OE);
cvp - peso atribuído à variável ventos predominantes (VP);
PH - Plano de informação (PI) correspondente à variável presença humana;
CV - PI correspondente à variável cobertura vegetal;
MC - PI correspondente à variável material combustível;
D% - PI correspondente à variável declividade;
OE - PI correspondente à variável orientação das encostas;
VP - PI correspondente à variável ventos predominantes.

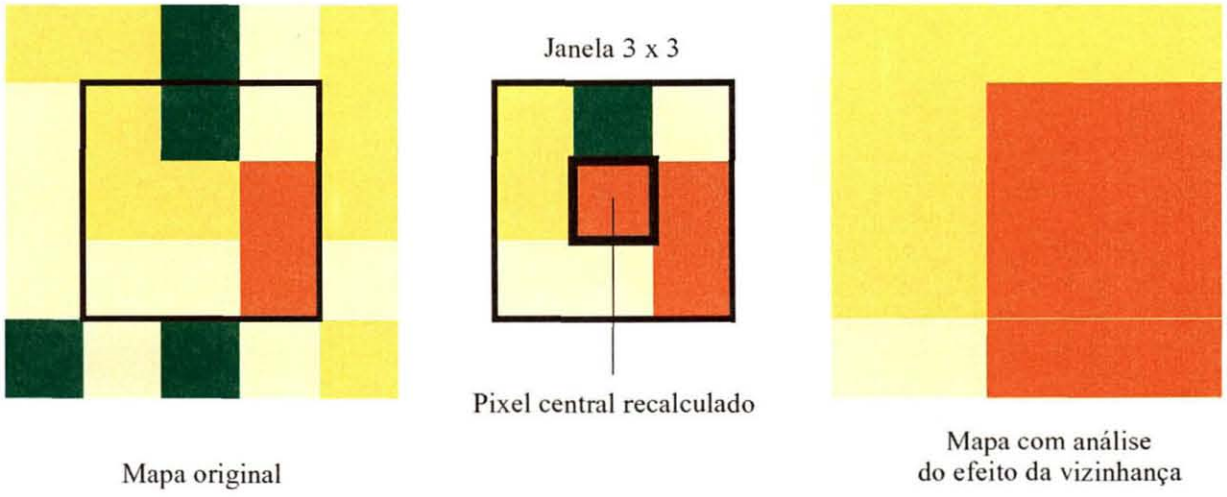
A aplicação desta somatória ponderada possibilitou a integração dos mapas de risco preliminares, resultando no zoneamento de risco de incêndio florestal (ZRIF).

FIGURA 3 – COMPOSIÇÃO DO ZONEAMENTO DE RISCO



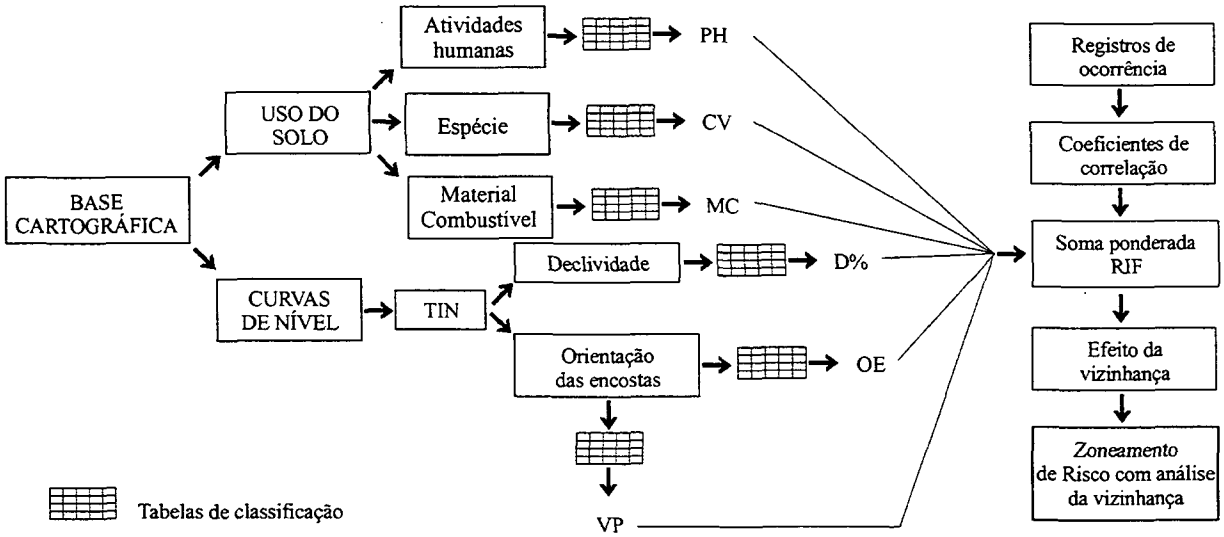
Em seguida, sobre o mapa integrado, aplicou-se uma funcionalidade SIG para análise da vizinhança que reclassifica os valores de cada unidade de análise de acordo com os valores dos *pixels* vizinhos, sendo que o valor final corresponde ao valor máximo encontrado na janela de análise composta por 9 *pixels* (Figura 4).

FIGURA 4 – EXEMPLO DO EFEITO DA ANÁLISE DA VIZINHANÇA SOBRE O MAPA ORIGINAL



O fluxograma apresentado na Figura 5 indica resumidamente a estrutura dos dados de entrada e de saída do sistema de informações.

FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DOS DADOS DE ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIO NA REGIÃO

Na RIGESA, no período de 1984 a 2001, foram registrados 37 incêndios. A Tabela 16 apresenta um resumo dos incêndios registrados neste período em função da causa, freqüência e representatividade em relação ao total, área queimada e número de talhões atingidos.

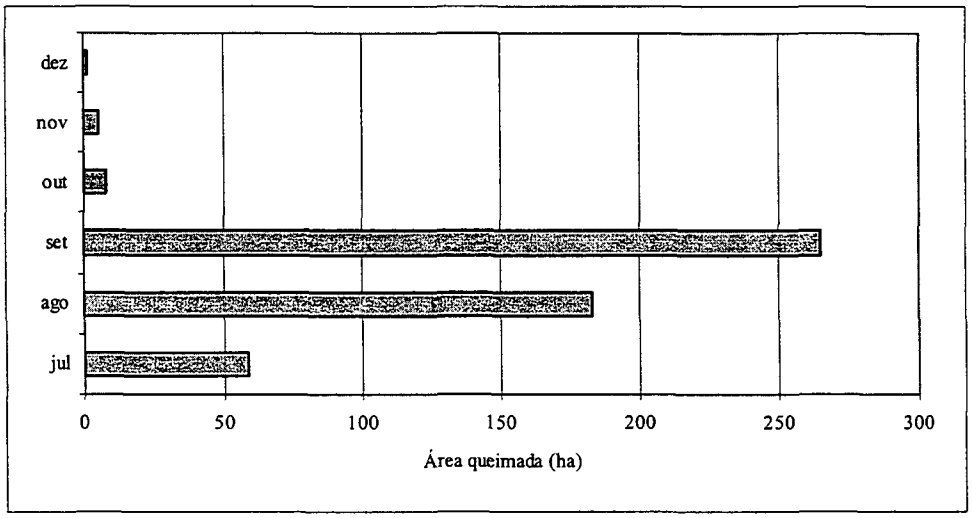
TABELA 16 – OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIOS NA RIGESA NO PERÍODO 1984 A 2001

CAUSA	FREQUÊNCIA (nº)	%	ÁREA QUEIMADA (ha)	TALHÕES ATINGIDOS (nº)
Queima para limpeza	7	19,0	87,1	9
Incendiários	14	37,8	161,7	20
Diversas	11	29,7	211,8	24
Ignorada	5	13,5	61,2	6

Na categoria **causas diversas**, a maioria das ocorrências foi devida a incêndios ocorrendo em áreas vizinhas. Algumas ocorrências tiveram a origem definida, como no caso de fagulhas oriundas de forno de carvão, queima de lenha em aceiro, ou atividade na lixeira da fábrica. O único incêndio que não teve relação direta com a ação humana foi causado pela queda de um pinus sobre uma linha de alta tensão, entretanto esta ocorrência está relacionada à alteração antrópica do ambiente. As categorias **incendiários** e **queima para limpeza** estão intimamente relacionadas à ação humana. Este panorama indica que basicamente os incêndios ocorrem em função de fatores externos à propriedade e devido à ação antrópica.

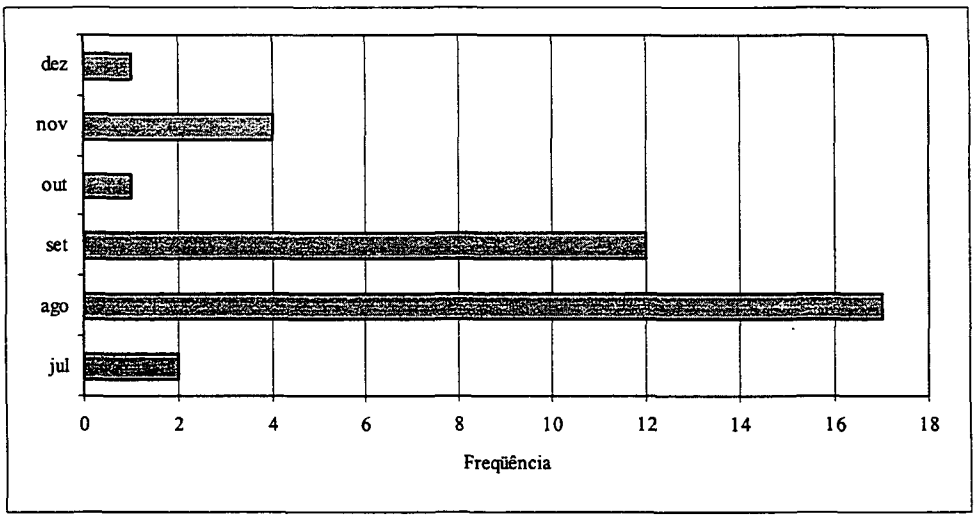
Analisando a área queimada por categoria de incêndio, observou-se que as ocorrências devido às causas diversas (41%) e aos incendiários (31%) causaram maiores danos, sendo responsáveis por mais de 70% da área queimada. Com relação à distribuição da área queimada durante o ano, a Figura 6 apresenta que no mês de setembro foram queimados mais de 260 ha.

FIGURA 6 – ÁREA QUEIMADA DURANTE OS MESES DO ANO



Analisando-se as ocorrências de incêndios ao longo dos meses do ano, observa-se que a maioria dos incêndios (84%) ocorreu entre os meses de julho e setembro, definindo a estação normal de perigo de incêndios para esta região. Isto pode ser observado na Figura 7.

FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO DE OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIOS DURANTE OS MESES DO ANO



Analisando as ocorrências de incêndio por ano, observa-se que os incêndios ocorreram com mais freqüência nos anos de 1988 e 1999, e que houve uma aparente tendência de diminuição de ocorrências nos anos de 2000 e 2001. Isto é reforçado pela

análise da área queimada, que também tem se reduzido desde o ano de 1988. Além das condições meteorológicas de cada ano, não analisadas, é possível que esta diminuição na freqüência e na área queimada se deva às modificações no uso do solo ao redor da propriedade, onde se observa a troca de atividades que utilizam o fogo (agricultura manual) por outras como a agricultura mecanizada, a fruticultura e o cultivo de mate, que não empregam o fogo como ferramenta de manejo. Segundo TODD e KOURTZ[7] citados por VEGA-GARCIA et al. (1995), os padrões de ocorrência de incêndio causados pelo homem podem mudar freqüentemente. Segundo PEW e LARSEN (2001) as condições de probabilidade e dimensões de área queimada também mudam no tempo, por isso tendo dados de ocorrência ao longo de 43 anos, eles optaram por analisar registros de um período de 10 a 20 anos para a formação de modelos de probabilidade. GOUMA e CHRONOPOULOU-SERELI (1998) também utilizaram um horizonte de 20 anos para mapear a densidade de incêndios.

A análise dos incêndios registrados na RIGESA indica que todos ocorreram devido à ação humana. Entretanto, observa-se que o ambiente é pouco vulnerável ao fogo, como comprovado pelo fato de que no período de 1984 a 2001 a área queimada foi de apenas 521,84 ha, ou 1,08% de toda a propriedade com uma média de 10,99 ha/ocorrência. Este valor é inferior a área queimada média de 31,56 ha/ocorrência para Santa Catarina e a média nacional de 66,7 ha/ocorrência obtidas por LIMA (1991). Além disso, a empresa conta com um eficiente sistema de prevenção de incêndios. A pequena quantidade de focos de calor identificadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em todo o Estado de Santa Catarina, também indica que neste ambiente não é comum a ocorrência de queimadas e incêndios.

---

[7] TODD, B. KOURT, P. H., **Predicting the daily occurence of people-caused forest fires.** Ontario: Forestry Canada, 1991. (Information Report PI-X-103).

4.2 RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DA PRESENÇA HUMANA

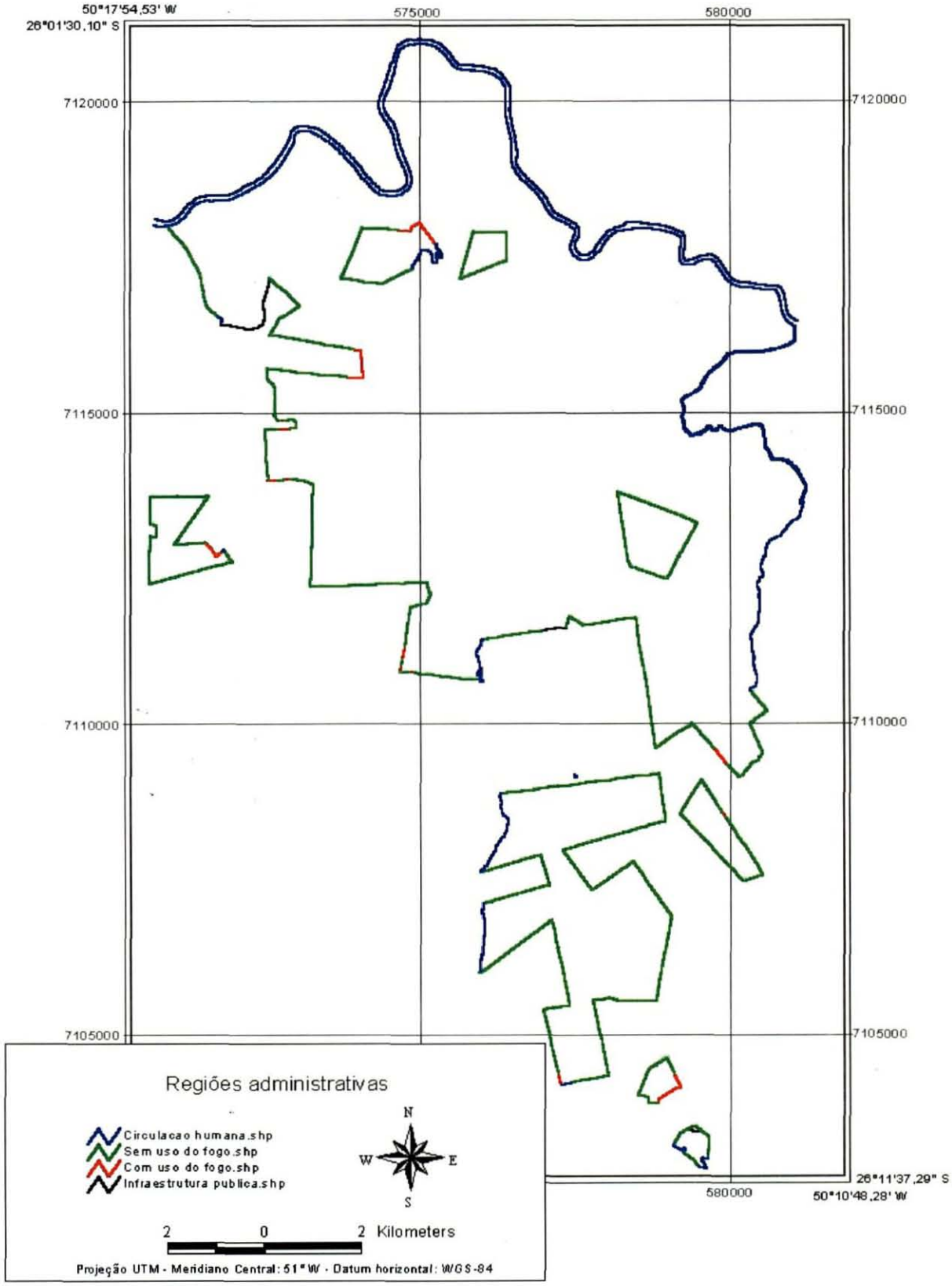
A Tabela 17 e a Figura 8 apresentam as atividades encontradas no entorno da propriedade agrupadas segundo as classes definidas na Tabela 8. É apresentado também o perímetro da fronteira entre a propriedade florestal e cada tipo de atividade ou paisagem encontrada no entorno e a sua representatividade em relação ao perímetro total da área de estudo.

TABELA 17 – ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ENTORNO DA PROPRIEDADE E A DISTÂNCIA EM CONTATO COM A MESMA – JUNHO/JULHO 2001.

GRUPO	ATIVIDADES	PERÍMETRO (m)	% TOTAL
Atividades com uso do fogo	Agricultura manual	2138,41	1,4%
	Pecuária intensiva	1903,80	1,2%
Atividades sem uso do fogo	Agricultura mecanizada	24889,25	16,2%
	Pecuária em Faxinal	3932,19	2,6%
	Silvicultura	1746,75	1,1%
	Fruticultura	2149,75	1,4%
	Mate	3161,82	2,1%
	Mate e pecuária	3254,87	2,1%
	Floresta nativa	22818,99	14,9%
	Capoeira	1103,67	0,7%
	Banhado	1411,88	0,9%
Circulação humana	Áreas de recreação	295,97	0,2%
	Vilas	467,73	0,3%
	Construções	431,31	0,3%
	Rios confrontantes	3280,00	2,1%
Infra-estrutura pública	Estradas	458,22	0,3%
	Linha de alta tensão	259,91	0,2%

Observa-se que 48% do perímetro da área de estudo está em contato direto com o entorno, sendo que as atividades mais representativas são áreas com agricultura mecanizada (16,2%) e áreas com floresta nativa (14,9%).

FIGURA 8 - MAPA DE FRONTEIRAS E ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ENTORNO DA PROPRIEDADE FLORESTAL



Apesar da agricultura estar associada ao uso do fogo, na atualidade existem técnicas agrícolas que o dispensam. Assim, áreas ocupadas com agricultura mecanizada não expõem o ambiente ao perigo de incêndio, como as áreas ocupadas por agricultura manual. Além das áreas com agricultura mecanizada, as ocupadas por fruticultura e cultivo de mate também não utilizam o fogo como ferramenta de manejo.

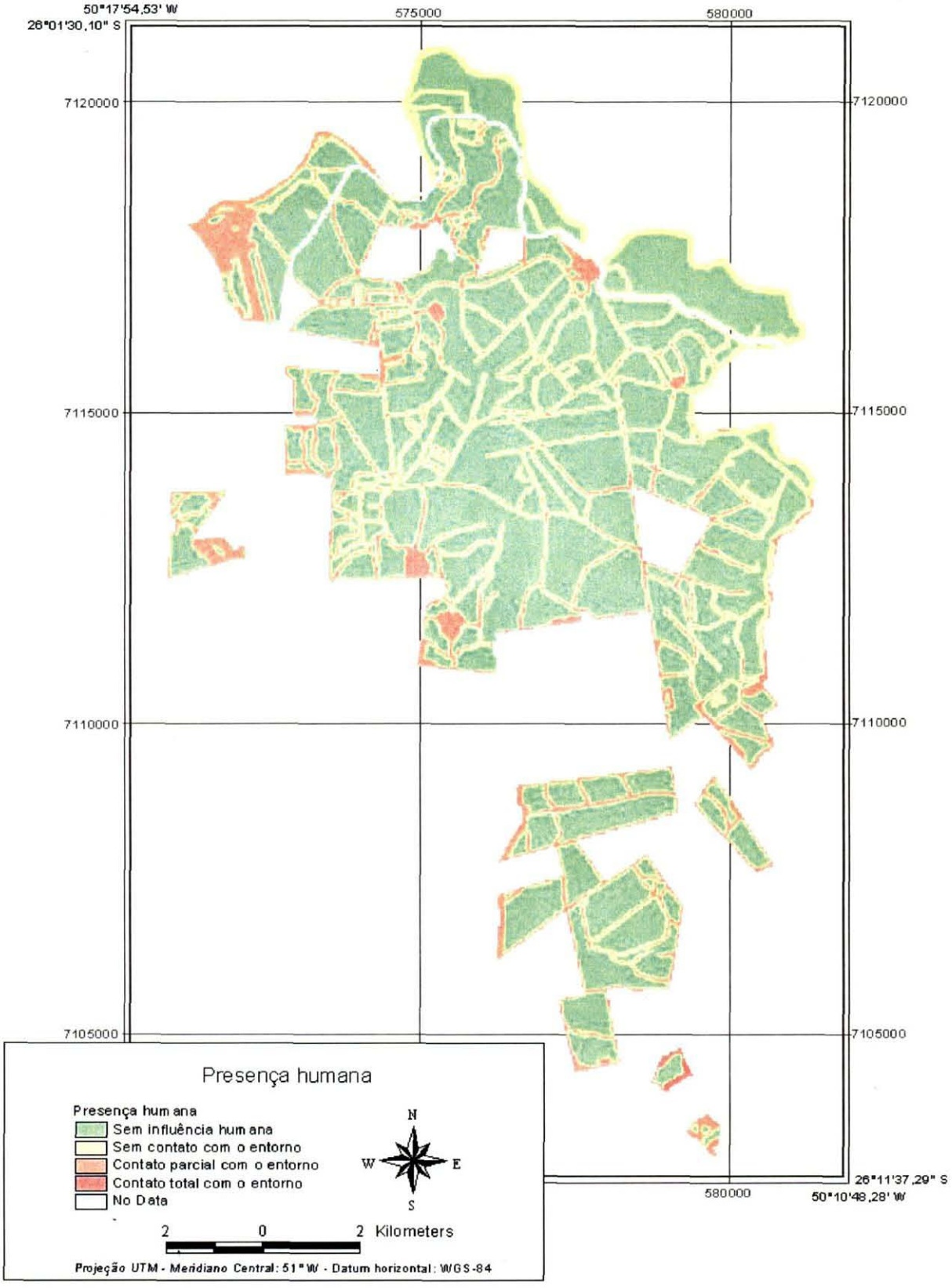
No sul do Brasil, o emprego do fogo no manejo de povoamentos florestais não é muito comum. Assim, pode-se afirmar que áreas ocupadas por povoamentos florestais também não oferecem risco às áreas adjacentes. Entretanto, áreas que sofreram corte raso oferecem risco devido à quantidade de material combustível disponível para queima exposto a radiação solar.

O fogo também está presente em muitas atividades culturais da sociedade. Com relação às vilas e outras aglomerações humanas, áreas de recreação e estradas, o risco se deve a alta circulação humana que pode originar incêndios por fumantes, incendiários, balões, práticas religiosas e fogueiras.

Com relação à presença humana no interior da propriedade, observou-se que os trechos de rios internos aos limites não oferecem risco de incêndio porque suas margens não são utilizadas para recreação, existindo locais específicos para isto como o Clube e o Parque Ecológico Schuartz. Estes rios, à exceção do Rio Negro e Rio São João, não são navegáveis, o que também dificulta o acesso e diminui o risco. Assim, os rios foram considerados como fonte de risco apenas quando fazem divisa com o entorno.

Considerando-se o mapa de risco segundo a presença humana (Figura 9), pode-se observar que 72,5% da área em estudo não sofre influência direta de pessoas. O restante (27,5%) da área está sob influência humana, sendo 12,4% internas a propriedade, 15,0% em contato parcial com o entorno e 0,1% em contato total com o entorno da propriedade. Este panorama indica que as ações de prevenção devem se concentrar em apenas 30% da área, onde, por exemplo, pode-se instalar placas de alerta e intensificar a vigilância para evitar a ocorrência de pontos de ignição.

FIGURA 9 - PRESENÇA HUMANA



O estudo das variáveis relacionadas à atividade humana é cercado de grande subjetividade. Enquanto alguns autores (CHANDLER et al., 1983; SOARES, 1985), julgam que os rios são uma fonte de ignição, outros consideram os rios como fator de diminuição do risco, pois quanto mais próximo às margens, maior é a influência da umidade sobre o tipo de vegetação ocorrente (ALMEIDA, 2000; SOUSA et al. 2000). O mesmo acontece com as estradas, que podem ser consideradas como impedimento a passagem do fogo (aceiros) e ao mesmo tempo fonte de ignição devido a circulação humana (CHOU et al. 1990; CHOU, MINNICH; CHASE 1993, SALAS; CHUVIECO, 1994; ALMEIDA, 2000; VEGA-GARCIA et al, 1995; LANGHART; BACHMANN; ALLGÖVER, 1998; FERRAZ; VETTORAZZI, 1998; ALCÁZAR et al. 1998; PEW; LARSEN, 2001).

4.3 RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E DO MATERIAL COMBUSTÍVEL

Para atender o objetivo de produção de matéria-prima para a fábrica de celulose e papelão micro-ondulado e geração de energia, os povoamentos florestais da RIGESA são compostos de pinus (com idade de até 19 anos) e eucaliptos (com idade de até 8 anos). Além das plantações, existem áreas ocupadas com floresta nativa e povoamentos com araucária que compõem a área de preservação permanente exigida pela legislação. Existem ainda áreas com estradas e construções, áreas com solo não mecanizável e áreas disponíveis para plantio, como pode ser observado na Tabela 18 e na Figura 10. A Figura 11 apresenta um detalhamento dos povoamentos existentes na propriedade.

TABELA 18 – CONSTITUIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO COM RELAÇÃO AO USO DO SOLO ANO 2001

CLASSE	ESPÉCIE	CÓDIGO NO BANCO DE DADOS	ÁREA (ha)	(%)
Povoamentos	*Pinus elliotti*	EL	195,87	3,1
	Pinus taeda	TA	3907,86	61,7
	Araucaria angustifolia	ARA	216,72	3,4
	Eucalyptus dunni talhadia	EDT	12,69	0,2
	Eucalyptus dunni	EDU	460,64	7,3
	Eucalyptus viminalis	EVI	0,0	0,0
Corte raso	Pinus	O-N	123,57	2,0
	Eucalipto	O-N	0,00	0,0
Pomares de sementes	Pinus	PSP	11,84	0,2
	Eucalipto	PSE	10,91	0,2
Experimentos	Pinus	EXP	60,47	1,0
	Eucalipto	EXE	64,06	1,0
Preservação permanente	Nativas	PP	620,13	9,8
Áreas não mecanizáveis	Diversas	NFB	264,04	4,2
Áreas disponíveis para plantio	Diversas	ONP	15,18	0,2
Construções	-	NF	53,11	0,8
Estradas e aceiros	-	NFR	308,96	4,9

FIGURA 10 - ÁREA DE ESTUDO CLASSIFICADA SEGUNDO AS FORMAÇÕES VEGETAIS OCORRENTES

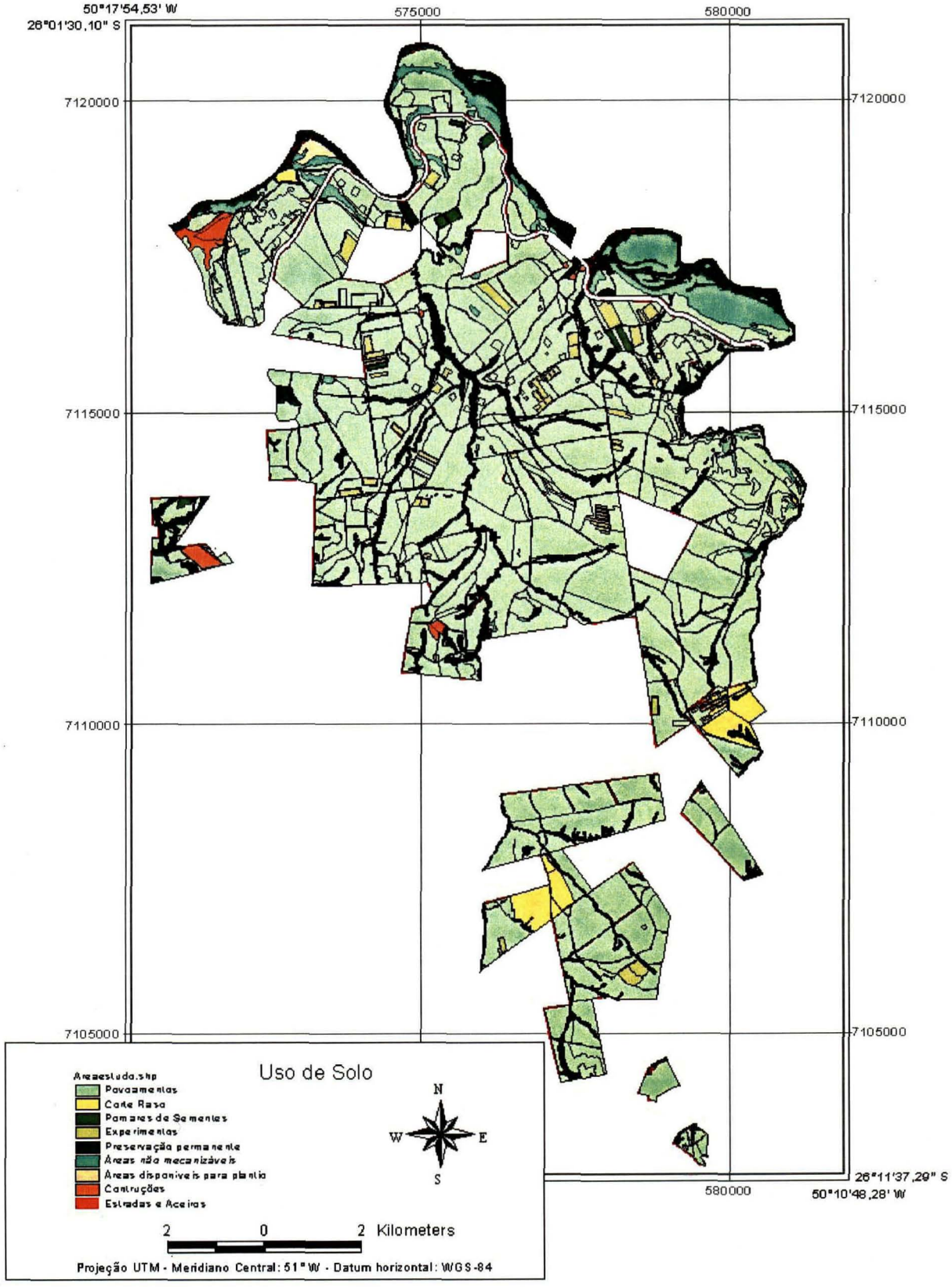
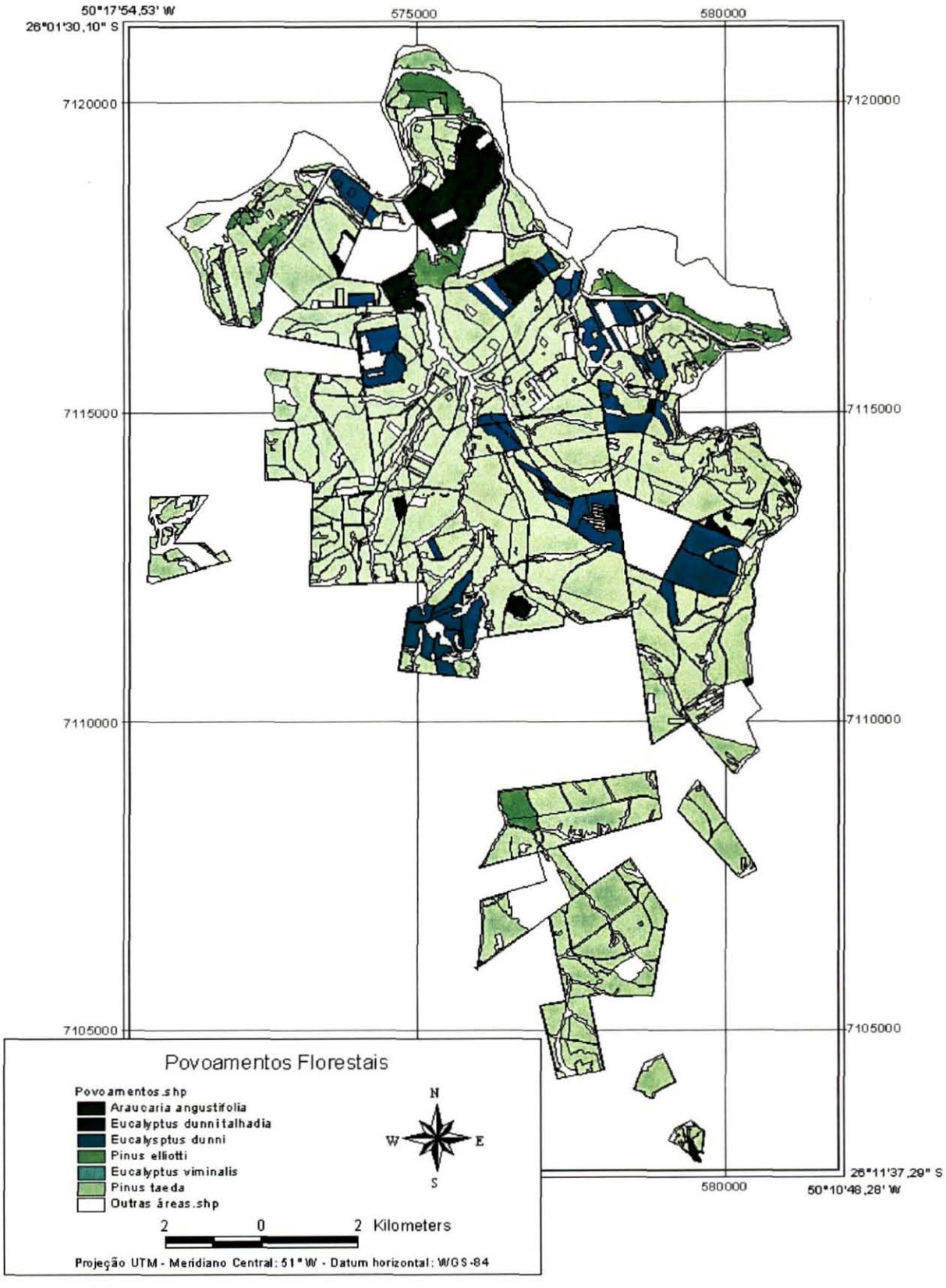


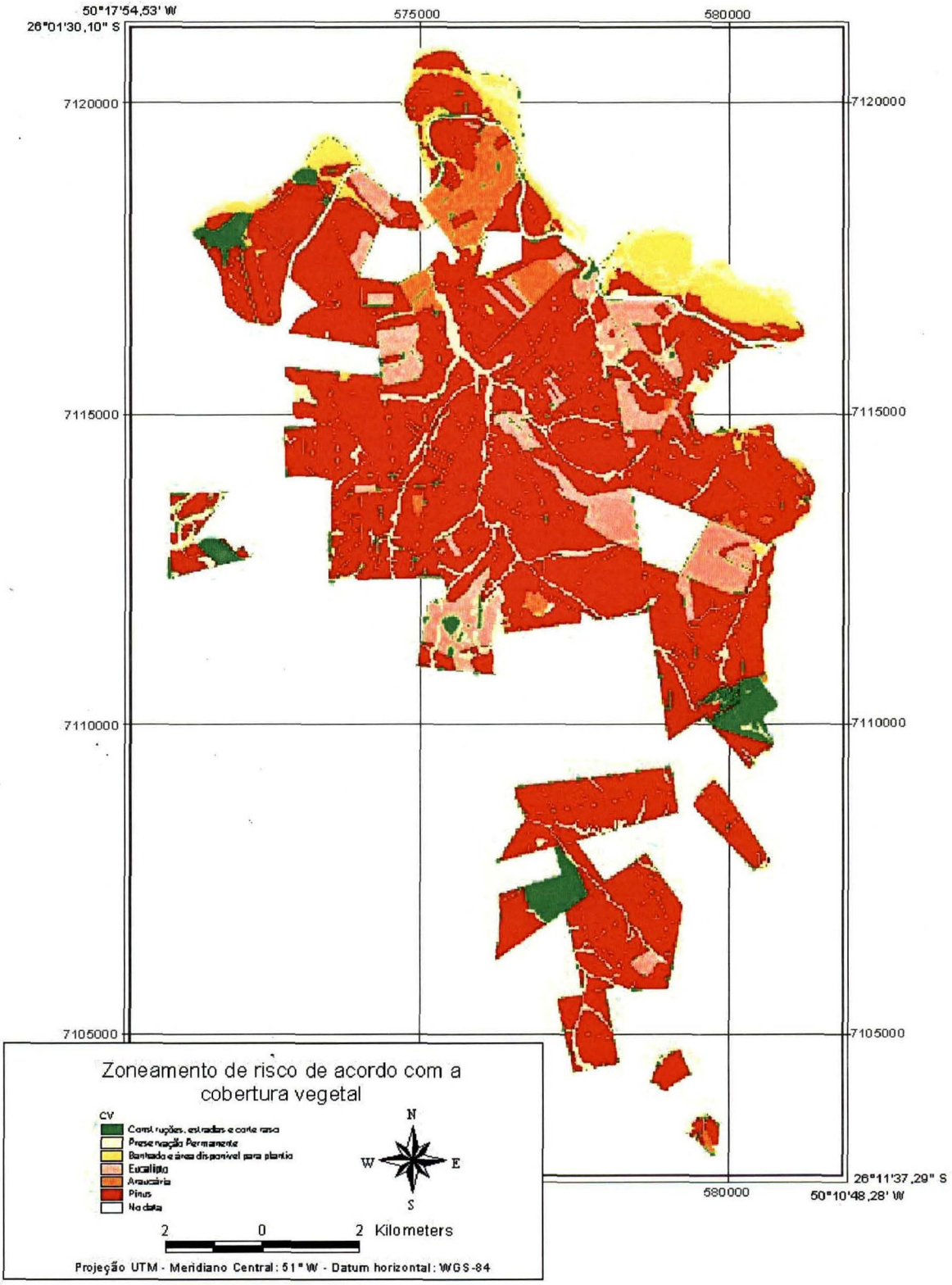
FIGURA 11 - DETALHAMENTO DOS POVOAMENTOS FLORESTAIS



Um aspecto muito importante dos mapas de risco segundo a cobertura vegetal e material combustível é seu dinamismo. O ambiente florestal está em constante mudança e as atividades de corte e plantio, bem como o próprio crescimento dos povoamentos que correspondem a aproximadamente 80% da área estão em constante ciclo de **plantio – desenvolvimento – corte**, não sofrendo outras práticas de manejo. As condições da cobertura vegetal e material combustível são menos variáveis no tempo do que as condições meteorológicas, mas estes mapas devem ser atualizados periodicamente para permanecerem confiáveis (GOUMA; CHRONOPOULOU-SERELI, 1998).

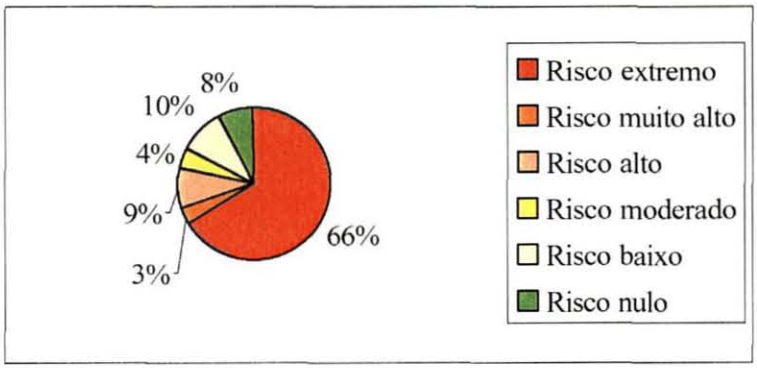
Todas as diferentes composições da vegetação foram estudadas com relação à inflamabilidade da vegetação e classificadas de acordo com a Tabela 11. Obteve-se então o mapa de risco segundo a cobertura vegetal que é apresentado na Figura 12.

FIGURA 12 - COBERTURA VEGETAL



A partir da análise deste mapa extraiu-se o gráfico apresentado na Figura 13 que traduz a composição da área de estudo em relação ao risco segundo a cobertura vegetal.

FIGURA 13 – DISTRIBUIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO EM RELAÇÃO AO RISCO SEGUNDO A COBERTURA VEGETAL



Deste gráfico observa-se que 66% correspondem a áreas de extremo risco, representadas por todas as áreas ocupadas por pinus e 8,7% correspondem a áreas consideradas com risco alto ocupadas por eucaliptos, sendo 7,7% da área ocupada por estradas, construções e talhões que sofreram corte raso, considerados como risco nulo. NÚÑEZ-REGUEIRA et al. (1999) em estudo semelhante obtiveram 65% da área de estudo ocupada com coníferas classificadas com alto índice de inflamabilidade durante todo o ano. MACEDO e SARDINHA (1987) recomendam que para a diminuição do risco de incêndio os povoamentos sejam planejados de acordo com a sua inflamabilidade, misturando-se povoamentos com espécies de alta inflamabilidade como pinus e povoamentos de baixa inflamabilidade, o que não se observa na região maciçamente ocupada por talhões de pinus adjacentes. Com certeza isto se deve ao projeto de planejamento dos talhões que deve ter considerado principalmente as condições mais adequadas de sítio.

A Tabela 19 apresenta as cargas de material combustível para cada tipo de formação vegetal obtidas de acordo com a metodologia proposta.

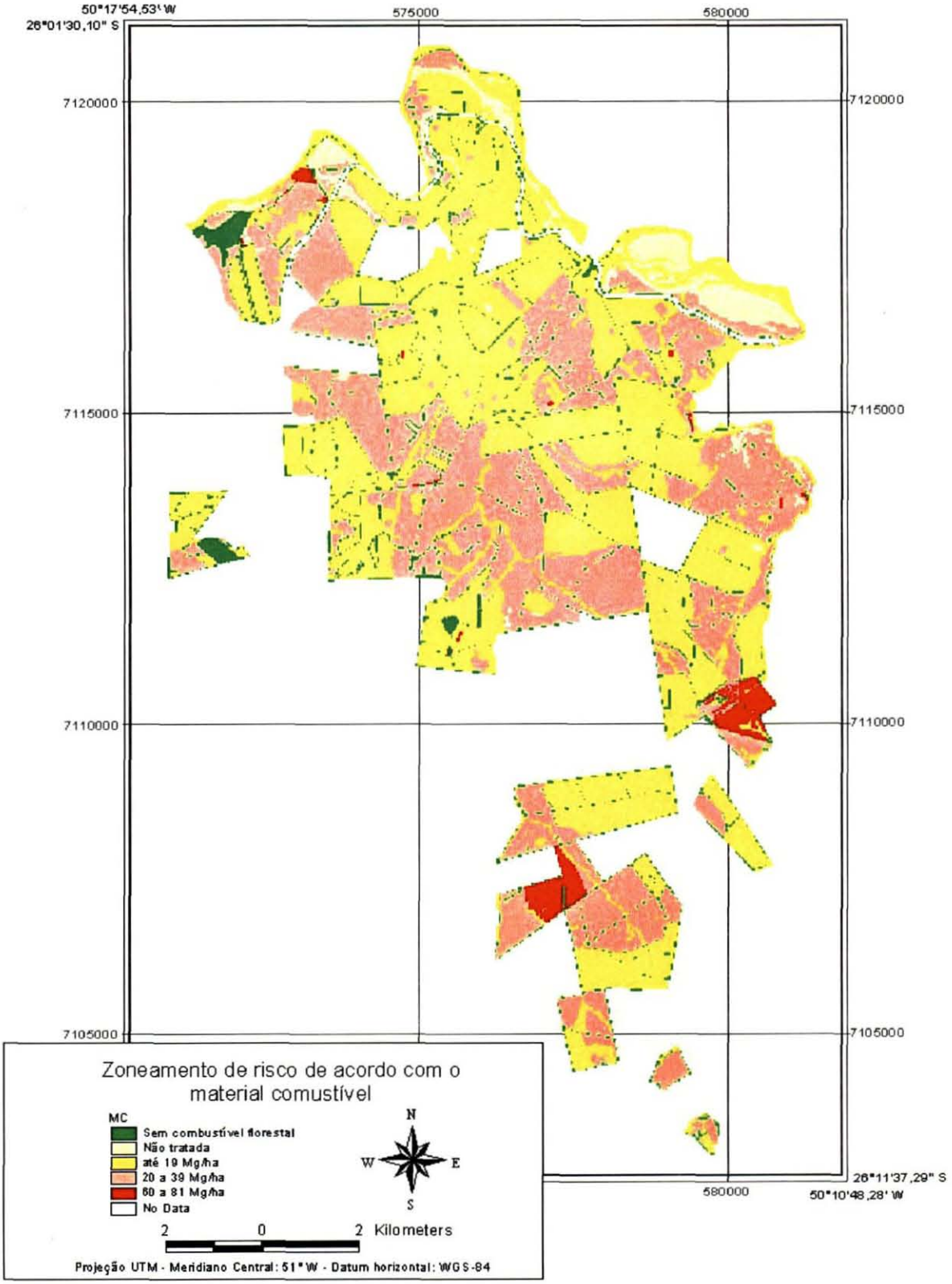
TABELA 19 – CARGA DE COMBUSTÍVEL ATRIBUÍDA DE ACORDO COM CADA FORMAÇÃO VEGETAL

CLASSE	SUB-CLASSES	CARGA DE MATERIAL COMBUSTÍVEL (Mg/ha)
Áreas ocupadas com pinus	*Pinus elliotti*	1,92 a 34,33
	Pinus taeda	
	Pomares de sementes de pinus	
	Experimentos com pinus	
Áreas ocupadas com eucalipto	*Eucalyptus dunni*	2,71 a 7,11
	Eucalyptus dunni talhadia	
	Eucalyptus viminalis	
	Pomares de sementes de eucalipto	
	Experimentos com eucalipto	
Áreas ocupadas com Araucária	*Araucaria angustifolia*	13,13(1)
	Preservação permanente	
Áreas de Corte raso	Pinus	80,60(1)
	Eucalipto	55,00(1)
Áreas não tratadas	Áreas não mecanizáveis	1(2)
	Áreas disponíveis para plantio	
Áreas sem combustível florestal	Construções	0
	Estradas e aceiros	

NOTA: (1) Valores de referência definidos em função dos dados encontrados na bibliografia.
(2) Valor de referência adotado para identificar as áreas onde não se obteve informações sobre a carga de material combustível dada a diversidade da vegetação ocorrente nestas áreas.

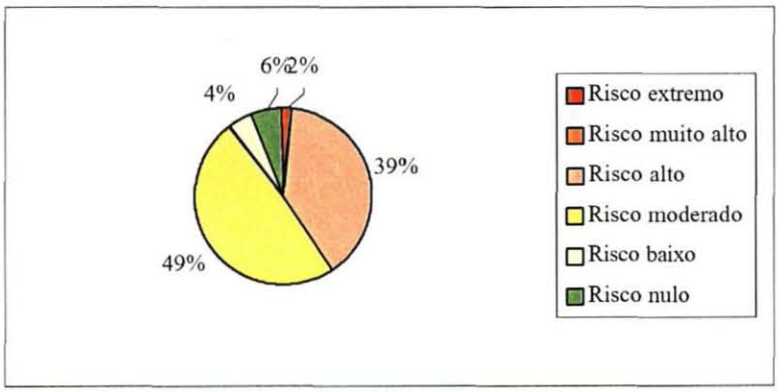
O mapa de risco segundo o material combustível, apresentado na Figura 14, representa a quantidade de material combustível potencial para queima, indicando indiretamente o comportamento do fogo na região. Neste mapa as áreas ocupadas com pinus e eucalipto foram sub-divididas em função do material combustível acumulado devido a idade do povoamento. As demais áreas são representadas de acordo com valores de referência. A utilização de valores de referência estima valores iguais para todas as áreas de uma mesma formação em idades diferentes. Entretanto, esta foi a solução encontrada para representar todas as formações vegetais ocorrentes segundo uma mesma escala.

FIGURA 14 - MAPA DE RISCO EM FUNÇÃO DO MATERIAL COMBUSTÍVEL



A análise do mapa de risco obtido para o material combustível gerou o gráfico apresentado na Figura 15 que trata da distribuição da área em função das classes de risco de acordo com a carga de material combustível.

FIGURA 15 – DISTRIBUIÇÃO DA ÁREA TOTAL EM FUNÇÃO DO RISCO SEGUNDO O MATERIAL COMBUSTÍVEL



Pode-se observar na Figura 15 que 49,2% da área de estudo possui carga menor do que 20 Mg/ha e corresponde à classe de risco moderado; 38,7% da área possui carga de combustível de 20 a 40 Mg/ha o que corresponde ao risco alto e apenas 4% corresponde a áreas com solo não mecanizável e áreas disponíveis para plantio, às quais não se associou valores de quantidade de material combustível, e foram classificadas como risco baixo.

Apesar da importância da quantidade de material combustível para o desenvolvimento e sustentação de incêndios, no Brasil existem poucos trabalhos que tratam da quantificação do material combustível acumulado em povoamentos e em formações vegetais nativas. SOUZA (2000) foi pioneiro no trabalho de modelagem de material combustível para as condições de povoamentos de pinus e eucalipto na região de Três Barras-SC.

Em estudos de risco é necessária a análise em conjunto dos combustíveis florestais que compõem o sub-bosque e a manta, bem como os que compõem o dossel (CHANDLER et al., 1983). Ambos os estratos são fundamentais porque representam o combustível total disponível para alimentar o incêndio (CHUVIECO; CONGALTON,

1989). Neste trabalho, os dois estratos foram abordados; o mapa de cobertura vegetal tratou da inflamabilidade da vegetação que compõe o dossel enquanto que o mapa de material combustível tratou da quantidade existente sobre o solo.

Analisando em conjunto os mapas de material combustível no piso da floresta e a cobertura vegetal observa-se que toda a área ocupada com pinus foi classificada como risco extremo (100%) no mapa de cobertura vegetal. Mas esta área foi sub-dividida nas classes de risco moderado (41,4%) e alto (58,6%) no mapa de risco segundo o material combustível. A interpretação dos dois mapas em conjunto, indica que a espécie ocorrente em cerca de 66% da área de estudo é altamente inflamável, entretanto, desta área 60% tem mais quantidade de combustível acumulada o que a torna mais perigosa do que o restante (40%) apesar da espécie plantada ser a mesma. O sistema de classificação utilizado (Tabela 12) não foi sensível à variação de material combustível acumulado em áreas com eucalipto porque os valores obtidos para estas áreas se inserem em apenas uma classe, risco moderado.

Segundo ROTHERMEL (1983), para estimar o potencial do fogo, há a necessidade de uma descrição completa das características do material combustível. Para tanto foram desenvolvidos modelos de material combustível onde são descritas todas as características dos materiais combustíveis à exceção do conteúdo de umidade. As descrições e fotografias de cada modelo possibilitam a discriminação correta do tipo de combustível. De acordo com GOUMA e CHRONOPOULOU-SERELI (1998) cada modelo de combustível é um grupo de combustíveis com diferentes estruturas e diferentes espécies dominantes mas com similar nível de inflamabilidade. Os modelos de combustível descrevem quantitativamente as propriedades químicas e físicas dos elementos combustíveis que governam a inflamabilidade das diversas formações vegetais (BURGAN; SHASBY, 1984). Exemplos de sistemas que adotam estes modelos de material combustível são o canadense FWI (*Fire Weather Index*) e o norte-americano NFDRS (*National Fire Danger Rating System*). O sistema de classificação das formações vegetais do NFDRS é composto por 13 modelos para rápida identificação no campo: 3 gramíneas, 4 arbustivos, 3 lenhosos e 3 resíduos de

exploração. Alguns modelos incluem tanto vegetação viva quanto morta. Estes modelos são apresentados por ANDERSON (1982) e correlacionam ambos os estratos. BURGAN e SHASBY (1984) reforçam a importância do uso dos modelos, pois estes descrevem a vegetação de forma organizada para cálculos do potencial do fogo em função de diferentes condições climáticas e topográficas. Este sistema de classificação é amplamente utilizado (BURGAN; SHASBY, 1984; CHOU et al., 1990; CHOU; MINNICH; CHASE, 1993; KUNTZ; KARTERIS, 1994; GREEN et al.., 1995). É importante salientar que para as condições da região tropical não existem modelos de material combustível para descrever a inflamabilidade das formações vegetais ocorrentes.

4.4 RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DA DECLIVIDADE DO TERRENO E DA ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS

O relevo da região de estudo é caracterizado como suave ondulado, que pode se observar a partir da pequena amplitude de variação da altitude na região (760 a 865 m) representada na Figura 16. Em função disto, a altitude não foi considerada neste estudo pois conforme FURMAN (1978) a influência da modificação climática sobre o conteúdo de umidade do combustível pode ser observada em 3 intervalos distintos: 600 a 825 m, 825 m a 1.160 m e 1.160 a 1.680 m e a área de estudo se encontra entre os limites da primeira e segunda classe. ALMEIDA (2000) também não incluiu a variável altitude porque a região de estudo não ultrapassou os 345 m s.n.m. O mapa de risco segundo a declividade do terreno é apresentado na Figura 17.

FIGURA 16 - MAPA HIPSOMÉTRICO DA REGIÃO DE ESTUDO

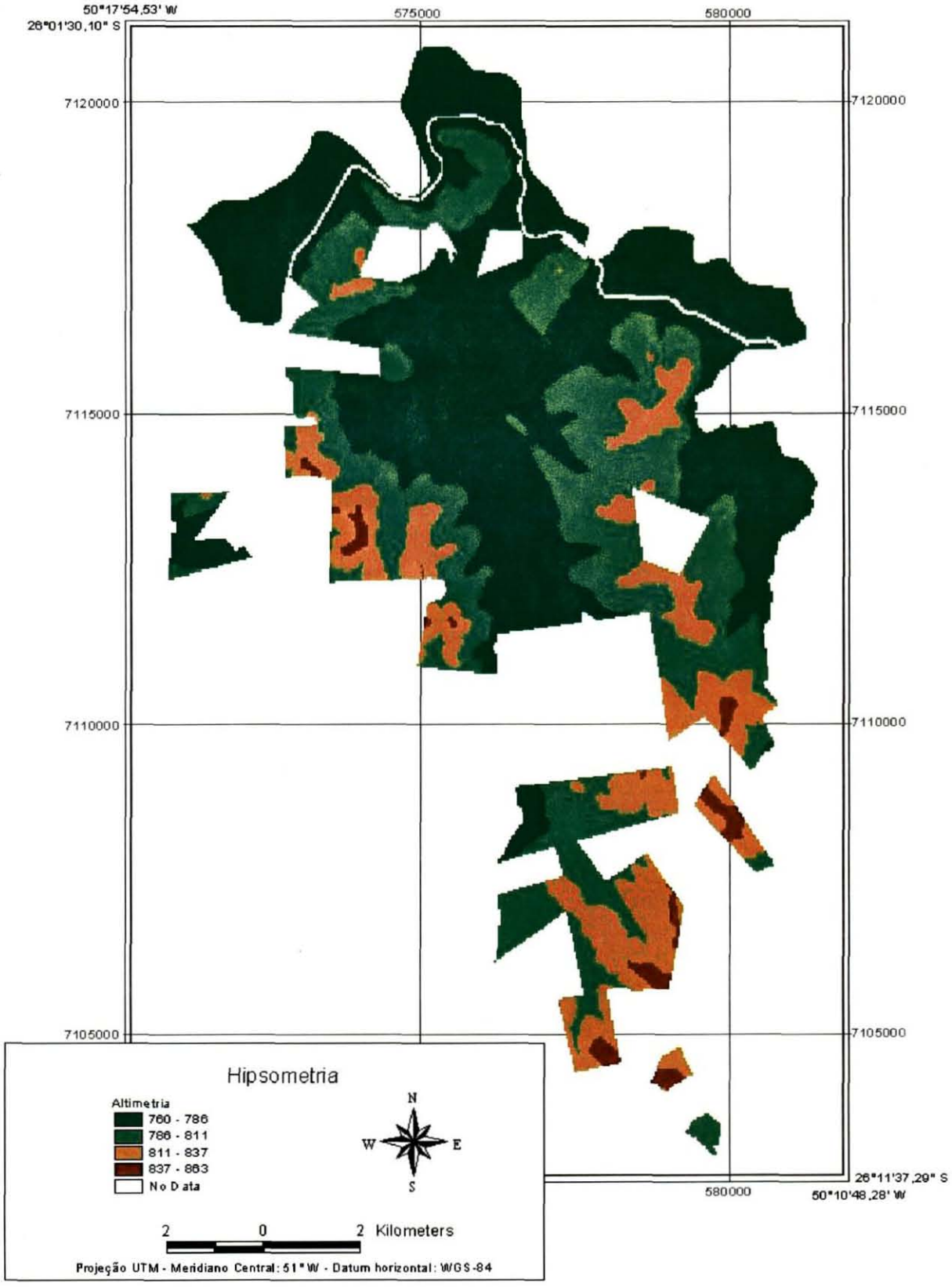
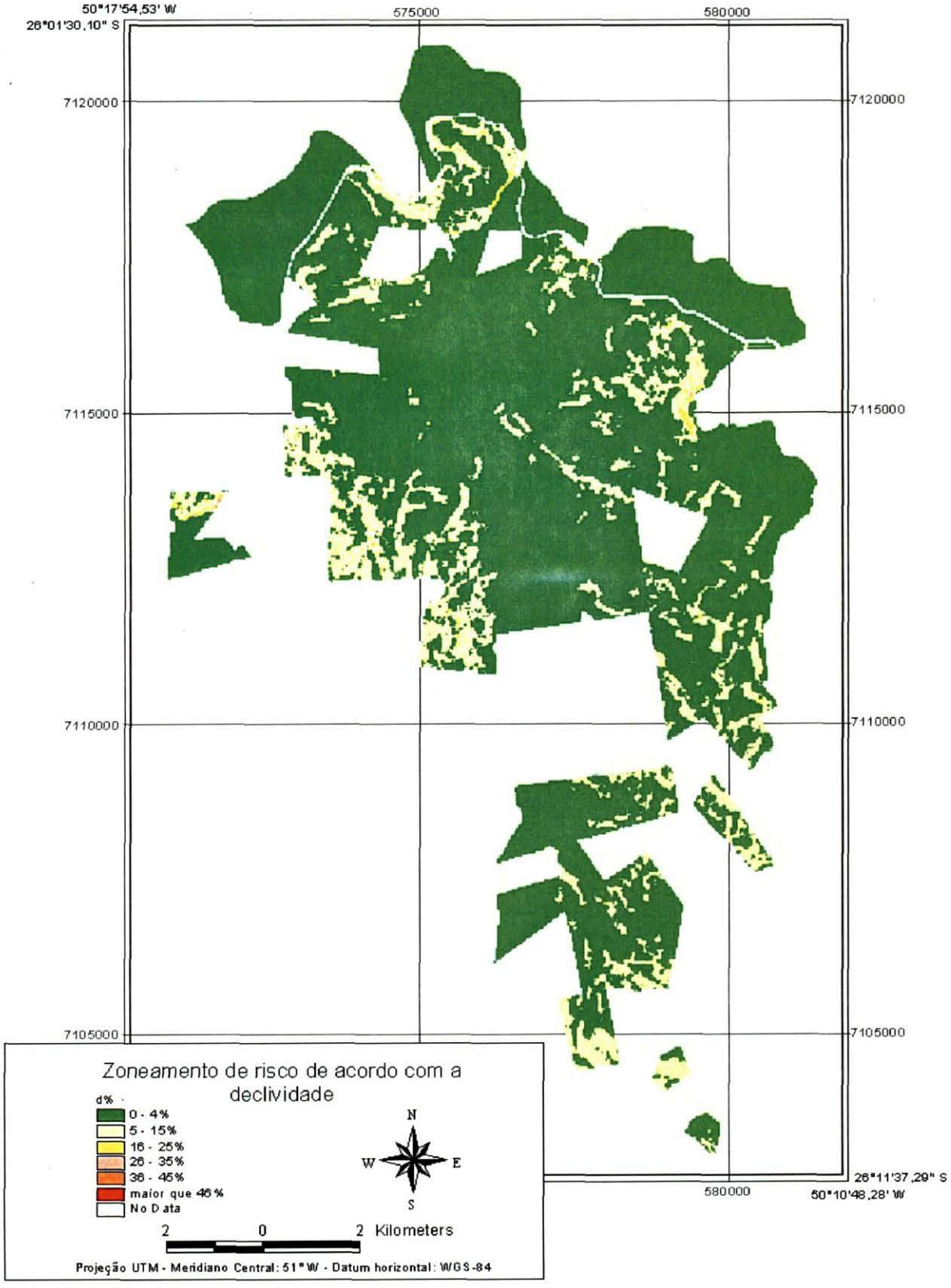
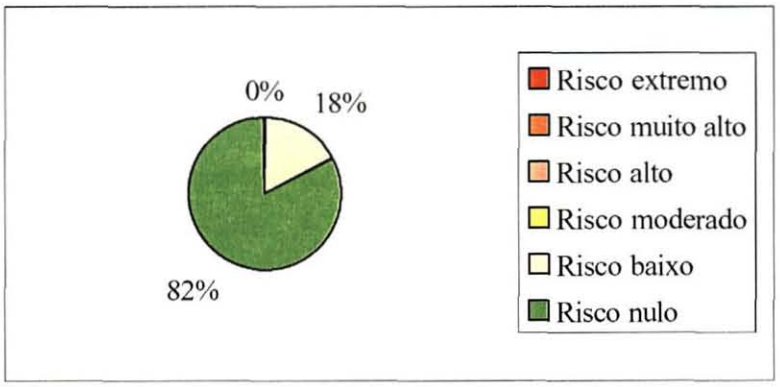


FIGURA 17 - MAPA DE RISCO EM FUNÇÃO DA DECLIVIDADE DO TERRENO



A declividade é um fator de grande importância na propagação do fogo, pois contribui para o pré-aquecimento dos materiais combustíveis. Entretanto, na área de estudo cerca de 81,8% tem inclinações da ordem de 0 a 5% e 17,8% tem inclinações no intervalo de 5 a 16%, caracterizando um relevo bem suave, sem inclinações muito íngremes como pode ser observado no gráfico apresentado na Figura 18.

FIGURA 18 – DISTRIBUIÇÃO DA ÁREA EM FUNÇÃO DO RISCO SEGUNDO A DECLIVIDADE DO TERRENO



Isto indica que a taxa e a direção de propagação do fogo nesta região não são muito afetadas pela inclinação do terreno. Desta forma, segundo a declividade do terreno, 99,6% da área tem declividade no intervalo de 0 a 16%, caracterizadas como risco nulo a baixo. GREEN et al. (1995) também observaram um efeito mínimo da topografia no estudo do comportamento do fogo em *Camp Lejeune* (*North Carolina* - EUA), pois a variação da altitude era de apenas 10,7 m em toda a área do projeto. SOUSA et al. (2000) também verificaram pouco efeito da declividade em estudo semelhante na região de Conselho de Valpaços – Portugal. Os autores observaram que a declividade não ultrapassou 20%.

Com relação à orientação das encostas pode-se afirmar, que não existem direções predominantes (Figura 19). O risco de incêndio segundo a orientação das encostas é apresentado na Figura 20.

FIGURA 19 - ÂNGULOS DE ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS

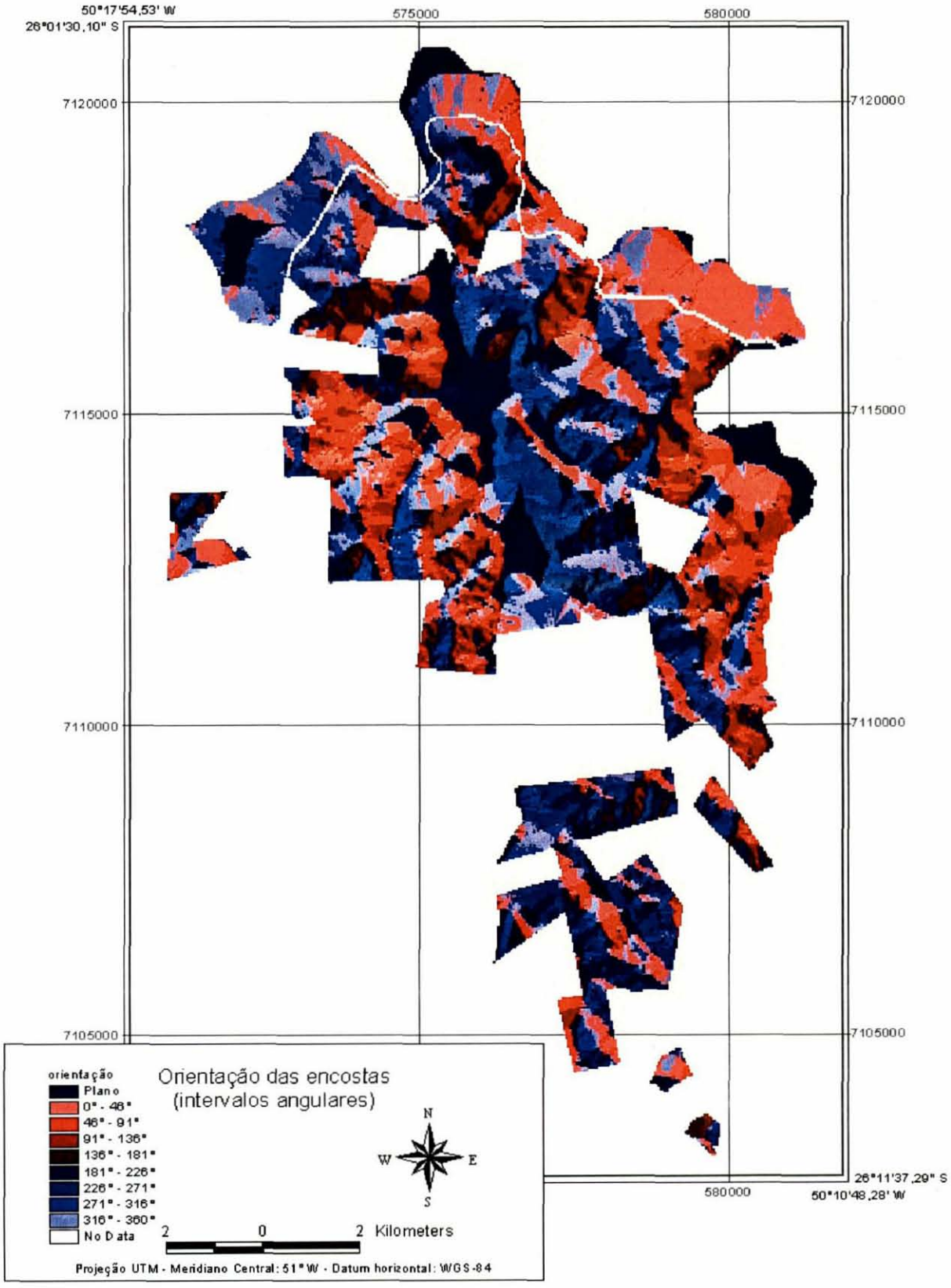
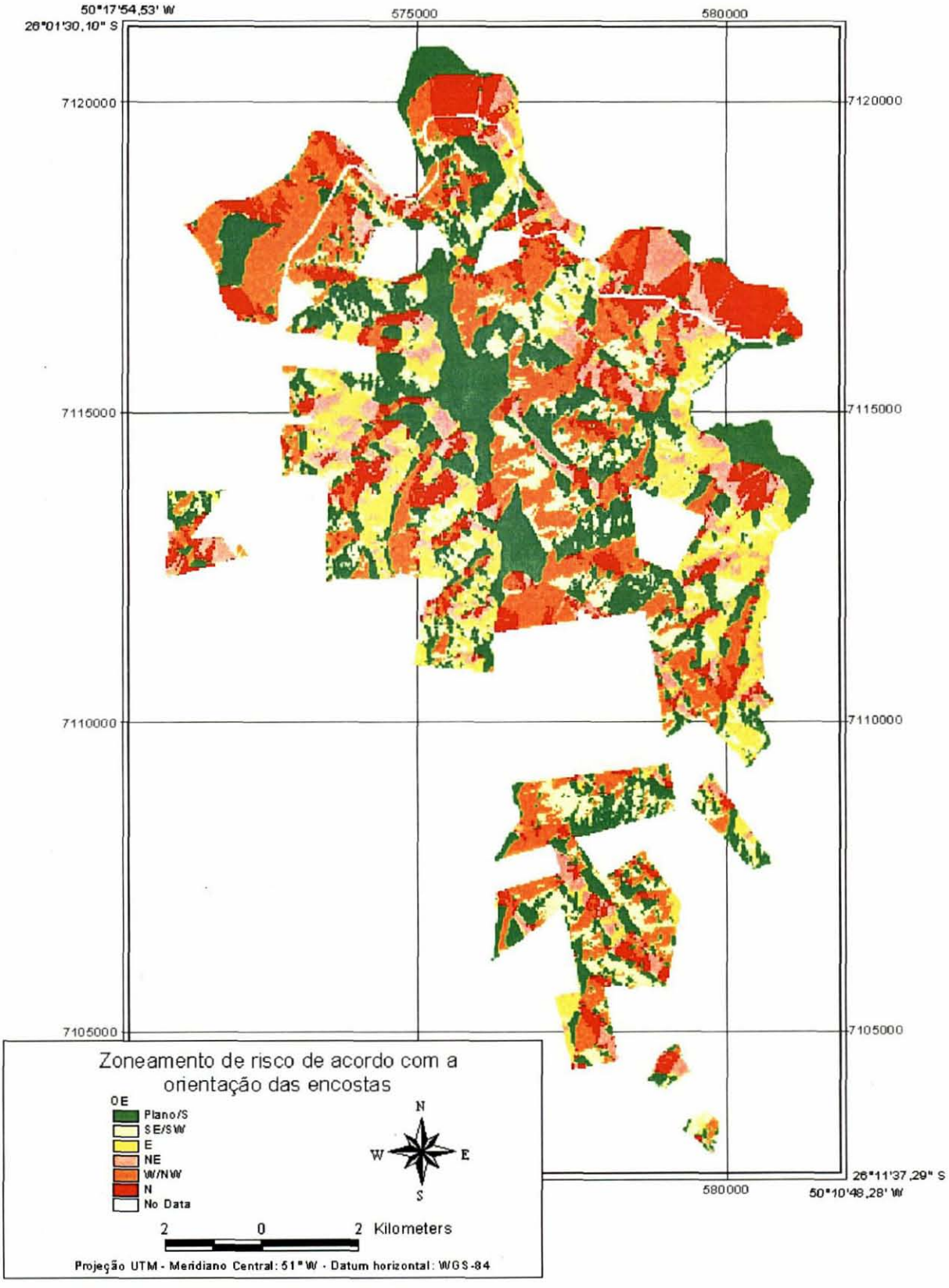
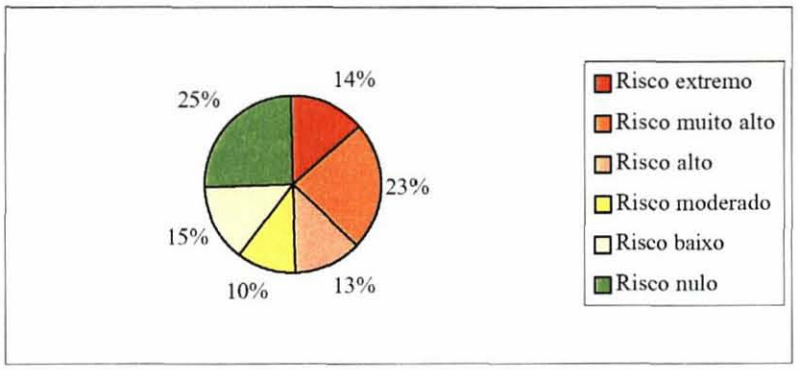


FIGURA 20 - MAPA DE RISCO EM FUNÇÃO DA ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS



A Figura 21 apresenta a área total distribuída de acordo com as classes de risco.

FIGURA 21 – DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO SEGUNDO A ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS



Da análise do gráfico resulta que:

a) 25,9% das encostas têm direção Sul ou são planas e foram classificadas como **risco nulo**. Isto significa que os efeitos da radiação solar no processo de secagem de material combustível são praticamente nulos;

b) 14,5% das encostas têm direção SE e SW, que correspondem ao **risco baixo**;

c) 10,1% tem direção E, que corresponde ao **risco moderado**. Estas encostas são iluminadas pela manhã e a radiação solar é em parte consumida no processo de evaporação;

d) 12,6% das encostas têm direção NE que correspondem a um **risco alto**;

e) 22,7% estão voltadas para as direções NW e W (**risco muito alto**) que recebem iluminação no período da tarde, quando a energia recebida é utilizada para a secagem do material combustível, e

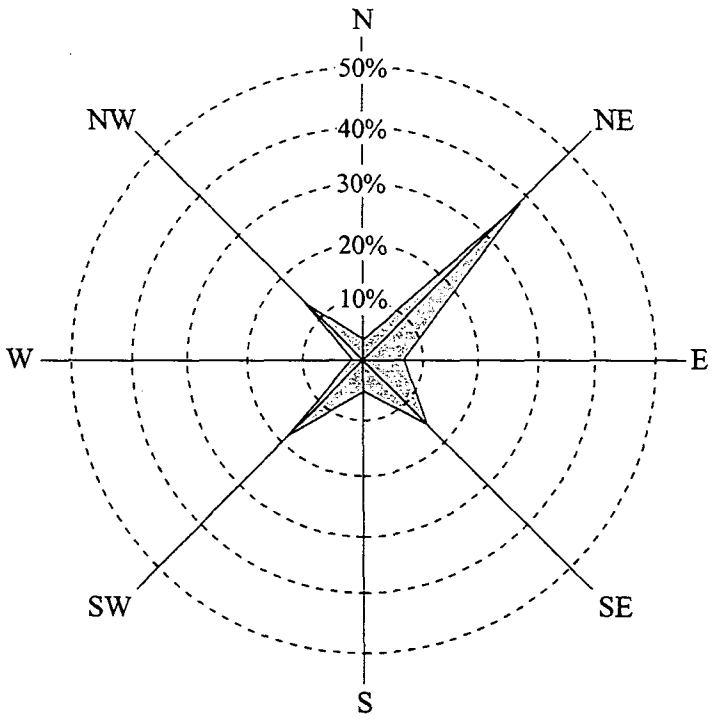
f) 14,2% das encostas têm direção N, que corresponde ao **risco extremo**, tendo em vista o horário em que as encostas recebem energia solar corresponder ao período mais quente do dia. Nestas faces os combustíveis florestais provavelmente permanecem mais secos.

Em resumo, cerca de 40% da área de estudo têm faces nas direções NW, W e N, consideradas com mais alto risco. Por outro lado, como as altitudes na região são pouco pronunciadas é possível que a taxa de energia solar seja distribuída de forma mais uniforme entre todas as encostas, o que mais uma vez contribui para a uniformidade das condições climáticas na região.

4.5 RISCO DE INCÊNDIO EM FUNÇÃO DOS VENTOS PREDOMINANTES

A Figura 22 indica que os ventos mais freqüentes na região durante os meses de julho, agosto e setembro, período crítico para a ocorrência de incêndios, durante o período de estudo, foram NE, SW, SE e NW .

FIGURA 22 – VENTOS PREDOMINANTES SEGUNDO OS REGISTROS METEOROLÓGICOS



O comportamento dos ventos em relação à umidade relativa, temperatura do ar e a ocorrência de precipitação é descrito na Tabela 20.

TABELA 20 – ESTUDO DA DIREÇÃO DO VENTO EM RELAÇÃO A UMIDADE RELATIVA E PRECIPITAÇÃO NO PERÍODO DE 1990 A 2001

D	ND	%T	NC	%C	UMIDADE RELATIVA OBSERVADA (%)				TEMPERATURA MÉDIA OBSERVADA (°C)			
					Máxima	Mínima	Média	Moda	Máxima	Mínima	Média	Moda
N	22	3	4	18	100	25	55	69	29	10	21	22
NE	249	38	29	12	100	18	53	59	34	9	23	25
NW	83	13	10	12	100	12	51	62	34	10	22	26
S	31	5	10	32	100	30	69	100	26	5	14	12
SE	92	14	20	22	100	19	62	100	32	11	17,5	15
SW	117	18	41	35	100	26	61	100	31	8	18	19
E	40	7	6	15	100	32	56	40	27	10	19	20
W	14	2	3	21	68	34	50	46	29	14	23	29

NOTAS: D – Direção do vento observada diariamente às 14:00 h
ND – Número de dias onde se observou ventos em determinada direção
%T – Porcentagem de dias em que se observou ventos em determinada direção em relação ao número total de dias com vento (648 dias)
NC – Número de dias onde se observou vento e precipitação
%C – Porcentagem de dias em que se observou vento e precipitação, em relação ao número total de dias (ND) com vento naquela direção

Os dados apresentados na coluna **%T** da Tabela 20 mostram que os ventos mais freqüentes foram NE (38%), SW (18%), SE (14%), NW (13%). Na coluna **%C** que relaciona o número total de dias onde ocorreu vento com o número de dias com vento e chuva, observa-se que as chuvas ocorreram com maior freqüência quando observou-se ventos na direção sudoeste (35%) e sul (32%). Quando ocorreram ventos na direção nordeste e noroeste apenas 12% das vezes ocorreu chuva.

Para os ventos NE e NW, a umidade relativa média é de 53% e 51% respectivamente. Para os ventos SE e SW a umidade relativa média é de 62% e 61% respectivamente. Com relação à temperatura, observa-se que quando ocorrem ventos NE e NW a temperatura média observada é de 23 e 22°C respectivamente. Enquanto que para os ventos nas direções SE e SW a temperatura média é de 17,5 e 18°C, respectivamente.

Para o tratamento do mapa de risco segundo os ventos predominantes analisados e as características da umidade relativa e temperatura do ar média, consideram-se que as encostas voltadas para NE e NW sofrem com freqüência, a ação

de ventos com características aparentemente mais secas. Por outro lado, as encostas nas direções SE e SW sofrem com freqüência a ação de ventos com características aparentemente mais úmidas. Já as encostas nas demais direções não são atingidas por ventos com freqüência durante o período de julho a setembro.

Com base nestas considerações e na Tabela 16, obteve-se o mapa de risco segundo os ventos predominantes (Figura 23). A Figura 24 apresenta um resumo dos dados expressos pela Figura 23.

FIGURA 23 - MAPA DE RISCO EM FUNÇÃO DOS VENTOS PREDOMINANTES

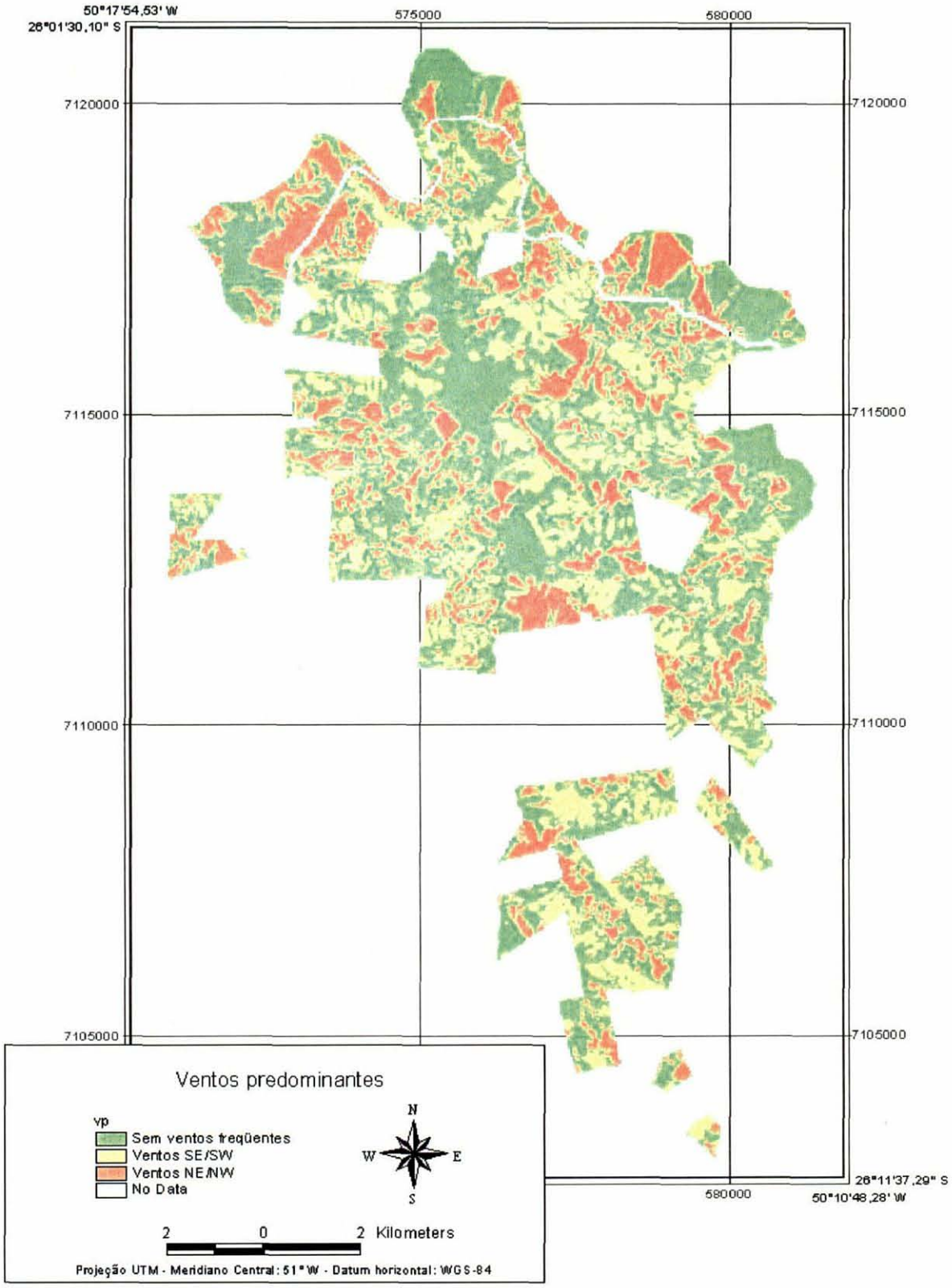
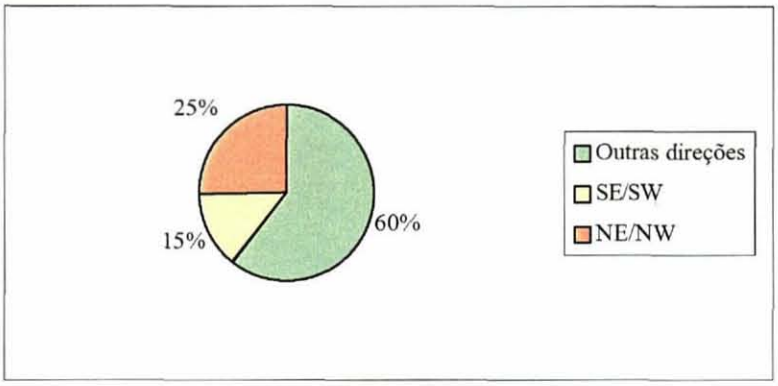


FIGURA 24 – DISTRIBUIÇÃO DA ÁREA EM RELAÇÃO AOS VENTOS PREDOMINANTES



A partir da análise das Figuras 23 e 24, é possível afirmar que 60,3% da área de estudo corresponde a encostas nas quais os ventos não são freqüentes. Cerca de 14,5% da área está sob a influência de ventos nas direções SE e SW e 25,2% sofre influência dos ventos nas direções NE e NW.

Os dados meteorológicos foram obtidos a partir das informações coletadas na única estação meteorológica da região. Este fato impediu o uso de outras variáveis meteorológicas na análise do risco e inclusive impediu a avaliação da variabilidade do índice de perigo de incêndio na região. As dimensões da área de estudo e a pequena variabilidade em relação a altitude também contribuíram para dificultar a avaliação de modificações no microclima local. Contudo, a investigação dos ventos considerou indiretamente a umidade relativa e a temperatura médias. Esta análise fornece indícios sobre o conteúdo de umidade do material combustível, bem como, indica as direções de propagação mais prováveis no período de julho a setembro.

4.6 DEFINIÇÃO DO CRITÉRIO DE INTEGRAÇÃO DOS MAPAS DE RISCO PRELIMINARES

Avaliando as características ambientais dos talhões atingidos pelos incêndios (presença humana, cobertura vegetal, material combustível, declividade, orientação das encostas e ventos predominantes) observou-se que os incêndios ocorreram em condições ambientais muito distintas entre si, o que não permitiu a definição de

tendências de comportamento. Esta dificuldade também foi observada por LANGHART, BACHMANN e ALLGÖVER, (1998) estudando a ocorrência de incêndios de causa humana e a declividade. VEGA-GARCIA et al. (1995) estudando a probabilidade diária de ocorrência de incêndios causados por fatores antrópicos, relatam a dificuldade na aquisição de dados, devido as amostras serem randômicas e raras. Em *Whitecourt Forest* (*Alberta* - Canadá) eles observaram muito poucos dias onde ocorreram incêndios e um grande número de dias sem incêndios. Em um estudo sobre o comportamento do fogo, GREEN et al. (1995) consideraram que a incorporação do histórico de incêndios para a calibração do modelo foi a tarefa mais importante de todo projeto.

Quando compararam-se as características ambientais com as variáveis indicativas da intensidade do fogo, só foi possível observar uma tendência quando extraiu-se da população uma amostra correspondente aos incêndios que ocorreram com condições climáticas adversas, expressas pela análise da umidade relativa do ar. A partir desta amostra observou-se que a maioria dos talhões atingidos eram de pinus e todos os povoamentos atingidos estavam em contato parcial com o entorno. Apesar da pequena amostra de dados, a análise de correlação indicou que para os incêndios ocorridos na propriedade da RIGESA no período de 1984 a 2001, em condições desfavoráveis em função da elevada umidade relativa registrada, as variáveis em hierarquia de importância foram ventos predominantes, material combustível, declividade, cobertura vegetal e orientação das encostas. Os resultados da análise de correlação são apresentados na Tabela 21:

TABELA 21 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO

VARIÁVEL	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO COM RESPEITO A ÁREA QUEIMADA	SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA
Ventos predominantes	0,6130	0,1061
Material combustível	0,5597	0,1491
Declividade	0,2903	0,4856
Cobertura vegetal	0,1322	0,7551
Orientação das encostas	0,1113	0,7931

Estes coeficientes de correlação indicam que a área queimada aumenta quando os povoamentos estão nas encostas de direção dos ventos mais freqüentes, e também é afetada pela quantidade do material combustível. Os demais coeficientes indicam correlações muito baixas o que é explicado pela diversidade de condições em que ocorrem os incêndios, bem como devido ao pequeno número de amostras analisadas. Os coeficientes de correlação obtidos nesta análise foram utilizados como pesos para as variáveis em estudo no momento de integrar os mapas de risco preliminares.

PEW e LARSEN (2001), estudando a probabilidade de ocorrência de incêndios também observaram uma forte relação com os fatores climáticos. CASTAÑEDA (1997) e GOUMA e CHRONOPOULOU-SERELI (1998) também atribuíram um peso maior para as condições climáticas em detrimento das outras variáveis. Esta maior importância dada às condições climáticas, segundo LAWSON, ARMITAGE e DALRYMPLE[8] citados por PEW e LARSEN (2001), significa que a ocorrência de ignição sustentada de um incêndio é mais dependente das condições do combustível para entrar em combustão do que da presença de um agente de ignição. Isto porque as condições meteorológicas não provocam uma ignição, mas regulam a possibilidade de um agente causal iniciar uma ignição quando altos valores de temperatura do ar são combinados com baixos valores de umidade relativa (GOUMA; CHRONOPOULOU-SERELI, 1998). Entretanto eles observam que existem muitos agentes de ignição.

Estes valores encontrados por meio da análise de correlação estão bastante associados com a distribuição e o comportamento dos dados observados. A cobertura vegetal atingida na maioria dos casos correspondeu a áreas ocupadas por pinus e as

---

[8] LAWSON, B. D., ARMITAGE, O. B., DALRYMPLE, G. N. Ignition probabilities for simulated people-caused fires in British Columbia's lodgepole pine and white spruce-subalpine fir forests. In: CONFERENCE ON FIRE AND FOREST METEOROLOGY, 12., 1993, Bethesda. **Anais...** Bethesda: Society of American Foresters, 1993, p. 493-505.

encostas atingidas têm várias direções inclusive sudeste e sudoeste consideradas menos perigosas. A presença humana não foi abordada pois todas as áreas atingidas tinham contato parcial com o entorno. Uma limitação a ser considerada é a inexistência do registro das áreas queimadas com exatidão, pois os dados utilizados para caracterizar cada talhão atingido correspondem ao valor predominante. Assim, com a atual política da empresa de preenchimento da ficha de ocorrência de incêndio com fotografias e croqui da área queimada executado com equipamento GPS (*Global Positioning System*), é possível que as análises estatísticas tenham dados mais precisos e reflitam com maior confiabilidade o ambiente de ocorrência de incêndio. ALCÁZAR et al. (1998) também encontraram dificuldades para estimar o risco humano e o perigo de incêndio por causa da falta de dados sobre os incêndios e pela falta de informação sobre a localização dos pontos de início dos mesmos.

As variáveis aqui relacionadas afetam o risco de incêndio em graus diferentes. A presença humana caracteriza a probabilidade de ignição, a cobertura vegetal e a quantidade de material combustível indicam as características de inflamabilidade e potencial de intensidade do fogo respectivamente, a declividade está associada à velocidade e direção de propagação enquanto que a orientação das encostas indicam indiretamente o conteúdo de umidade do material combustível e afetando também a taxa de propagação dos incêndios. Já os ventos predominantes indicam as direções de maior probabilidade de propagação bem como sugerem diferenças de conteúdo de umidade entre os materiais combustíveis influenciando também a velocidade de propagação do fogo. Portanto, não é adequado integrá-los de forma a considerar uma mesma importância.

Assim, os dados foram integrados segundo uma somatória adaptada de CASTAÑEDA (1997), onde os coeficientes de correlação relacionados a cada variável em estudo (VP, MC, CV, D%, OE) foram utilizados como peso e para a variável PH o peso atribuído corresponde a soma dos pesos adotados para as demais variáveis, conforme o modelo:

$$\mathbf{RIF = (1,70)*PH + [(0,61)*VP + (0,56)*MC + (0,29)*D\% +}$$
$$\mathbf{+ (0,13)*CV + (0,11)*OE)}$$

Onde:
RIF - valor resultante do somatório correspondente ao risco de incêndio florestal em cada unidade de análise;
PH - Plano de informação (PI) correspondente à variável presença humana;
VP - PI correspondente à variável ventos predominantes;
MC - PI correspondente à variável material combustível;
D% - PI correspondente à variável declividade;
CV - PI correspondente à variável cobertura vegetal;
OE - PI correspondente à variável orientação das encostas.
Os valores entre parênteses representam os pesos atribuídos a cada uma das variáveis em estudo.

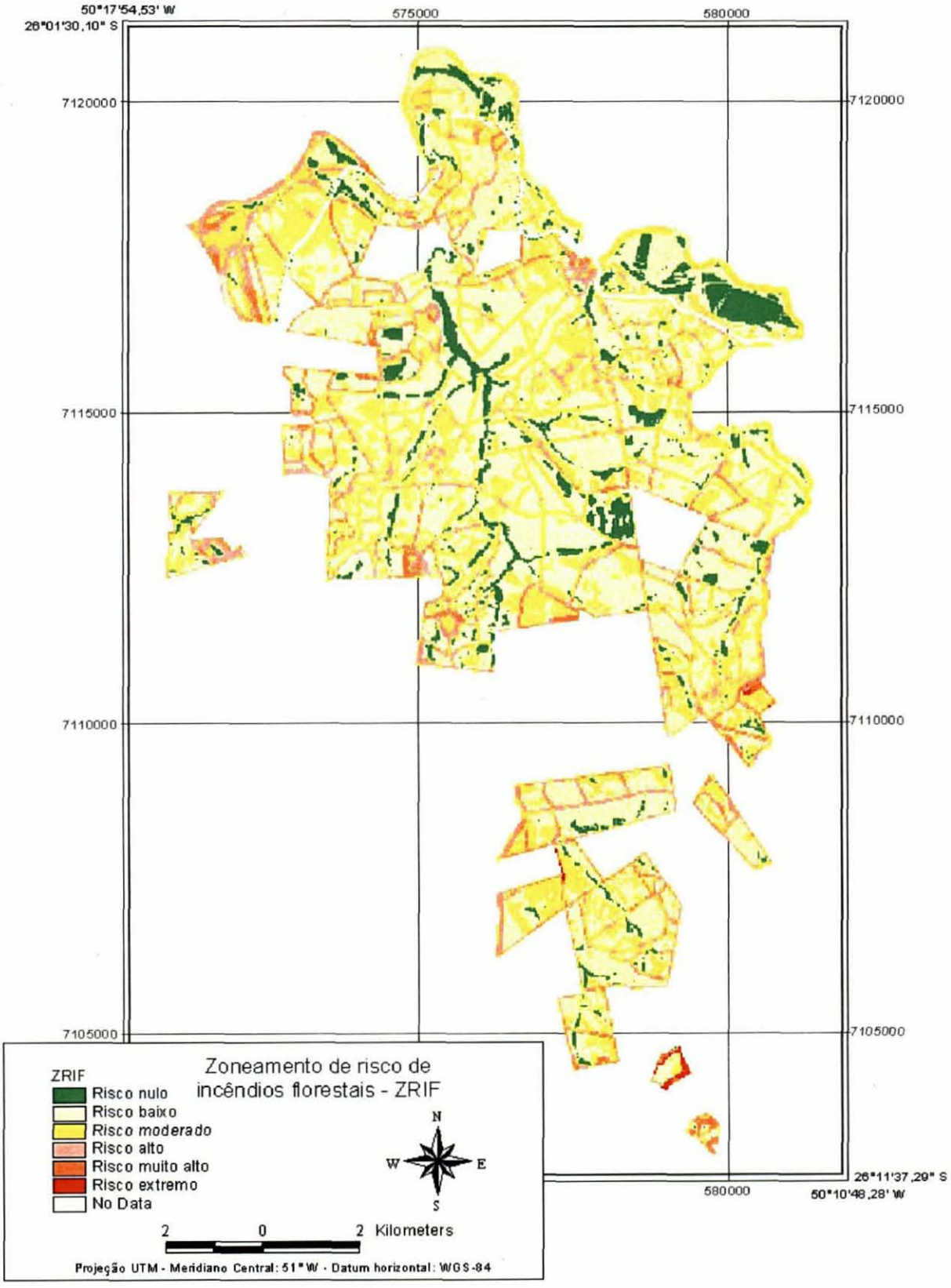
4.7 ANÁLISE DO CRITÉRIO DE PONDERAÇÃO

Os resultados da integração dos mapas de risco preliminares de acordo com o critério de ponderação obtido podem ser observados na Tabela 22 e na Figura 25.

TABELA 22 – ÁREAS SEGUNDO CADA CLASSE DE RISCO DE ACORDO COM O MAPA INTEGRADO

RISCO	ÁREA (ha)	%	% ACUMULADA
Nulo	441,29	7,0	7,0
Baixo	3207,13	50,7	57,7
Moderado	1844,52	29,1	86,8
Alto	629,61	10,0	96,8
Muito alto	194,62	3,1	99,9
Extremo	8,83	0,1	100

FIGURA 25 - INTEGRAÇÃO DOS MAPAS DE RISCO PRELIMINARES



Segundo dados da Tabela 22, observa-se que quase 90% da área foi considerada como de risco nulo a moderado. Esta informação já permitiria que os recursos destinados à proteção florestal fossem concentrados em praticamente 10% da área de estudo. Para efeito de comparação, utilizaram-se os pesos adotados por SALAS e CHUVIECO (1994) e FERRAZ e VETTORAZZI (1998) nos mapas preliminares, para observar a distribuição das áreas de risco, que são apresentadas na Tabela 23.

TABELA 23 – CLASSES DE RISCO SEGUNDO OS PESOS PROPOSTOS POR SALAS E CHUVIECO (1994) E FERRAZ E VETTORAZZI (1998)

RISCO	SALAS e CHUVIECO ZRIF = 5MC + 4PH + 4D% + 3CV + 2OE			FERRAZ e VETTORAZZI ZRIF = 5PH + 4CV + 3D% +2OE		
	Área			Área		
	(ha)	%	% acumulada	(ha)	%	% acumulada
Nulo	109,33	1,7	1,7	326,92	5,2	5,2
Baixo	603,13	9,5	11,3	897,63	14,2	19,4
Moderado	1496,44	23,7	34,9	2172,43	34,3	53,7
Alto	2620,30	41,4	76,3	2369,39	37,5	91,2
Muito alto	1435,11	22,7	99,0	516,85	8,1	99,3
Extremo	61,69	1,0	100	42,78	0,7	100

Em ambos os modelos não foram utilizados fatores ligados aos ventos predominantes. O modelo proposto por FERRAZ e VETTORAZZI (1998) também não trata do material combustível.

Quando se utilizou o modelo proposto, que envolve todas as variáveis, o potencial de risco foi menor do que nos outros dois modelos, pois a maior parte da área de estudo foi classificada como risco baixo com a aplicação do modelo proposto, risco alto com o modelo adaptado de SALAS e CHUVIECO (1994) (Figura 26) e risco alto com o modelo adaptado de FERRAZ e VETTORAZZI (1998) (Figura 27). Nos três casos observou-se uma distribuição aproximadamente normal das áreas em relação às classes, modificando-se apenas a classe onde ocorre o pico, como já foi mencionado.

FIGURA 26 - MAPA DE RISCO SEGUNDO OS PESOS PROPOSTOS POR SALAS E CHUVIECO (1994)

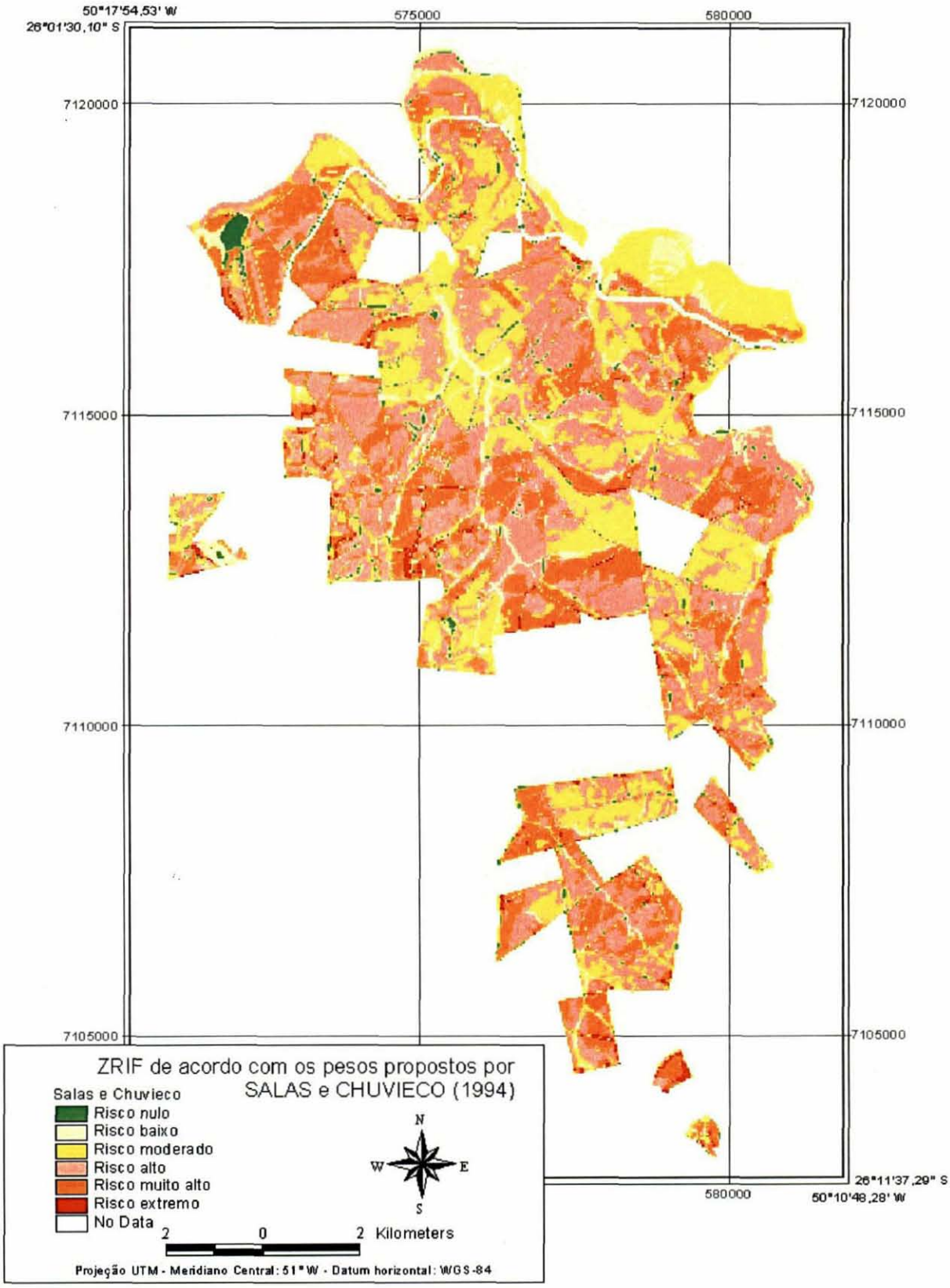
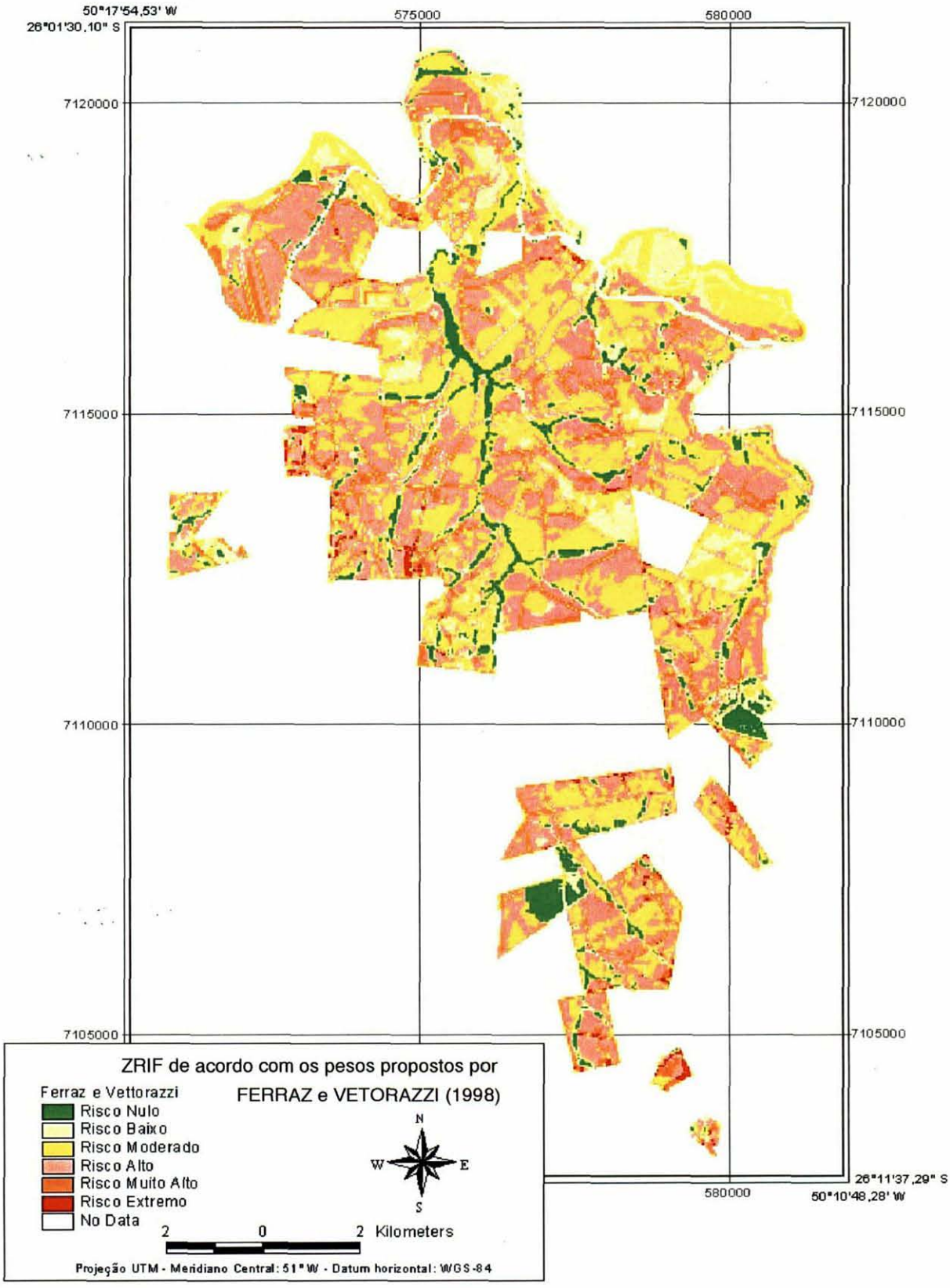
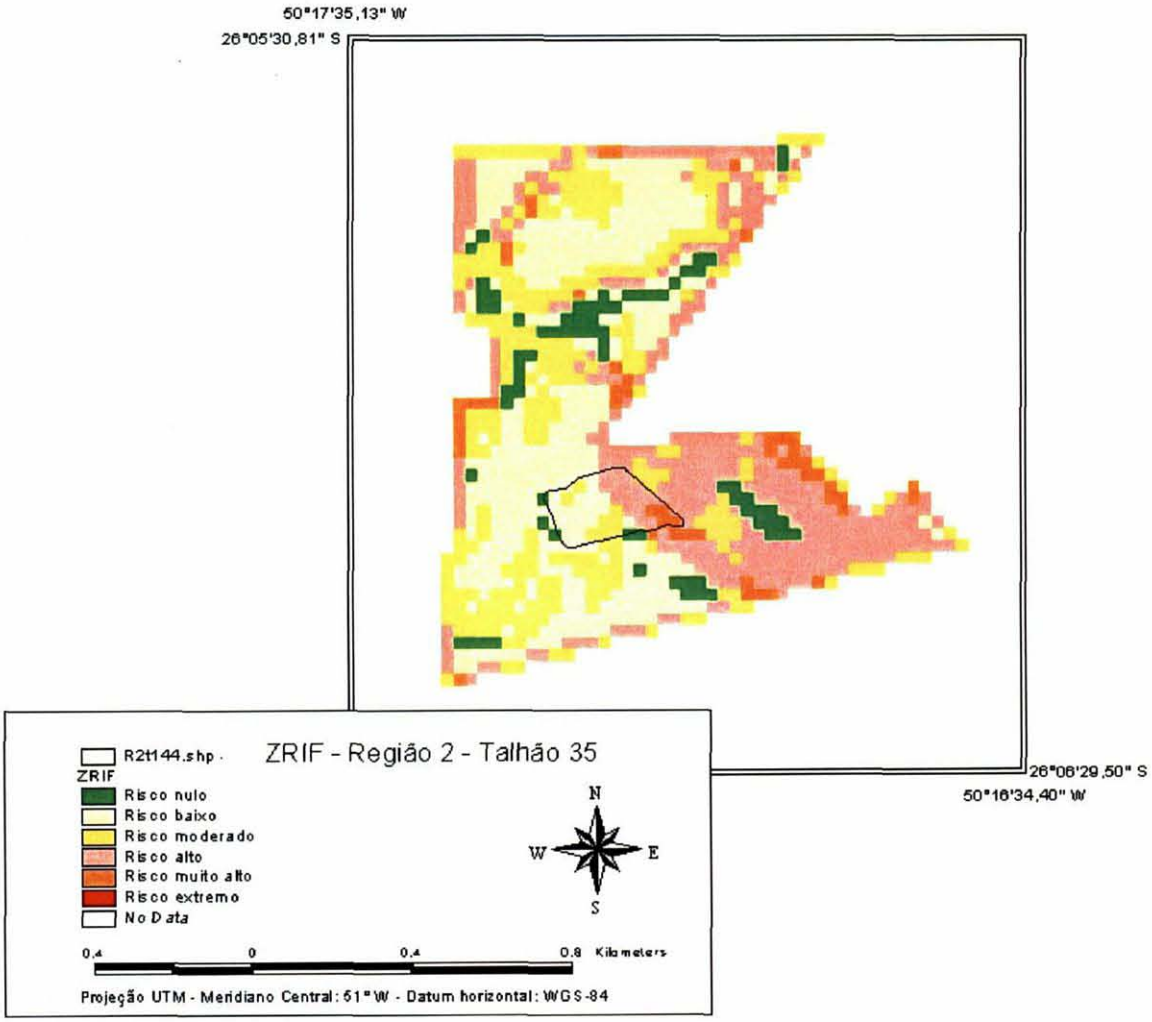


FIGURA 27 - MAPA DE RISCO SEGUNDO OS PESOS PROPOSTOS POR FERRAZ E VETTORAZZI (1998)



Todos os modelos utilizados em aplicações no ambiente SIG devem ser testados (BURROUGH, 1997). Entretanto, a validação deste modelo de integração de dados ficou prejudicada pelo pequeno número de incêndios ocorridos e pela distribuição aleatória das áreas queimadas, porque todas as ocorrências foram estudadas para a definição do modelo, sendo que apenas uma parte das mesmas deu origem aos coeficientes de correlação utilizados como peso. Por isso, não existe uma área onde possa ser observado se os talhões previamente queimados se concentram em maior quantidade nas zonas de maior risco, como observaram CHUVIECO e CONGALTON (1989) em sua área de estudo. Esta validação indica a sensibilidade dos dados (VEGA-GARCIA et al., 1995; PEW; LARSEN, 2001) e é aplicada a dados não utilizados para a criação do modelo. Entretanto, a título de investigação, o talhão atingido por um incêndio ocorrido em 09/11/1995, com uma área queimada de 2 hectares, valor inferior a área média queimada de 10,99 ha por incêndio, localizou-se em uma área de transição entre os risco baixo, moderado, alto a muito alto como observa-se na Figura 28.

FIGURA 28 - TALHÃO 144 ATINGIDO POR INCÊNDIO EM 1995 E AS ZONAS DE RISCO



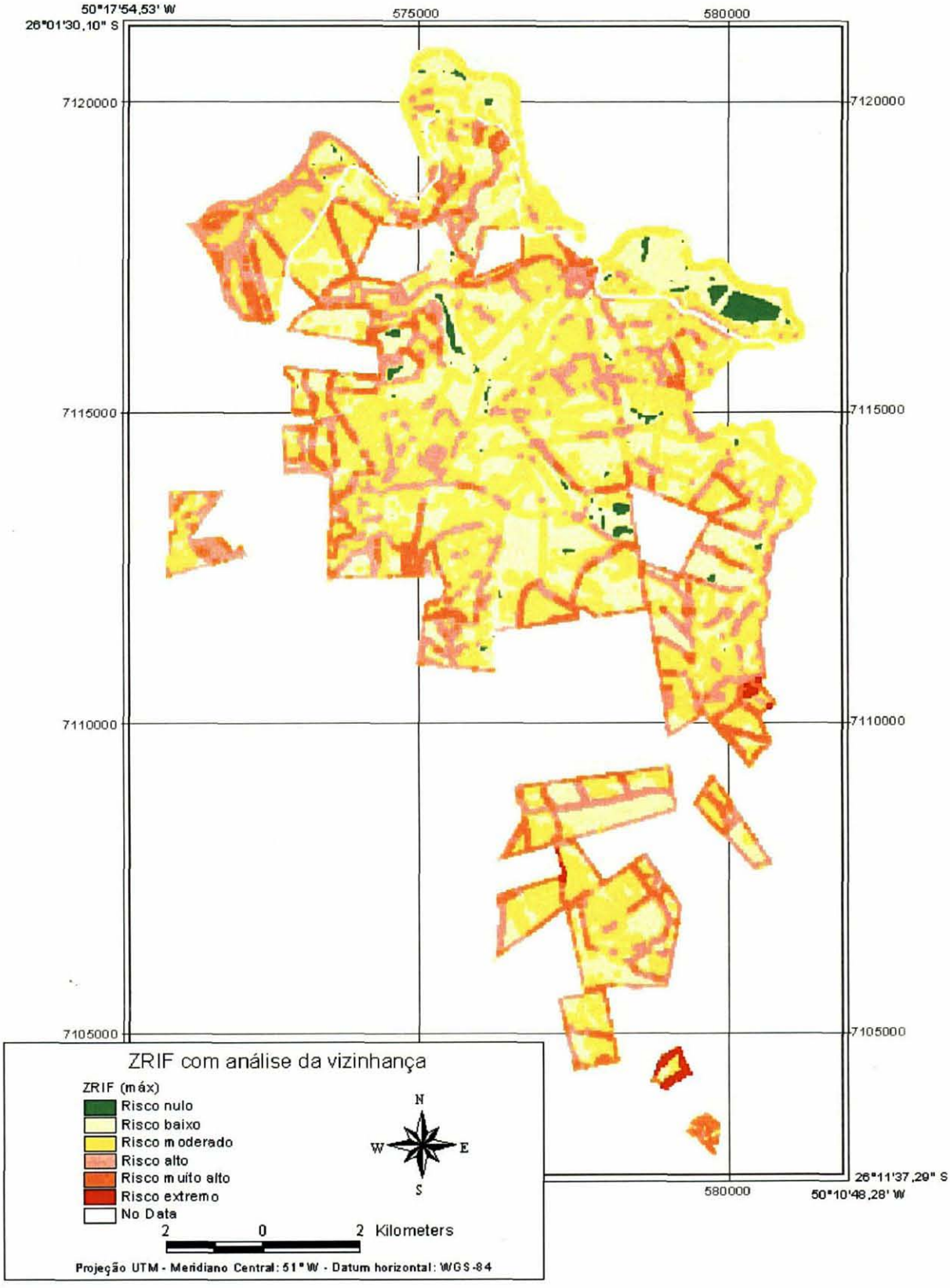
4.8 ANÁLISE DA VIZINHANÇA

A aplicação da funcionalidade SIG **filtragem** ao mapa integrado (Figura 25) permitiu a análise do efeito da vizinhança sobre o risco em cada unidade de análise. O resultado é apresentado na Tabela 24 e na Figura 29:

TABELA 24 – ÁREAS SEGUNDO CADA CLASSE DE RISCO DE ACORDO COM O MAPA INTEGRADO COM A ANÁLISE DO EFEITO DA VIZINHANÇA

RISCO	ÁREA		
	(ha)	%	% Acumulada
Nulo	79,25	1,3	1,3
Baixo	1654,32	26,1	27,4
Moderado	2401,31	38,0	65,4
Alto	1431,83	22,6	88,0
Muito alto	732,14	11,6	99,6
Extremo	27,15	0,4	100

FIGURA 29 - ÁREAS SEGUNDO CADA CLASSE DE RISCO DE ACORDO COM O MAPA DE INTEGRADO COM A ANÁLISE DO EFEITO DA VIZINHANÇA



Estes resultados indicam que a análise do efeito da vizinhança contribuiu para aumentar a área classificada como **risco moderado, alto, muito alto** e **extremo**. A maior parte da área (38%) foi classificada como risco moderado. Na Figura 29, observou-se que as zonas de risco se tornaram mais homogêneas, pois avaliou-se a influência das unidades de análise vizinhas sobre o risco de incêndio em cada unidade. Analisando a Figura 29 pode-se afirmar que a área de estudo caracterizou-se por apresentar extensas zonas de risco de incêndio **baixo** a **moderado** (64,2%), entremeadas por manchas de **risco alto** (22,6%).

Na região do Parque Ecológico Schuartz (Figura 30) se concentrou uma zona de perigo alto a muito alto. As situações de risco moderado ocorreram em geral ao longo de estradas e rios, sendo influenciadas pela presença humana. Outras áreas classificadas como risco moderado se concentraram em áreas que sofreram corte raso (Figura 31). Manchas de risco alto a extremo foram observadas nos limites da propriedade (Figura 32), onde os talhões estão inseridos entre propriedades limítrofes como no caso da Região 04 e onde ocorrem construções.

FIGURA 30 - DETALHE DA ÁREA DO PARQUE SCHUARTZ

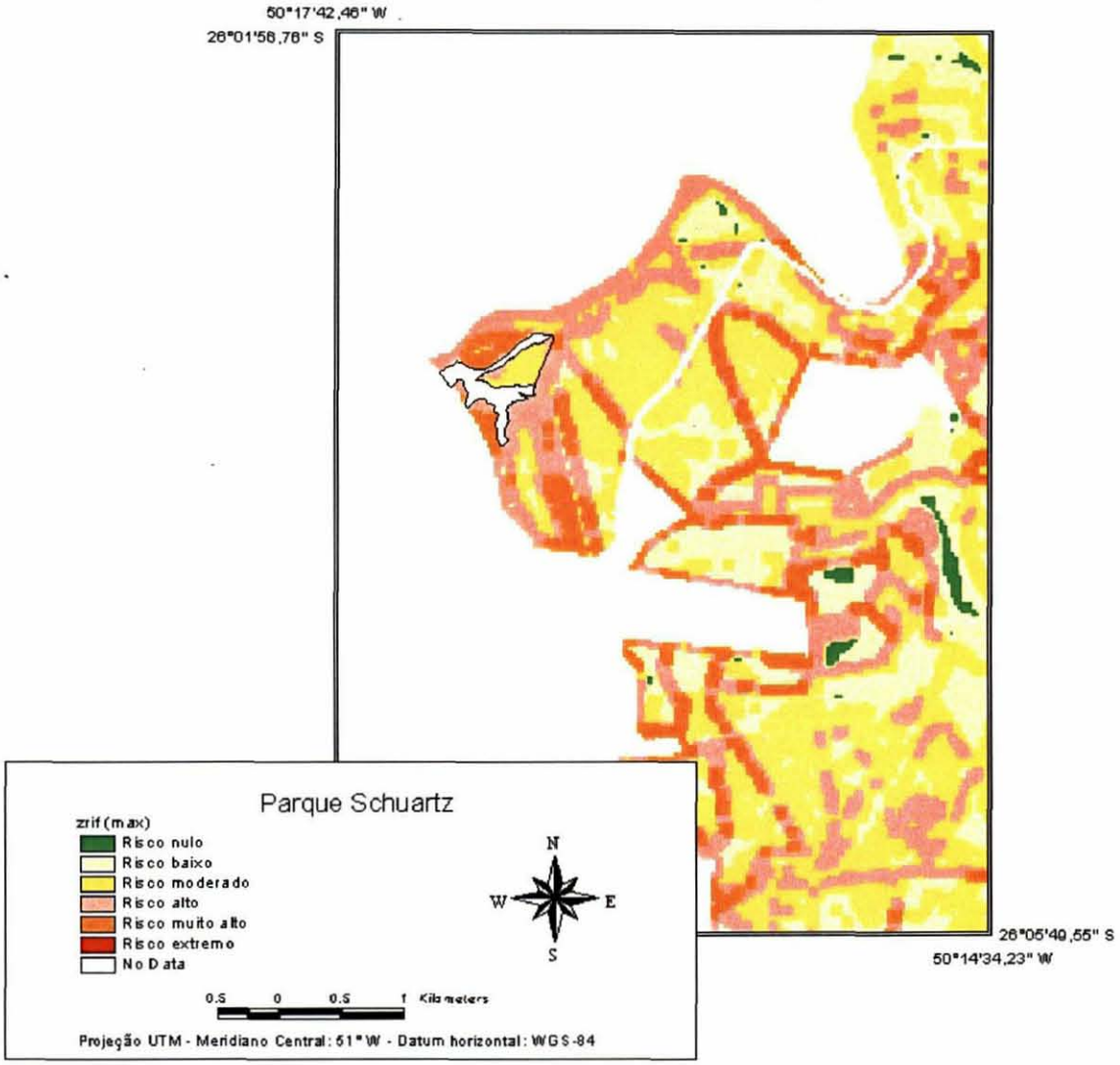


FIGURA 31 - DETALHE DE ÁREA DE CORTE RASO

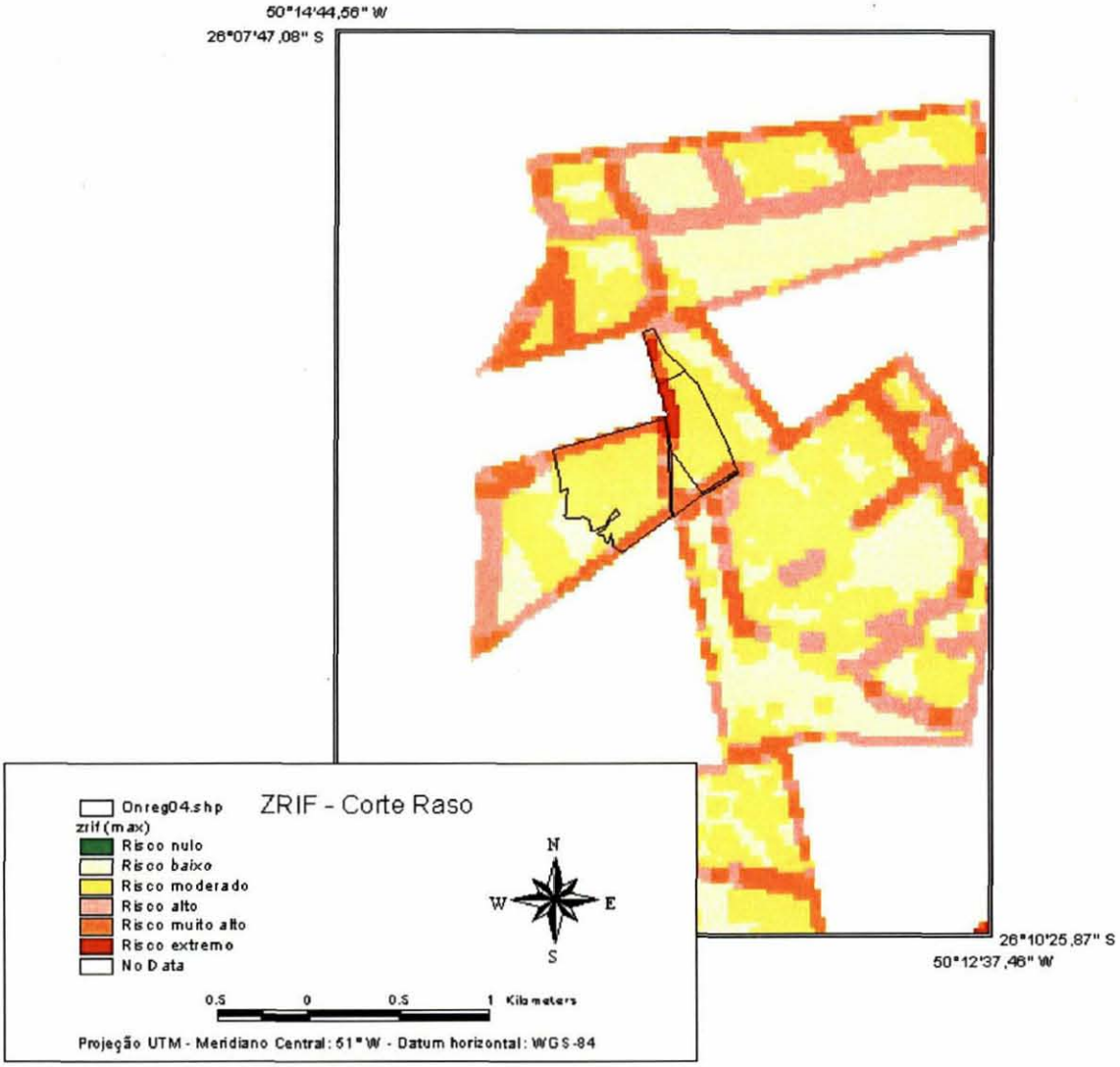
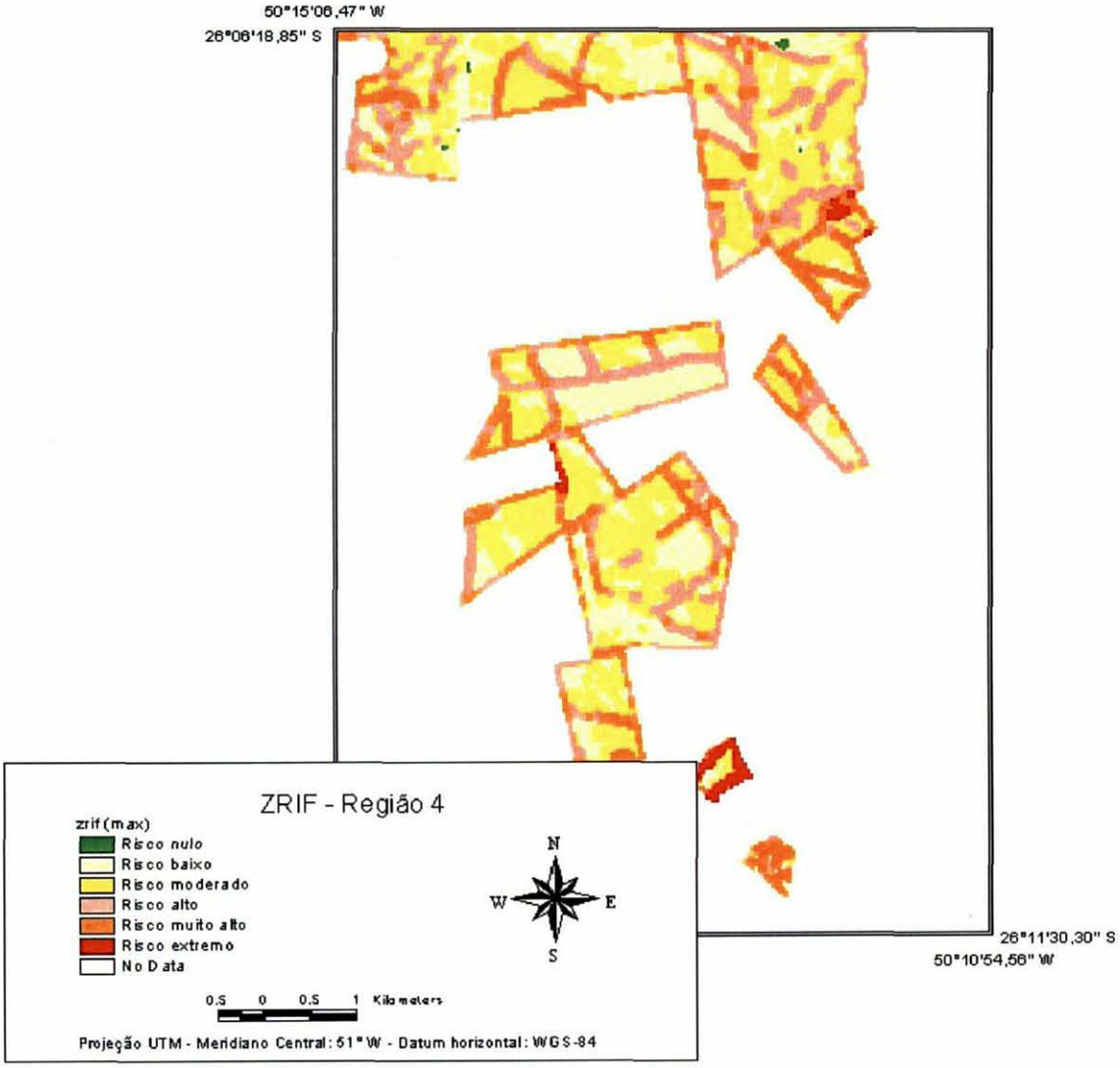


FIGURA 32 - DETALHE DA REGIÃO 4 - PAUL



As classes de risco nulo correspondem em geral a áreas com baixa declividade, exposição sul, sem cobertura vegetal e sem material combustível, sem a influência da circulação humana e em direções nas quais os ventos não são freqüentes.

As zonas classificadas como risco extremo foram aquelas onde as condições de presença de agentes de ignição e vulnerabilidade do ambiente são mais propícias ao início e propagação de incêndio do que uma zona de baixo risco.

4.9 ZONEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL

Na Tabela 25 estão apresentados os resultados referentes ao risco de incêndio em função do tipo de uso do solo. Estes resultados foram obtidos considerando o mapa de risco apresentado na Figura 25.

As áreas ocupadas com pinus, eucalipto e araucária, tiveram aproximadamente 60% de sua área total classificada como risco baixo. Por outro lado é importante ressaltar que as áreas com pinus e eucalipto formam cerca de 65% de toda a propriedade e tem alto valor econômico. As áreas ocupadas com araucária, por outro lado, têm mais valor ecológico pois integram a área de preservação permanente da propriedade. Já as áreas ocupadas por corte raso, construções e estradas tiveram aproximadamente 55% de suas áreas classificadas como risco moderado. No caso das áreas de corte raso, observou-se a influência da alta carga de combustíveis perigosos e semi-perigosos. No caso das outras áreas, o risco mais alto se deve à circulação humana. As áreas não mecanizáveis e as áreas disponíveis para o plantio tiveram cerca de 60% da área total classificada como risco baixo. Entretanto, vale lembrar que para esta categoria não foi estudada a carga de material combustível em função da grande variabilidade da vegetação ocorrente nestas áreas.

TABELA 25 – DISTRIBUIÇÃO DE ÁREAS EM RISCO POR TIPO DE FORMAÇÃO VEGETAL

CLASSE		RISCO (%)					
		Nulo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	Extremo
Povoamentos, áreas experimentais e pomares de sementes	Pinus	2,9	62,4	27,0	6,4	1,2	0,1
	Araucária	1,0	63,7	28,5	6,0	0,8	0,0
	Eucalipto	17,8	58,1	18,9	4,6	0,6	0,0
Corte raso	Pinus	0,4	23,1	54,4	17,0	4,7	0,4
Preservação permanente		32,1	44,7	15,1	7,1	1,0	0,0
Áreas não mecanizáveis e disponíveis para plantio		61,2	35,4	2,9	0,5	0,0	0,0
Construções		0,7	6,7	49,6	40,8	2,2	0,0
Estradas e aceiros		1,7	16,8	54,1	25,0	2,2	0,2

Analisando as áreas de risco em relação às regiões administrativas que compõem a área de estudo (Tabela 26) observou-se que a única região que possui áreas de risco extremo é a Região 4 - Paul, mais exposta as atividades do entorno.

TABELA 26 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE RISCO EM RELAÇÃO AS REGIÕES ADMINISTRATIVAS

RISCO	REGIÕES (%)				
	Paredão	Duas Barras	Paul	Bugre	Diva Costa
Nulo	6,8	10,3	4,6	12,6	13,7
Baixo	47,8	62,6	51,1	61,6	52,2
Moderado	31,7	21,7	30,0	22,0	24,3
Alto	11,7	5,1	11,0	3,5	8,7
Muito alto	2,0	0,3	2,8	0,3	1,1
Extremo	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0

As zonas classificadas como risco alto, muito alto e extremo devem ser objeto de ações prioritárias de controle e prevenção aos incêndios. A área de risco extremo se concentrou no Paul, representando apenas 0,5% da região administrativa e 0,1% da área estudada. A concentração de aproximadamente 88,0% da área de estudo como risco nulo a moderado já era esperada pelas condições topográficas. Apesar de 50% dos limites da área de estudo estarem em contato com outras propriedades, a diminuição das atividades que usam o fogo reduzem bastante o risco, sendo que a maioria das causas dos incêndios registrados na RIGESA de 1984 a 2001 foi devido

aos incendiários que, segundo SALAS e CHUVIECO (1994) e HEIKILLÄ, GRÖNQVIST e JURVÉLIUS (1993) não tem um padrão reconhecível de atuação, muito embora as demais ocorrências devido à ação humana já têm padrões bastante estudados (CHOU; MINNICH; CHASE 1993; VEGA-GARCIA et al., 1995; ALCÁZAR et al., 1998; LANGHART; BACHMANN; ALLGÖVER, 1998; CHATTO, 1998; PEW; LARSEN, 2001).

Na Tabela 27 estão apresentados os resultados referentes ao risco de incêndio em função do tipo de uso do solo, considerando o mapa de risco com análise da vizinhança apresentado na Figura 29.

TABELA 27 – DISTRIBUIÇÃO DE ÁREAS EM RISCO POR TIPO DE FORMAÇÃO VEGETAL CONSIDERANDO O EFEITO DA VIZINHANÇA

CLASSE		RISCO (%)					
		Nulo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	Extremo
Povoamentos, áreas experimentais e pomares de sementes	Pinus	0,0	25,7	42,4	20,4	11,2	0,3
	Araucária	0,0	26,1	37,9	24,9	11,1	0,0
	Eucalipto	3,4	36,5	24,7	25,5	9,9	0,0
Corte raso	Pinus	0,0	1,6	48,8	16,4	26,9	6,3
Preservação permanente		2,2	35,2	38,8	18,8	4,8	0,2
Áreas não mecanizáveis e disponíveis para plantio		17,0	55,0	23,0	4,1	0,9	0,0
Construções		0,0	0,0	28,5	53,1	18,4	0,0
Estradas e aceiros		0,0	2,5	22,8	46,9	26,9	0,9

Estes resultados indicaram um aumento nas áreas classificadas como **risco moderado**, **alto** e **muito alto**, por outro lado, observou-se uma diminuição nas áreas classificadas como **risco nulo** e **baixo**. O mesmo efeito foi observado a partir da análise das áreas de risco segundo cada região administrativa (Tabela 28).

TABELA 28 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE RISCO EM RELAÇÃO ÀS REGIÕES ADMINISTRATIVAS CONSIDERANDO O EFEITO DA VIZINHANÇA

RISCO	REGIÕES (%)				
	Paredão	Duas Barras	Paul	Bugre	Diva Costa
Nulo	0,8	0,6	0,0	2,4	0,4
Baixo	19,7	34,3	22,8	32,5	22,2
Moderado	35,4	39,9	30,6	43,8	36,4
Alto	28,6	17,4	23,2	16,2	30,9
Muito alto	15,5	7,8	21,1	5,1	10,1
Extremo	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0

O tipo de atividade comercial da RIGESA exige que seus povoamentos e pomares de sementes sejam protegidos do fogo incessantemente devido aos valores econômicos agregados, sem considerar que a perda de florestas, além dos fatores comerciais, implica na redução de áreas para recreação, modificações na qualidade de água e alteração da biodiversidade local. Isto indica que para fins práticos de planejamento e manejo do risco de incêndio florestal o ZRIF com o efeito da vizinhança é mais conveniente, pois amplia as áreas em risco criando uma margem de segurança ao redor de áreas de maior risco.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com este estudo permitem concluir que:

1. Os incêndios registrados na RIGESA no período de 1984 a 2001 ocorreram devido à ação direta ou indireta do homem.

2. A presença humana demonstrou que apenas 27,5% da área sofreu influência das atividades antrópicas, sendo que 12,4% compreendeu áreas internas a propriedade e 15,0% a áreas que estão em contato com propriedades limítrofes.

3. Em função da cobertura vegetal existente, cerca de 66% da área foi classificada como **risco extremo**, correspondendo às áreas ocupadas por plantios de pinus; 8,7% foi classificada como **risco alto** correspondendo a áreas ocupadas por eucalipto e 7,7% da área foi classificada como risco nulo em função da ausência de vegetação.

4. Segundo a carga de material combustível depositado no piso da floresta, cerca de 38,7% da área apresentou **risco alto** e aproximadamente 50% **risco moderado**.

5. A declividade nesta região não foi um fator de influência significativa para o comportamento do fogo, pois a maior parte da área (99,6%) correspondeu às classes de **risco nulo** e **risco baixo**.

6. As áreas que apresentaram maior risco foram as encostas voltadas para as direções N (**extremo**), NW e W (**muito alto**) e NE (**alto**), correspondendo a 55% da área total.

7. Os ventos NE e NW são bastante freqüentes na estação normal de incêndios e possuem características aparentemente mais secas, influenciando cerca de 25,2% da área total, enquanto que os ventos SE e SW apresentam características aparentemente mais úmidas e influenciam cerca de 14,5% da área.

8. O zoneamento de risco obtido a partir da integração dos mapas preliminares é muito sensível aos parâmetros ambientais utilizados na análise de risco e aos pesos atribuídos para cada um deles, pois através da aplicação de diferentes modelos de ponderação obtém-se diferentes resultados.

9. A aplicação do modelo de ponderação proposto indicou que a maioria da área apresentou **risco baixo** (50,7%) ou **moderado** (29,2%).
   - Com o uso do modelo proposto por SALAS e CHUVIECO (1994) 23,7% da área apresentou **risco moderado**, 41,4% **alto** e 22,7% **muito alto**;
   - Com os pesos adotados por FERRAZ e VETTORAZZI (1998) 34,3% da área apresentou **risco moderado** e 37,5% **risco alto**.

10. O melhor modelo de ponderação é aquele definido de acordo com as condições de ocorrência de incêndios locais, e que considera a importância de cada variável em função do meio em estudo, neste caso o modelo de ponderação proposto.

11. A aplicação da funcionalidade SIG de filtragem contribui para o aumento da área classificada como risco alto, muito alto e extremo, entretanto, julga-se que o mapa resultante é mais adequado para fins práticos, pois mostra zonas de risco mais homogêneas e cria zonas de segurança ao redor das áreas de mais alto risco.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados e conclusões deste trabalho, recomenda-se que:

- O histórico das ocorrências seja utilizado para a avaliação dos parâmetros ambientais efetivamente envolvidos nos processos de combustão observados, bem como sejam utilizados para a análise da contribuição de cada parâmetro sobre a ignição e propagação de incêndios;

- Nos registros de incêndio sejam incluídos o ponto de início do incêndio, a distância às estradas mais próximas ou outros indicativos da presença humana na região. Além disso, convém lembrar a importância do correto preenchimento dos

registros, porque eles são a base para o plano de prevenção de incêndios, incluindo-se neste o Zoneamento de Risco de Incêndio Florestal;

- Os incêndios ocorridos nas imediações da propriedade devem ser registrados com o mesmo critério e devem fazer parte do histórico de ocorrências;

- Deve haver um reforço nas ações preventivas (educação, vigilância, divulgação do grau e zona de risco e coação de infratores), pois a maioria dos incêndios observados foram devidos à presença humana;

- Atualizar periodicamente os mapas de risco preliminares, de preferência antes do início da estação normal de incêndios, porque o zoneamento está fundamentado sobre variáveis que se modificam no tempo, como a cobertura vegetal e a carga de material combustível, por exemplo. As atividades de atualização e revisão garantem a confiabilidade dos resultados encontrados;

- Revisar periodicamente os coeficientes de correlação atribuídos como pesos para as diferentes variáveis, porque as condições de risco podem se modificar por causa da dinâmica do ambiente, ações preventivas e alterações no uso do solo. Esta revisão consiste na análise das futuras ocorrências de incêndio e do registro das ações de prevenção, tais como manejo da quantidade de material combustível depositado, tipo de uso do solo e vigilância;

- Inserir fatores temporais no banco de dados que permitam a visualização de cenários futuros de risco de incêndio na região;

- O critério para a coleta e manipulação dos dados de entrada para a execução do zoneamento de risco de incêndios deve ser igual ao critério desejado para as informações que serão extraídas do mapa final. A distribuição espacial das zonas de risco de incêndio é tão confiável quanto a qualidade e atualidade dos dados espaciais e alfa-numéricos utilizados para a sua criação e tem validade definida para um determinado período de tempo;

- Desenvolver novas pesquisas que considerem a inserção de outras variáveis, como valores em risco, outros indicativos meteorológicos como índices de risco calculados a partir de um maior número de estações meteorológicas; a

probabilidade de ocorrência de incêndio e o comportamento do fogo dada as condições ambientais existentes; o desenvolvimento de aplicativos para facilitar a execução do zoneamento de risco, simuladores do comportamento do fogo e de condições futuras como os sistemas *Fireline*, *Fire!* e *GeoMAC*, inclusive prevendo a sua utilização *on-line* através da Internet.

6 REFERÊNCIAS

ALCÁZAR, J. et al. Human risk and fire danger estimation through multicriteria evaluation methods for forest fire prevention in Barcelona, Spain. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOREST FIRE RESEARCH, 3.; CONFERENCE ON FIRE FOREST METEOROLOGY, 14., 1998, Coimbra. **Anais...** Lisboa: ADAI - University of Coimbra, 1998. p. 2379-2387.

ALMEIDA, R. **Forest fire risk areas and definition of the prevention priority planning actions using GIS**. Disponível em: <wwwsgi.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/egis/eg94193.html> Acesso em: 15 jun. 2000.

ANDERSON, H. E. **Aids to determining fuel models for estimating fire behavior**. Washington: U.S.D.A Forest Service, 1982. (General Technical Report INT-122).

BACHMANN, A. **The need for a consistent wildfire risk terminology**. Disponível em < www.nifc.gov/joint_fire_sci/conferenceproc/HR-01Bachmannetal.pdf > Acesso em 19 set. 2001.

BACHMANN, A.; ALLGÖWER, B. Framework for wildfire risk analysis. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOREST FIRE RESEARCH, 3.; CONFERENCE ON FIRE FOREST METEOROLOGY, 14., 1998, Coimbra. **Anais...** Lisboa: ADAI - University of Coimbra, 1998. p. 2177-2190.

BARDAN, J. Forest fires in countries of northern, eastern and central Europe. In: NAO, T. van. **Forest fire prevention and control**. The Hague: Martinus Nijhoff, 1982. p. 21-36.

BATISTA, A. C. **Incêndios florestais**. Recife: Imprensa Universitária UFRPE, 1990.

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

BURGAN, R. E.; SHASBY, M. B. Mapping Broad-Area Fire Potencial From Digital Fuel, Terrain, and Weather Data. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 82, n. 4, p. 228-231, abr. 1984.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assesment**. Oxford: Clarendon, 1986.

BURROUGH, P. A. Environmental modeling with geographical information systems. In: KEMP, Z. **Innovations in GIS 4**. London: Taylor & Francis, 1997. p. 143-153.

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

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Brasília: Embrapa, 1994.

CASTAÑEDA, A. Zonificacion para el manejo de incendios en plantaciones forestales en Colombia. **Boletin de Proteccion Forestal**, Colombia, n. 2, p. 38-46, abr. 1997.

CHANDLER, C. et al. **Fire in forestry**: forest fire behavior and effects. New York: J. Wiley, 1983.

CHATTO, K. Development of a wildfire threat analysis model for South-eastern Australia. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOREST FIRE RESEARCH, 3.; CONFERENCE ON FIRE FOREST METEOROLOGY, 14., 1998, Coimbra. **Anais...** Lisboa: ADAI - University of Coimbra, 1998. p. 2243-2254.

CHHETRI, D.B. **Seasonality of forest fire in Bhutan**. Disponível em: < www.ruf.uni-freiburg.de/fireglobe/ > Acesso em: 13 jun. 2000.

CHOU, Y. et al. Spatial autocorrelation of wildfire distribution in the Idyllwild Quadrangle, San Jacinto Mountais, 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 Montains, California, USA. **Environmental Management**, New York, v. 17, n. 1, p. 129-140, 1993.

CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G. Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 29, p. 147-159, 1989.

ESTUDO da biomassa e do mercado de energéticos de produtos florestais no sudeste paranaense. Curitiba: COPEL, 1985. p. 187-195.

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

DROLET B., O sistema de proteção às florestas contra o fogo em Québec. In: SEMINÁRIO SUL-AMERICANO SOBRE CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 1.; REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA SIF/FUPEF/IPEF SOBRE CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 5., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 111-136.

DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise protéica de uma floresta ombrófila mista em São João do Triunfo – PR**. Curitiba, 1999. 185 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

EKLUND, P. W.; KIRKBY, S. D. **FireMaster system**. Disponível em: < hal.eas.gu.edu.au/kvo/presentations/it/ema.html > Acesso em: 18 jun. 2000.

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

FLOSS, P. A.; CALDATO, S. L.; BOHNER, J. A. M. Produção e decomposição de serapilheira na Floresta Ombrófila Mista da Reserva Florestal da Epagri/Embrapa de Caçador, SC. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 12, n. 2, jun. 1999.

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.

GAYLOR, H. P. **Wildfires**: prevention and control. Bowie: Prentice-Hall, 1974.

GETTER, J. R. Wildfire Hazard Classification Mapping For Suburban Land Use Planning. **Fire Management Notes**, Washington, v. 37, n. 3, p. 4-5, 1976.

GOLDAMMER, J. G. Forest fires problems in the Federal Republic of Germany. In: NAO, T van. **Forest fire prevention and control**. The Hague: Martinus Nijhoff, 1982a. p. 143-147.

GOLDAMMER, J. G. **Incêndios florestais**: prevenção, controle e uso do fogo. Irati: Colégio Florestal, 1982b.

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

GREEN K. et al. Using GIS to predict fire behavior. **Journal of Forestry**, Bethesda, p. 21-25, 1995.

HAURWITZ B.; AUSTIN, J. M. **Climatology**. New York: McGraw-Hill Book, 1944, p. 157-175.

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

HENDRIX, C.; COEN, J. New techniques seek to extinguish wildfire risks. **Imaging Notes**, Colorado, p. 22-23, 2001.

INOUE, M. T.; RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S. **Projeto madeira do Paraná**. Curitiba, FUPEF, 1984.

ISSO e PACIFIC MERIDIAN RESOURCES. **Isso Ships its Fireline data with Pacific Meridian's Book**. Disponível em: < www.pacificmeridian.com/new/ isoPR.html > Acesso em: 11 mai. 2000.

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).

JOHNSON, K. N. et al. Integrating Wildfire into Strategic Planning for Sierra Nevada Forests. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 96, n. 1, p. 42-49, jan. 1998.

KAUFFMAN, J. B.; UHL, C. Anthropogenic activities and fire in the Amazonian Rain Forets. In: GOLDAMMER, J. G. **Fire in the tropical biota**: ecosystem process and global challenges. Berlin: Springer-Verlag, 1990. p.117-134.

KOEHLER, J.H. et al. **Quantificação de resíduos de exploração em povoamentos de *Pinus taeda Lineu* através do método de interseção**. Disponível em: < http://200.17.237.141/online/ > Acesso em: 27 mai. 2000.

KRAPFENBAUER, A.; ANDRAE, F. Inventário de um reflorestamento de Araucária de 17 anos em Passo Fundo – RS. In: ANDRAE, F.H. **Pesquisas austro-brasileiras 1973-2000 sobre *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus limbertii* e *Eucalyptus saligna***. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1983. p. 16-29.

KUNTZ, S.; KARTERIS, M. Fire Risk Modelling Based on Satelite Remote Sensing and Gis. In: INTERNATIONAL WORKSHOP SATELLITE TECHNOLOGY AND GIS FOR MEDITERRANEAN FOREST MAPPING AND FIRE MANAGEMENT, 1993, Thessaloniki. **Anais...** Thessaloniki: European Commission DG XIII, 1994. Disponível em: < www.kayser-threde.de/ceo/fire/fireart.htm > Acesso em: 30 abr. 2000.

LANGHART, R.; BACHMANN, A.; ALLGÖVER, B. Temporal and spatial patterns of wildfire occurrence (Canton of Grison, Switzerland). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOREST FIRE RESEARCH, 3.; CONFERENCE ON FIRE FOREST METEOROLOGY, 14., 1998, Coimbra. **Anais...** Lisboa: ADAI - University of Coimbra, 1998. p. 2279-2292.

LIMA, G. S. **Avaliação da eficiência do combate aos incêndios florestais no Brasil**. Curitiba, 1991. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras** – manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil: v. 1-2. Nova Odessa: Plantarum, 1992.

MACEDO, F. W.; SARDINHA A. M. **Fogos florestais**: v. 2. Coimbra: Publicações Ciência e Vida, 1987. p. 89-111.

MCARTHUR, A. G. **Control burning in eucalypt forests**. Canberra: Commonwealth of Australia Forestry and Timber Bureau, 1962.

NUÑEZ-REGUEIRA, L.; AÑÓN, R.; CASTIÑEIRAS, J. P. Design of risk index maps as a tool to prevent Forest fires in the northern coast of Galicia (N.W. Spain). **Bioresource Technology**, Essex, v. 69, p. 23-33, 1999.

NUÑEZ-REGUEIRA, L.; CASTIÑEIRAS, J. P.; AÑÓN, J. A. R. Desing index maps as a tool to prevent forest fires in the hill-side zone of Galicia (NW Spain). **Bioresourse Technology**, Essex, v. 73, p. 123-131, 2000.

PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **Madeiras nativas**: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso. Brasília: Fundação Mokiti Okada, 1997.

PEW, K. L.; LARSEN, C. P. S. GIS analysis of spatial and temporal patterns of human-caused wildfires in the temperate rain forest of Vancouver Island, Canada. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 140, p. 1-18, 2001.

POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z. Biomass and nutrient estimates in short rotation intensively cultured plantation of *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 23, p. 37-42, 1983.

POGGIANI, F. et al. Exportação de biomassa e nutrientes através da explotação dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalypstus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, v. 25, p. 37-39, 1983.

PYNE, S. J. **Introduction to wildland fire**: fire management in the United States. New York: J. Wiley, 1984.

REGO, F. C.; BOTELHO, H. S. **A técnica do fogo controlado**. Trás-os-montes: Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro, 1990.

REIS, M. das G. F. et al. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no Cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 9, n. 2, p. 149-162, 1985.

REITZ, P.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Herbário Barbosa Rodrigues, 1988.

RIBEIRO, G. A. **Estudo do comportamento do fogo de alguns efeitos da queima controlada em povoamentos de *Eucalyptus viminalis* labill em Três Barras, Santa Catarina**. Curitiba, 1997. 145 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ROTHERMEL, R. C. How to predict the spread and intensity of forest and range firs. Ogden, UT: USDA, Forest Service, Intermontain Forest and Range Experiment Station, 1983. (**General Techical Report** INT-143) 1982.

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

SAWINSKY JR., J. **Rentabilidade econômica comparativa entre pinus, eucalipto, erva-mate e as principais culturas agrícolas da micro-região de Canoinhas-SC**. Curitiba, 2000. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

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

SCHUMACHER, M. V. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes no primeiro desbaste de uma floresta de *Araucaria angustifólia* (Bertoloni) Otto Kuntze, na região de Quedas do Iguaçu-PR**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 36 p. Relatório Técnico.

SHOW, S. B.; CLARKE, B. **Elements of forest fire control**. Roma: FAO, 1953. p. 18-19, 33.

SMITH, D. T. **Mapping the bushfire danger of Hobart**: Australian Bushfire Conference, Albury. Disponível em: <http://life.csu.edu.au/bushfire99/contents.html > Acesso em: 28 mai. 2000.

SNEEUWJAGT, R. Application of wildfire threat analysis in south-western forest of Western Autralia. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOREST FIRE RESEARCH, 3.; CONFERENCE ON FIRE FOREST METEOROLOGY, 14., 1998, Coimbra. **Anais...** Lisboa: ADAI - University of Coimbra, 1998. p. 2155-2176.

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: FUPEF, 1985.

SOARES, R. V. **Perfil dos incêndios florestais no Brasil, de 1984 a 1987**: relatório final. Curitiba: FUPEF, 1989.

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

SOARES, R. V. Planos de Proteção contra Incêndios Florestais. In: REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA FUPEF/SIF/IPEF, 4.; CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 2., 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1996. p. 144-146.

SOARES, R. V. Ronaldo Viana Soares. **Ação Ambiental**, Viçosa, n. 12, jun./jul. 2000. p. 5-7. Entrevista concedida a Fernando Campos.

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

SOUSA, C. et al. **Relatório do Projeto de Cartografia de Risco de Incêndio Florestal - CRIF 2ª Fase**. Disponível em: < www.terravista.pt > Acesso em: 17 abr. 2000.

SOUZA, L. J. B. **Modelagem de material combustível em plantações de *Pinus taeda L.* e *Eucalyptus dunnii Maiden***. Curitiba, 2000. 127 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva**: fundamentos e aplicações brasileiras. Botucatu: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 1992.

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

VEGA-GARCIA, C. et al. A logit model for predicting the daily occurrence of human caused forest fires. **International Journal of Wildland Fire**, Colorado, p. 101-111, 1995.

VÉLEZ, R. Forest fires in the Mediterranean region. In: NAO, T. van. **Forest fire prevention and control**. The Hague: Martinus Nijhoff, 1982. p. 37-51.