



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

GLADIS DE FÁTIMA NUNES DA SILVA

PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS E ANÁLISE ESPACIAL PARA O
ESTUDO DA SUSCEPTIBILIDADE A INCÊNDIOS FLORESTAIS NAS REGIÕES
DO APIAÚ E RIBEIRO CAMPOS - RR

BOA VISTA

2006

GLADIS DE FÁTIMA NUNES DA SILVA

**PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS E ANÁLISE ESPACIAL PARA O
ESTUDO DA SUSCEPTIBILIDADE A INCÊNDIOS FLORESTAIS NAS REGIÕES
DO APIAÚ E RIBEIRO CAMPOS - RR**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Recursos Naturais do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais - PRONAT da Universidade Federal do Roraima como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais, com área de concentração em Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas.

Orientador: Prof. Dr. Renato Augusto Evangelista de Oliveira

BOA VISTA

2006

GLADIS DE FÁTIMA NUNES DA SILVA

**PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS E ANÁLISE ESPACIAL PARA O
ESTUDO DA SUSCEPTIBILIDADE A INCÊNDIOS FLORESTAIS NAS REGIÕES
DO APIAÚ E RIBEIRO CAMPOS - RR**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora como pré- requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, com área de concentração em Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas.

Dr. Renato Augusto Evangelista de Oliveira
Orientador

Dr. João Roberto dos Santos
Membro

Dr. Reinaldo Imbrósio Barbosa
Membro

Dr. Stélio Soares Tavares Junior
Membro

DEDICATÓRIA

*A meus pais e irmãos pelo carinho,
Ao meu amado esposo pela compreensão.
Dedico com gratidão.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais - PRONAT da Universidade Federal de Roraima - UFRR, pelo conhecimento e suporte prestado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo incentivo à pesquisa no Estado de Roraima.

Aos orientadores, Dr. Renato Augusto Evangelista de Oliveira e Dr. Stélio Soares Tavares Júnior, por todo o apoio, paciência e ensinamentos prestados durante todas as etapas deste trabalho.

Aos pesquisadores da EMBRAPA-RR, MSc. Maristela Ramalho Xaud, MSc. Moisés Mourão Júnior e MSc. Haron Abrahim Xaud, pelas sugestões e críticas, imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Ao Governo do Estado de Roraima, na pessoa do Sr. Clidenor Andrade Leite, pelo apoio logístico na etapa de trabalho de campo.

À todos os Dirigentes das Instituições que colaboraram fornecendo dados e materiais para elaboração do trabalho.

Aos colegas de turma, em especial, à Ozimar Coutinho, Rosy Antony, Diane Esbell, pelo importante incentivo para a finalização deste trabalho.

À meus pais, Antonio Costa da Silva e Maria Nunes da Silva, pelo constante apoio ao longo de minha vida e pelo amor, que nunca me faltaram.

À meu amado esposo, pelo carinho, apoio e auxílio constante.

EPÍGRAFE

Brasil: um país lindo com nome de árvore O Pau - Brasil é hoje uma raridade. O Brasil era um paraíso, um país mateiro, grande Nação Florestal. Floresta com onça, anta, macuco, madeiras preciosas que nem foram utilizadas, mas queimadas, as queimadas que começavam em Minas e iam, até as praias do Espírito Santo. Queimar; fogo, sempre fogo na fabricação demente, insana, do deserto. Depois vinha a chuva e carregava os restos e vinha o sol e cozinhava o chão. Ao lado a voçoroca, o buracão profundo. Insensatos. A superfície da terra virou uma moringa, uma telha. Amanhece no interior do Boeing Jumbo 747 da Varig. Lá embaixo Minas, Zona da Mata. Não tem mais mata. Estamos chegando....cadê a Floresta Atlântica? E a terra despencando morro abaixo. Um compatriota sentado ao meu lado me diz: os americanos já destruíram suas matas, seus índios; nós temos os mesmos direitos... Meu Deus, o que os índios pensarão disto, o que as árvores pensarão disto? Chico Mendes falou na TV americana em bom português: Vão me matar, não mandem flores, deixem as flores vivas na floresta.

(Tom Jobim)

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade analisar os fatores ambientais que contribuem para a ocorrência dos incêndios florestais nas localidades de Apiaú e Ribeiro Campos em Mucajá - RR com o emprego de técnicas de processamento de imagens digitais e análise espacial através da técnica *Analytical Hierarchy Process* (AHP). O modelo probabilístico evidenciou que em Ribeiro Campos e Apiaú, a condição de ocorrência e risco de incêndios é mais propícia no mês de fevereiro devido aos reduzidos índices pluviométricos, em áreas de relevo plano e próximo a vias de acesso de primeira ordem ou “troncos” em razão da maior antropização. Com o objetivo de analisar que fatores ambientais contribuem para os incêndios florestais e identificar áreas susceptíveis em uma única imagem utilizou-se a integração de dados digitais via técnica de integração IHS entre os dados de sensoriamento remoto e mapas temáticos. Os produtos integrados permitiram a interpretação da variação temática dos fatores ambientais declividade, umidade do material combustível, número de dias sem chuva, distância das estradas e risco dos focos de calor, correlacionados espacialmente e espectralmente com as feições fisiográficas das áreas (solo, vegetação e relevo), bem como com feições antropizadas em um só produto. Os mapas finais referentes à susceptibilidade a incêndios florestais gerados a partir da AHP demonstraram que há poucas áreas apresentando alta susceptibilidade em Apiaú e Ribeiro Campos.

Palavras-chave: Floresta tropical, sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas, monitoramento e Amazônia.

ABSTRACT

This study has forest analyzes the environmental factors which contribute to the occurrence of the environmental fires in Apiaú and Ribeiro Campos localities in Mucajái – RR with the employment of image processing techniques and space analysis through the *Analytical Hierarchy Process (AHP)* technique. The probabilistic model of both occurrence and risk of fires evidenced that in Ribeiro Campos and Apiaú the condition of the occurrence and risk of the fires is more propitious in February due to the reduced pluviometric indexes, in the plan relief areas and near to access ways of prime order or “roads” because of the biggest antropization. With the objective of analyzing which environmental factors contribute to the forest fires and identify susceptible areas in a unique image, it was utilized the integration of digital data through the HIS integration technique between the remote sensorial data and thematic maps producing images which possibility the analysis of all environmental factors considerate in the identification of the susceptibility to the forest fire occurrence. The integrated products allow the interpretation of the thematic variation of the environmental factors declivity, humidity of the fuel material, number of no rainy days, distance of the roads and risks of heat focuses, correlated specially and spectrally to the physiographic feature of the areas such as: soil, relief vegetation, as well as antropized features in just one product. The final maps referring to the susceptibility to forest fire generated from the AHP demonstrated that there are few areas with high susceptibility in Apiaú and Ribeiro Campos.

Key words: Tropical rain forest, remote sensing, geographic information system, monitoring and Amazon.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Classificação e características dos materiais combustíveis.....	19
Tabela 2-	Escala de valores AHP para comparação pareada.....	32
Tabela 3-	Características das imagens orbitais utilizadas.....	40
Tabela 4-	Dados de entrada para análise no modelo probabilístico.....	44
Tabela 5-	Classes e níveis de risco dos fatores ambientais.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Localização das áreas de estudo e Apiaú (A) e Ribeiro Campos (B), Mucajaí - RR na imagem Landsat-7/ETM ⁺ órbita/ponto 232/58 de 17/03/2003 na composição 5 (R) 4 (G) 3 (B).....	35
Figura 2-	Fluxograma do tratamento dos dados.....	41
Figura 3-	Valores médios mensais da umidade relativa do ar (%) no período 2000 a 2003, no Apiaú, Mucajaí-RR.....	50
Figura 4-	Valores médios mensais de temperatura do ar (°C) no período 2000 a 2003, no Apiaú, Mucajaí-RR.....	51
Figura 5-	Valores médios mensais da velocidade do vento (m.s ⁻¹) no período 2000 a 2003, no Apiaú, Mucajaí-RR.....	52
Figura 6-	Valores de precipitação pluvial mensal, ao longo dos anos de 1999-2003, no campo Experimental Serra da Prata, Mucajaí - RR.....	53
Figura 7-	Valores médios de precipitação e dias sem chuva mensais, ao longo dos anos 1999-2004, no Campo Experimental Serra da Prata, Mucajaí-RR....	55
Figura 8-	Frequência diária de focos de calor ao longo dos anos de 1999 a 2003, no município de Mucajaí-RR, em função das fitofisionomias.....	57
Figura 9-	Frequência média diária de focos de calor ao longo dos anos de 1999 a 2003 no município de Mucajaí- RR.....	58
Figura 10-	Relação entre a temperatura e o número médio de focos por classe de temperatura (°C) nos horários de 14:00 e 17:00 ao longo dos anos de 2000 a 2003, no Apiaú- Mucajaí- RR.....	59
Figura 11-	Relação entre a velocidade do vento (m.s ⁻¹) e o número médio de focos por classe de velocidade do vento, nos horários de 4:00 e 17:00 ao longo dos anos de 2000 a 2003, no Apiaú, Mucajaí-RR.....	59
Figura 12-	Relação entre a umidade relativa e o número médio de focos por classe de umidade relativa (%), nos horários de 14:00 e 17:00 ao longo dos anos de 2000 a 2003, no Apiaú- Mucajaí- RR.....	60
Figura 13-	Arvore de Decisão para ocorrência e risco de incêndios florestais.....	61
Figura 14-	Imagem 232-58 de 17/03/2003 na composição colorida R(5) G(4) B(3) de Apiaú, Mucajaí - RR.....	63
Figura 15-	Imagem 232-58 de 17/03/2003 na composição colorida R(5) G(4) B(3) de Ribeiro Campos, Mucajaí - RR.....	64
Figura 16-	Imagem da região do Apiaú, Mucajaí - RR, resultante da multiplicação ETM4 x ETM5 com realce raiz. Destaca-se o realce das feições de relevo como as serras localizadas na porção do extremo SE, orientadas NE, SW e áreas antropizadas.....	64
Figura 17-	Imagem de Ribeiro Campos, Mucajaí - RR, resultante da multiplicação ETM4 x ETM5 com realce raiz. Destacando as principais feições do relevo com extenso corredor de áreas ligeiramente planas na vertente das áreas de serras.....	65
Figura 18-	Produto integrado Landsat-7/ETM ⁺ (ETM4 x ETM5) e cartografia da distribuição da umidade do material combustível na região do Apiaú, Mucajaí - RR. Nota-se que áreas com maior umidade concentram-se em áreas florestais diminuindo em direção a áreas antropizadas.....	66
Figura 19-	Produto integrado Landsat-7/ETM ⁺ (ETM4 x ETM5) e mapa da distribuição da umidade do material combustível na região de Ribeiro Campos, Mucajaí - RR. Observa-se que os maiores teores de umidade do material combustível distribuíram-se em áreas anteriores e	

	posteriores as serras e os menores distribuíram-se em áreas com elevações acentuadas.....	67
Figura 20-	Produto integrado Landsat-7/ETM ⁺ (ETM4 x ETM5) e cartografia da distribuição do número de dias sem chuva na região do Apiaú, Mucajaí - RR. Destaca-se que há poucas áreas apresentando elevado número de dias sem chuvas e extensas áreas apresentando baixo número de dias sem chuvas. Distribuídos tanto em áreas de florestas quanto em áreas antropizadas.....	68
Figura 21-	Produto integrado Landsat-7/ETM ⁺ (ETM4 x ETM5) e cartografia da distribuição do número de dias sem chuva na região de Ribeiro Campos, Mucajaí - RR. Nota-se que a extensas áreas apresentando elevado quantidade de dias sem chuva e áreas isoladas restritas as serras apresentando baixa ocorrência de dias sem chuvas.....	69
Figura 22-	Produto integrado Landsat-7/ETM ⁺ (ETM4 x ETM5) e cartografia de risco dos focos de calor na região do Apiaú, Mucajaí - RR. Observa-se que há extensas áreas, onde os focos de calor apresentam elevado risco para ocorrência dos incêndios principalmente em áreas com uso intenso do solo. Nota-se também, que há poucas áreas registrando baixa incidência e risco dos focos de calor.....	70
Figura 23-	Produto integrado Landsat-7/ETM ⁺ (ETM4 x ETM5) e cartografia de risco dos focos de calor em Ribeiro Campos, Mucajaí - RR. Observa-se que poucas áreas, onde os focos de calor apresentam elevado risco para ocorrência dos incêndios. Nota-se também, que há extensas áreas registrando baixa incidência e risco dos focos de calor.....	71
Figura 24-	Produto integrado SRTM e mapa de declividade da região de Apiaú, Mucajaí - RR. Observa-se a presença de uma variação desde terrenos planos a ligeiramente ondulados predominantes, até áreas com terrenos ondulados com a presença de serras isoladas.....	72
Figura 25-	Produto integrado SRTM e mapa da declividade da região de Ribeiro Campos, Mucajaí - RR. Destaca-se uma variação desde terrenos suavemente planos em um extenso corredor no sentido SW e NE, até terrenos muito acidentados NW e SE.....	73
Figura 26-	Mapa temático das classes de distâncias das estradas relacionadas com o risco de incêndios florestais em Apiaú, Mucajaí - RR.....	74
Figura 27-	Mapa temático das classes de distâncias das estradas relacionadas com o risco de incêndios florestais em Ribeiro Campos, Mucajaí-RR.....	75
Figura 28-	Produto integrado Landsat-7/ETM ⁺ (ETM4 x ETM5) e mapa de susceptibilidade a incêndios florestais na região do Apiaú, Mucajaí - RR. Destaca-se que há poucas áreas com alta susceptibilidade a ocorrência dos incêndios florestais, sua distribuição espacial ocorre de forma isolada tanto em áreas de floresta como em áreas antropizadas, observa-se ainda que há extensas áreas apresentando baixa susceptibilidade.....	76
Figura 29-	Produto integrado Landsat-7/ETM ⁺ (ETM4 x ETM5) Mapa de susceptibilidade a incêndios florestais na em Ribeiro Campos, Mucajaí - RR. Nota-se a presença de extensas áreas com alta susceptibilidade para a ocorrência de incêndios situadas sobre as encostas e os topos das serras.....	77

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE APÊNDICES

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Incêndios florestais.....	15
1.1.1 Incêndios florestais e condições ambientais.....	16
1.1.2 Prática de queima e incêndios florestais na Amazônia.....	20
1.2 Modelos de susceptibilidade a incêndios florestais.....	22
1.3 Tecnologias aplicadas em estudos ambientais.....	24
1.3.1 Processamento de imagens de sensoriamento remoto	26
1.3.2 Técnicas de Geoprocessamento.....	30
1.3.3 Uso de produtos de sensoriamento remoto aplicado ao estudo de incêndios Florestais.....	32
2 OBJETIVOS	34
2.1 Objetivo Geral.....	34
2.1.1 Objetivos específicos.....	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 Caracterização da área de estudo.....	35
3.1.1 Localização.....	35
3.1.2 Aspectos climáticos.....	36
3.1.3 Aspectos Fisiográficos.....	36
3.1.3.1 Geologia	36
3.1.3.2 Relevo	36
3.1.3.3 Solos	37
3.1.3.4 Vegetação.....	37
3.2 Dados de umidade do material combustível	37
3.3 Dados meteorológicos	39
3.4 Dados de focos de calor.....	39
3.5 Dados de sensoriamento remoto	40

3.6 Tratamento dos dados	40
3.6.1 Tratamento estatístico dos dados meteorológicos.....	42
3.6.2 Tratamento estatístico dos dados de umidade do material combustível.....	43
3.6.3 Tratamento estatístico dos dados de focos de calor.....	43
3.6.4 Modelo probabilístico de ocorrência e risco de incêndios florestais.....	43
3.7 Processamento digital de imagens.....	45
3.7.1 Atenuação dos efeitos atmosféricos	45
3.7.1.1 Correção Geométrica.....	45
3.7.1.2 Operações de realce.....	46
3.7.1.3 Integração de dados digitais.....	46
3.7.2 Técnicas de geoprocessamento.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1 Dados meteorológicos	50
4.2 Dados de focos de calor.....	56
4.3 Modelo probabilístico de ocorrência e risco de fogo	61
4.4 Processamento de imagens.....	62
4.4.1 Atenuação dos efeitos atmosféricos.....	62
4.4.2 Correção Geométrica.....	62
4.4.3 Operações de realce.....	63
4.4.4 Geração de mapas temáticos e integração IHS.....	65
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	78
REFERÊNCIAS.....	80
APÊNDICES.....	87

1 INTRODUÇÃO

As florestas tropicais úmidas cobrem hoje em dia apenas 2% da superfície do globo terrestre ou 6% do total de suas terras, sendo que sua superfície original cobria o dobro dessa área. Mesmo assim, metade das espécies vegetais e animais têm seu habitat nessas florestas (FAO, 2003). A última grande extensão de florestas tropicais úmidas está localizada na Amazônia, especialmente nos dois terços da bacia hidrográfica amazônica, localizados no Brasil.

Grande parte dos ecossistemas florestais tropicais vem sendo ameaçada por processos de desmatamento, fragmentação e degradação por corte seletivo de madeira e incêndios. Nos últimos anos, o fogo tem sido uma ameaça crescente às florestas tropicais úmidas (BARLOW; PERES, 2003). Os incêndios são uma das mais importantes fontes de danos aos ecossistemas florestais nas regiões em desenvolvimento; a pressão que essas áreas florestais sofrem devido a necessidade de novas áreas destinadas às atividades agropecuárias tem aumentado consideravelmente o número de incêndios e a extensão das áreas queimadas (BATISTA, 2004). Os incêndios florestais representam um dos principais elementos de degradação das florestas da Amazônia, podendo matar até 20% das árvores (HOLDSWORTH; UHL, 1998), aumentando a vulnerabilidade das florestas aos novos incêndios. O fogo aumenta a inflamabilidade das paisagens Amazônicas, iniciando um ciclo de retroalimentação positiva pelo qual as florestas tropicais são gradualmente substituídas por uma vegetação mais aberta e propensa ao fogo. O uso do fogo está arraigado na lógica cultural e econômica dos agricultores e fazendeiros da região. Nepstad et al. (1999) mencionam que essa lógica é reflexo do modelo de desenvolvimento adotado, no qual o acesso às florestas e a terra é facilitado, favorecendo o seu uso extensivo, tendo o fogo como principal ferramenta de manejo.

No estado de Roraima, extremo norte amazônico, a situação não é diferente, o processo de ocupação antrópica através da colonização dirigida para áreas florestais, tem provocado sérios problemas ambientais, uma vez que estimula a prática do desmatamento seguido de queima. Em 1998, cerca de 12 mil km² de florestas primárias foram atingidas pelo fogo (Barbosa e Fearnside, 1999). Em 2003, estimou-se que entre os meses de fevereiro e março, 85 km² de florestas primárias foram diariamente afetadas por incêndios (BARBOSA et al., 2004). A busca pela compreensão dos processos condicionantes da incidência e dinâmica dos incêndios em florestas tropicais torna-se cada vez mais importante à medida que os

efeitos provocados passam a ter repercussões globais negativas, particularmente sobre a atmosfera e o estoque de biodiversidade (COCHRANE, 2003). Para identificar áreas sob risco de fogo na região Amazônica tem sido desenvolvidos modelos de ocorrência do fogo integrando dados sobre solos, precipitação, tipos florestais, áreas sob exploração madeireira, uso agrícola e histórico de fogo recente para gerar mapas de susceptibilidade da floresta ao fogo (NEPSTAD et al., 1999). O conhecimento da susceptibilidade ao fogo possibilita o planejamento de medidas preventivas, otimizando a alocação de recursos pela melhor relação custo/benefício na diminuição de prejuízos ambientais e econômicos (SOARES, 1985).

Ao contrário de estudos de susceptibilidade mais antigos que utilizavam apenas dados meteorológicos relacionados à umidade relativa do ar, estudos mais recentes utilizam simultaneamente múltiplos parâmetros, incorporando dados de umidade do material combustível, uso do solo, padrões meteorológicos sazonais, condições topográficas, malha viária e padrões de distribuição espaço-temporal das queimadas (CHUVIECO et al., 1997; FERRAZ; VETTORAZZI, 1998). Esses estudos de susceptibilidade são desenvolvidos em ambientes informatizados que além da interdisciplinaridade, privilegiam a experimentação e a modelagem desses fenômenos. A diversidade de fatores que afetam o início e a expansão de um incêndio florestal impõe o uso de uma análise integrada, preconizando a utilização de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Estes permitem o uso de dados de naturezas diversas com maior resolução espacial e temporal.

Nesse contexto, a presente pesquisa, ao identificar e espacializar fatores ambientais, naturais e antrópicos que contribuem para a ocorrência de incêndios, visa colaborar para o aprimoramento do sistema de monitoramento de queimadas implantado em Roraima, subsidiando de forma geral, os processos de tomada de decisão de administradores locais envolvidos com a prevenção e combate a incêndios florestais.

Assim sendo, apresentam-se considerações relevantes sobre caracterização e conceituação dos incêndios florestais; influência de condições ambientais sobre seu início e propagação; contextualização histórica da prática de queima na Amazônia; uso de modelos de susceptibilidade a incêndios; revisão de trabalhos científicos sobre experimentos de modelagem e o emprego de novas tecnologias aplicadas em estudos ambientais, no qual se expõem os sucessivos avanços alcançados nas últimas décadas com o emprego do sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. Em seguida apresentam-se os objetivos da pesquisa e a descrição geral da área de estudo: localização, aspectos climáticos e características fisiográficas. Logo após, há a exposição sobre o material e métodos utilizados, incluindo a descrição das técnicas de pré-processamento e processamento aplicados às

imagens digitais. Ao finalizar, apresenta-se a exposição dos resultados obtidos e discussões com base nos objetivos estabelecidos e a apresentação das conclusões.

1.1 Incêndios florestais

Segundo Miranda et al. (1993) o fogo está intimamente ligado à evolução humana. Desde o início da civilização, o fogo tem sido utilizado por todas as culturas a fim de modificar o ambiente, visando satisfazer as necessidades humanas. Com a evolução da espécie humana e o desenvolvimento de suas atividades, os incêndios florestais passaram a constituir uma fonte de perturbação permanente acarretando perdas e danos materiais. O uso do fogo pelo homem tem desempenhado um papel fundamental na distribuição e manutenção de determinados ecossistemas artificiais como pastagens e áreas agrícolas. Apesar dos vários conceitos recebidos, para este estudo é importante deixar claro que o fogo é o fenômeno físico em si, enquanto que o incêndio é a ocorrência do mesmo de forma descontrolada.

De acordo com Gaylor (1974), o fogo ou o processo de combustão é uma reação química de rápida oxidação, acompanhada da produção de calor e luz. Combustão é uma reação química exotérmica relativamente rápida entre o oxigênio e uma substância química qualquer.

Para Soares (1985), incêndio florestal é o termo utilizado para definir um fogo incontrolado que se propaga livremente e consome diversos tipos de materiais combustíveis existentes em uma floresta. Um incêndio florestal não deve ser confundido com a queima controlada, que é a utilização do fogo em uma área, sob determinadas condições de clima, umidade do material combustível, umidade do solo e outras, produzindo a intensidade de calor e a taxa de propagação necessária para favorecer certos objetivos de manejo.

Os incêndios florestais são classificados com os seguintes tipos: incêndios de superfície, incêndios de copa e incêndios subterrâneos (SILVA, 1998).

Os incêndios de superfície são caracterizados pela queima da vegetação morta e rasteira, como as herbáceas, árvores pequenas e qualquer tipo de material orgânico existente no solo. Estes incêndios não causam danos significativos em árvores de grande porte, porém são extremamente prejudiciais às vegetações rasteiras e plantas jovens, principalmente para sua regeneração. Incêndios de copa são aqueles que atuam queimando as partes superiores das árvores, onde a velocidade e a intensidade do fogo são maiores e mais rápidas, devido a grande circulação do vento nessas áreas. Os incêndios subterrâneos são incêndios que se propagam de baixo da superfície terrestre, alimentados por matéria orgânica seca, raízes e turfas, matérias finas bem compactadas de combustão lenta e contínua (SOARES, 1985).

1.1.1 Incêndios florestais e condições ambientais

Diversas características do ambiente têm influência sobre o início, propagação e intensidade dos incêndios florestais, tais como: condições meteorológicas, relevo, tipo de cobertura vegetal e material combustível.

A ocorrência do fogo depende de alguns fatores que permitirão o início da reação da combustão e a sua continuação dependerá, principalmente, da energia potencial armazenada no material combustível e do comportamento do fogo, comandado pelas características do material combustível, pelo relevo e pelas condições meteorológicas (SOARES, 1985). Os incêndios florestais são iniciados em função de condições meteorológicas propícias, tais como: déficit hídrico, elevadas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, por isso, esses são fatores determinantes no estudo da susceptibilidade de ocorrência de fogo em áreas florestais (CIANCIULLI, 1981).

A partir do estudo das variáveis meteorológicas é possível determinar os períodos de maior probabilidade de ocorrência de incêndios florestais, possibilitando a adoção de medidas que visem à prevenção e os danos causados pelo fogo (SOARES, 1984). As condições climáticas incluem vários fatores importantes na combustão e propagação dos incêndios.

A temperatura do ar influi direta e indiretamente na combustão e propagação dos incêndios. De acordo com Schroeder e Buck (1970), a influência direta se refere à quantidade de calor necessária para elevar o combustível à temperatura de ignição. A influência indireta está relacionada com o efeito sobre os outros fatores relacionados à propagação do fogo, entre os quais o vento, a umidade do combustível e a estabilidade atmosférica.

Segundo Cianciuli (1981), a umidade relativa do ar tem importância fundamental na análise dos fatores que determinam o início e a propagação do fogo, pois os materiais lenhosos não se secam por completo. O excesso de umidade vai sendo eliminado em várias etapas, até alcançar um ponto em que o seu conteúdo seja equivalente à quantidade de umidade que possa absorver do ar saturado.

Para Schroeder e Buck (1970), a umidade atmosférica é um elemento chave para os incêndios florestais, tendo efeito direto na inflamabilidade dos combustíveis florestais, havendo uma troca constante de umidade entre os combustíveis florestais mortos. Os autores mencionam ainda, que o material seco absorve água de uma atmosfera úmida e libera água quando o ar está seco. A quantidade de umidade do ar que o material morto pode absorver e

reter depende basicamente da umidade relativa do ar. Durante períodos extremamente secos, a baixa umidade pode, inclusive, afetar o conteúdo de umidade do material vivo. O vento atua sobre a velocidade de avanço do fogo, aumentando ou diminuindo o grau de umidade da floresta, ativando a evaporação e, por conseguinte, secando o material combustível (SILVA, 1998). Conforme descrito em Soares (1985), a direção e a forma de propagação dos incêndios são também determinadas principalmente pelo vento.

O vento influi na propagação dos incêndios de diferentes maneiras. Ele desloca o ar úmido do interior da floresta, aumentando a evaporação e favorecendo a secagem do material combustível; ventos suaves ajudam as fagulhas a provocar a ignição do material combustível; depois de iniciado o fogo, o vento ativa a combustão por meio do fornecimento contínuo de oxigênio; o vento ajuda a propagação transportando o calor e fagulhas para áreas ainda não queimadas e inclinando as chamas até os materiais não queimados, à frente do fogo e ativando a fase de pré-aquecimento. A direção e a forma de propagação dos incêndios são também determinadas principalmente pelo vento (SCHROEDER; BUCK, 1970).

As precipitações desempenham um papel importante, pois ao manter o material combustível no estado úmido, tornam impossível o início e a propagação do fogo. As ações da chuva estão sujeitas à sua quantidade e duração, à porcentagem de evaporação e grau de umidade do material combustível antes da precipitação, ao tipo florestal, à topografia e ao solo e também a estação do ano (CIANCIULI, 1981). Ao se avaliar o efeito da precipitação sobre o potencial de propagação do fogo em uma região, é necessário levar em consideração não apenas a quantidade de chuva, mas também sua distribuição estacional (SCHROEDER; BUCK, 1970).

Soares (1985) reitera a informação acima citando que existe uma forte correlação entre a ocorrência de grandes incêndios e prolongados períodos de secas. Longos períodos de estiagem afetam o potencial de propagação dos incêndios de diversas maneiras, principalmente pela secagem do material combustível morto, podendo inclusive afetar o teor de umidade da vegetação verde, aumentando a probabilidade de ignição e a facilidade de propagação do incêndio. UHL e KAUFFMAM (1990), afirmam que florestas intactas resistem ao fogo mesmo após 16 dias sem chuvas, mas áreas já queimadas são mais vulneráveis: 90% da área de floresta queimada mais de duas vezes, é susceptível ao fogo com poucos dias sem chuva e a pequena parcela que escapa não resiste a uma seca maior. Em áreas de florestas exploradas, grandes clareiras podem queimar após somente 5 a 6 dias sem chuva na estação seca.

O relevo de uma área é um fator fixo, mas que afeta significativamente o perigo de incêndios florestais. A topografia exerce grande influência sobre o clima, influenciando também sobre a vegetação e conseqüentemente sobre o material combustível (CIANCIULI, 1981).

A inclinação do terreno interfere na tendência do fogo de se propagar mais rapidamente nos aclives e mais lentamente nos declives (SCHROEDER; BUCK, 1970).

Conforme descrito em Soares (1985), altas elevações na superfície da terra apresentam ar mais rarefeito e temperaturas mais baixas. Baixas elevações têm a tendência de apresentar estações de risco de incêndios mais longas que altas elevações. Topos de montanhas e fundos de vales apresentam diferentes condições de queima durante o dia. Devido às correntes de vento e às condições de temperatura e umidade predominantes nos dois locais, os fundos de vales apresentam maior potencial de propagação de fogo durante o dia, com a situação se invertendo durante a noite.

O tipo de cobertura vegetal influencia o comportamento do fogo de várias formas. A variação na cobertura vegetal implica em mudanças relacionadas com o comportamento do fogo, principalmente através de condições micro-climáticas e do material combustível (SOARES; BATISTA, 1997).

O tipo de cobertura vegetal exerce acentuada influência no micro-clima local. Uma floresta densa e fechada intercepta a radiação solar, reduzindo a temperatura do ar e, conseqüentemente, do material combustível no interior da mesma. Ela também funciona como uma barreira, evitando a livre passagem de correntes de ar e reduzindo sensivelmente a velocidade do vento em seu interior, diminuindo assim, a evaporação e dificultando a secagem do material combustível, além disso, a transpiração do material florestal proporciona um aumento da umidade relativa do ar na área da floresta, podendo reduzir o risco de fogo (SCHROEDER; BUCK, 1970; PYNE, 1984).

Por outro lado, uma floresta aberta permite a penetração mais livre de raios solares e do vento, produzindo aumentos nas temperaturas do material combustível e na taxa de evaporação. Isso contribui para um maior potencial de propagação do fogo (PYNE, 1984).

A ignição, a propagação e o comportamento do fogo dependem muito mais dos materiais combustíveis do que de outros fatores. É no combustível que nasce e se desenvolve a energia de um incêndio florestal (BROWN; DAVIS, 1973). Material combustível é todo e qualquer tipo de matéria orgânica, viva ou morta, que se encontra no ambiente, sendo capaz de entrar em combustão e queimar (RIBEIRO, 1997). Segundo Soares (1985), quanto ao tipo, os materiais combustíveis podem ser divididos em perigosos, semi-perigosos e verdes (tabela 1). Os materiais combustíveis perigosos por apresentarem menor temperatura de ignição, facilitam o início do fogo e aceleram a propagação, queimando-se rapidamente com produção de calor e chamas intensas, outra característica particular está no fato de que estes materiais perdem umidade de forma bastante rápida sendo, também, a principal matéria consumida pelo fogo. Os materiais semi-perigosos, embora de ignição mais lenta e difícil, desenvolvem intenso calor e podem manter-se em combustão latente.

Os materiais verdes por possuírem altos teores de umidade são considerados não-inflamáveis. Entretanto, é importante mencionar que o calor liberado pela combustão de outros combustíveis pode secar estes materiais, tornando-se igualmente inflamáveis.

Tabela 1 - Classificação e características dos materiais combustíveis.

Tipos de materiais combustíveis	Características
Perigosos	Materiais secos com diâmetro igual ou inferior a 1,0 cm (pequenos galhos, folhas, líquens e gramíneas).
Semi-perigosos	Materiais secos com diâmetro acima de 1,0 cm (galhos, troncos caídos, húmus e turfa).
Verdes	Vegetação viva da floresta.

Conforme descrito em Batista e Soares (1997), 70% a 85% da quantidade de material combustível que normalmente é consumida num incêndio florestal possui diâmetro menor que 2,5 cm. Os teores de umidade do material combustível expressam a porcentagem de água contida no mesmo, em relação ao seu peso seco.

Estudos realizados em 1986, na área do Rio Negro, indicaram que a susceptibilidade da floresta primária ao fogo, na região amazônica, somente poderia acontecer quando o conteúdo de água da serapilheira atingisse 12% (Uhl et al., 1988).

Segundo Schroeder e Buck (1970), a primeira influência da umidade na combustão do material florestal é a necessidade da grande quantidade de energia requerida para transformar em vapor a água existente no combustível. Isto representa uma redução na quantidade de calor disponível para a combustão propriamente dita.

Os principais parâmetros meteorológicos que controlam a umidade do material combustível morto são precipitação, umidade relativa do ar e temperatura. Vento e radiação solar são também fatores importantes na secagem do material combustível, mas eles exercem influência mais marcante por meio da mudança de temperatura do combustível, e na temperatura e umidade relativa da camada de ar próxima aos combustíveis.

De acordo com Soares (1985), os combustíveis vivos e mortos têm diferentes mecanismos de retenção de água e diferentes respostas às variações climáticas.

1.1.2 Prática de queima e incêndios florestais na Amazônia

Evidências arqueológicas mostram que na Amazônia, nos últimos dois milênios, houve quatro grandes secas em função do fenômeno climático El Niño (há 400, 700, 1.000 e 1.500 anos), que resultaram em incêndios de proporções catastróficas (LAURENCE; VASCONCELOS, 2000). No passado, as secas prolongadas causadas pelo El Niño (ocorrendo por ordem de centenas de anos), juntamente com secas curtas mais frequentes, também associadas aos efeitos desse fenômeno (ocorrência na ordem de dezenas de anos), criaram condições que provavelmente teriam permitido a ocorrência de grandes incêndios na Amazônia (MEGGERS, 1994).

Segundo Holdsworth e Uhl (1998), nos últimos 30 anos, em algumas áreas da Amazônia, as atividades de uso da terra têm se modificado devido a múltiplos fatores, tais como aumento do contingente populacional, construção de rodovias, ampliação de atividades de exploração madeireira, crescente agricultura intensiva de monoculturas e ampliação da pecuária que provocam a fragmentação da floresta. Tais como as mudanças climáticas no passado, as novas atividades de uso da terra têm contribuído para o aumento da incidência de incêndios na região. De acordo com Laurence e Vasconcelos (2000), quando intacta, a floresta tropical chuvosa resiste bem ao fogo e as flutuações do clima, mas é perigosa a associação dos efeitos da variação climática aos usos da terra, como o acesso de colonos e criadores de gado que usam o fogo em suas práticas culturais. As florestas onde ocorre extração de madeira são as mais susceptíveis ao fogo, em especial em longos períodos secos, pois ficam mais secas e têm maior quantidade de materiais inflamáveis.

Segundo Cochrane (2000), uma vez queimada a floresta, sua capacidade de resistir a queimas futuras é prejudicada. Em geral, uma primeira queimada afeta poucas árvores grandes, causando estrago em especial no sub-bosque, mas deixa a área atingida muito mais vulnerável a novos incêndios.

Nos últimos anos, os incêndios em florestas na Amazônia vêm se tornando cada vez mais frequentes, causando impacto indiscutivelmente significativo, já que destroem árvores, reduzem biomassa e a estrutura original do ecossistema (BARBOSA et al., 2004). O fogo sempre foi a forma usada pelo homem para limpar áreas florestadas na região. Na luta para produzir alimentos em solos considerados “pobres”, isto é, sem reservas adequadas dos nutrientes básicos, o agricultor muda a roça para um novo desmatamento sempre que o

rendimento de sua safra começa a cair, o que normalmente acontece num intervalo de dois a quatro anos (KIRCHHOFF, 1992).

Segundo Nepstad et al. (1999), a cultura do uso do fogo como ferramenta de baixo custo para conversão de áreas florestais em novas áreas para formação de pastagens, renovação de pastagens e de cultivos agrícolas por parte de fazendeiros, ou por agricultores familiares tem contribuído para que os incêndios florestais sejam mais frequentes na região.

O fogo na Amazônia pode ser classificado em três categorias principais: queimadas para desmatamento, incêndios florestais rasteiros e queimadas e incêndios em áreas já desmatadas. As queimadas para desmatamento são aqueles fogos estabelecidos de forma intencional associadas ao corte e à queima da floresta para o plantio agrícola, ou formação de pastagens. Os incêndios florestais rasteiros são aqueles fogos que queimam a camada de combustível depositada no chão de florestas primárias ou explorada. As queimadas e incêndios em áreas já desmatadas são resultantes do fogo intencional (queimadas) ou acidental (incêndios) em pastagens, lavouras e capoeiras (NEPSTAD et al., 1999).

As queimadas em Roraima, como em outras áreas da Amazônia brasileira, estão ligadas à maneira como a ocupação humana vem ocorrendo na região. O Estado que possui uma área de 224.298,98 Km², com uma população 391.317 (IBGE, 2006) e tem recebido grande número de migrantes de outros lugares, atraídos pela perspectiva de acesso à terra e de ajuda para cultivá-la (NASCIMENTO et al., 2000).

A ocupação recente de Roraima aconteceu a partir de pulsos migratórios. Entre 1980 e 1998, a população triplicou passando de 82.018 para 260.705 habitantes. A explosão demográfica deste período foi incentivada pelo próprio poder público local em três grandes fases: (a) ao final da década de 1970, com apoio do Governo Federal, dentro do Programa de Pólos da Amazônia (POLOAMAZÔNIA), subprograma POLORAIMA, (b) ao final da década de 1980, quando da transformação do Território em Estado, através do “boom” mineral e (c) ao início dos anos 1990, dentro dos programas estaduais de recrutamento de migrantes em outras regiões do país com problemas fundiários (BARBOSA, 1993).

Inicialmente, as queimadas foram usadas para formar lavouras e renovar pastagens em áreas de contato entre a floresta e a savana. Em épocas mais recentes, como parte do processo de colonização e com o avanço da fronteira agrícola, áreas florestais começaram a ser desmatadas, usando-se o fogo para eliminar os resíduos das derrubadas (NASCIMENTO et al., 2000).

Entre o final de 1997 e o início de 1998, o estado de Roraima passou pela difícil experiência de ter grande parte dos seus ecossistemas atingidos por incêndios, perfazendo uma área total de 38.144 km². Segundo Barbosa e Fearnside (2000a), o fogo afetou

principalmente formações não florestais, como savanas (ao nordeste do Estado), atingidas em cerca de 22.580 km² de sua área original, somados a 11.394-13.928 Km² de florestas primárias.

De acordo com Barbosa e Fearnside (2000a), a associação entre um fator climático global e um fator social local possibilitou o incêndio. O primeiro, a ação intensa do evento El Niño na região no biênio 1997/1998 que reduziu a umidade relativa do ar e a precipitação, além de elevar a temperatura. O outro fator está ligado aos métodos de distribuição de terras no Brasil, que há muitos anos levam milhares de migrantes para os frágeis sistemas ecológicos amazônicos. Os autores comentam ainda, que os incêndios florestais foram favorecidos pelo excesso de material combustível, depositado no chão da floresta, pela reduzida umidade desse material (abaixo de 10%, tornando-o mais inflamável) e pela presença de uma fonte inicial de ignição (as queimadas em lotes agrícolas regularizados ou não).

1.2 Modelos de Susceptibilidade dos Incêndios Florestais

A computação de índices de risco de incêndio, perigo de incêndio ou susceptibilidade constitui tentativas de quantificar a probabilidade de um fogo ocorrer e se propagar quando existe uma fonte de ignição. A realização de estudos para a avaliação do risco de incêndio, constitui a melhor possibilidade para a salvaguarda de vidas humanas, de propriedades, e de recursos naturais (ANDRÉ; VIEGAS, 2001).

De acordo com Catchpole e Mestre (1986), modelos de predição do comportamento do fogo podem ser classificados em 3 tipos: puramente empíricos, físicos e semi-físicos. Dentre os modelos de maior aplicabilidade, destacam-se os modelos empíricos. Esses modelos caracterizam-se pelo fato de a maior parte das relações que utilizam terem caráter empírico, ligando as variáveis de entrada e saída, baseando-se num certo número de experiências de propagação de fogo, situadas dentro da zona do espaço de variáveis de entrada na qual se pretende aplicar o modelo (ANDRÉ; VIEGAS, 2001).

No entanto, existem outros modelos que não se enquadram nessas três categorias, como os modelos que utilizam cálculos probabilísticos, que permitem estimar o potencial dos incêndios mediante a utilização de diversos fatores como: condições meteorológicas, material combustível e sob diversas condições topográficas. Dentre as abordagens, a mineração de dados que é a exploração e a análise, por meio automático ou semi-automático, de grandes

quantidades de dados, a fim de descobrir padrões e regras significativos (BERRY; LINOFF, 1997).

Os principais objetivos da mineração de dados são descobrir relacionamentos entre eles e fornecer subsídios para que possa ser feita uma previsão de tendências futuras baseada no passado. Harrison (1998) afirma que a aplicação da mineração de dados torna possível comprovar o pressuposto da transformação de dados em informação e posteriormente em conhecimento. Esta possibilidade torna a técnica imprescindível para o processo de tomada de decisão, ele enfatiza ainda, que não há uma técnica que resolva todos os problemas de mineração de dados.

Conforme Dias (2001), dentre as técnicas de mineração de dados normalmente usadas, destaca-se a árvore de decisão que consiste de uma hierarquização dos dados, baseando-se em estágios de decisão (nós) e na separação de classes e subconjuntos. Os resultados obtidos com a mineração de dados podem ser usados para gerenciamento de informação, tomada de decisão, controle de processo e muitas outras aplicações.

A estimação do risco de incêndio a curto prazo tem em vista o apoio à tomada de decisão atualizada sobre atividades de pré-supressão e supressão num plano de mitigação de fogo, e pode ser usada para diversos fins. De um ponto de vista pragmático, a investigação de modelos de propagação de fogos florestais justifica-se pelas múltiplas aplicações práticas que se pode dar a tais modelos, quer no âmbito da prevenção, quer no do combate aos incêndios florestais indesejáveis.

Por estes motivos, as entidades responsáveis pelo combate aos fogos florestais em muitos países como: EUA, Canadá e Austrália, desde os anos 80, e no Sul da Europa (França, Itália, Espanha, Grécia, Portugal), a partir dos anos 90, em maior ou menor escala, vêm utilizando modelos de propagação já existentes, em particular com caráter local, como ferramentas auxiliares de decisão (ANDRÉ; VIEGAS 2001).

No Brasil, o fogo é considerado um problema crescente nas florestas da Amazônia, Nepstad et al. (2000) afirmam que o problema dos incêndios acidentais na região pode piorar nos próximos anos, pois os eventos climáticos El Niño, que estão associados à secas severas em grande parte da região, têm sido mais frequentes nos últimos quinze anos. Os incêndios também podem aumentar, devido à ocupação de fronteiras agrícolas que estão em expansão na região. Nelson (2001) afirma que a previsão do risco de fogo em florestas primárias e secundárias da Amazônia vem sendo objeto de estudos recentes.

Segundo Cochrane et al. (2003), a suscetibilidade a incêndios em florestas tropicais acontece em grande parte por causa da diminuição da umidade, durante períodos extensos de

seca, quando normalmente combustíveis úmidos secam e ficam potencialmente inflamáveis. Embora a química e a física, por trás do fogo nas florestas tropicais, não sejam diferentes daquelas nas florestas temperadas ou boreais, a elaboração de modelos de susceptibilidade do fogo, comportamento e efeitos nas florestas tropicais são mais difíceis devido às características dos seus ecossistemas. Os autores mencionam ainda, que modelos de susceptibilidade não devem incorporar apenas dados sobre condições meteorológicas, mas também tipo de floresta, estrutura e história de perturbação por fogo.

Nepstad et al. (1999) utilizaram um modelo que integra dados sobre umidade do solo, chuva, florestas, exploração madeireira, agricultura, focos de calor e histórico recentes de ocorrência de fogo para identificar regiões sob risco de fogo na Amazônia brasileira, gerando mapas de susceptibilidade da floresta ao fogo. Os resultados finais indicaram que a floresta torna-se susceptível ao fogo na medida em que diminuem até 10 metros de profundidade os estoques de água disponível para plantas. A área de risco teria alcançado grandes proporções no final da estação seca de 1998, quando 400.000 km², principalmente na parte central da Amazônia, atingiram o esgotamento completo de água disponível para plantas.

1.3 Tecnologias aplicadas em estudos ambientais

Segundo ROSS (1990), o homem como ser social interfere no meio ambiente, criando novas situações ao construir e reordenar os espaços físicos de acordo com seus interesses. Todas essas modificações inseridas pelo homem ao ambiente natural alteram o equilíbrio de uma natureza que não é estática, mas que apresenta quase sempre um dinamismo harmonioso. Conforme descrito em Silva e Zaidam (2004), o ser humano tem comprovado ao longo de sua existência que não tem se considerado como parte efetiva do meio ambiente. A sua necessidade de sobrevivência tem ultrapassado os limites da racionalidade, gerando uma desproporção entre a maneira de viver e de consumir, com isso o meio ambiente tem sofrido alterações crescentes registradas nas últimas décadas. Ao mesmo tempo o ser humano busca a compreensão e solução desses problemas, é dentro desse contexto que tecnologias como, sensoriamento remoto, geoprocessamento e sistemas de informações geográficas (SIGs) vêm se constituindo em ferramentas de grande utilidade no auxílio de estudos, diagnósticos e análises ambientais, incluindo aqueles relativos aos incêndios florestais.

De acordo com Mather (1999), sensoriamento remoto é a tecnologia que consiste na interpretação das medidas da energia eletromagnéticas refletidas ou emitidas por diferentes

alvos da superfície terrestre. A radiação eletromagnética refletida ou emitida numa dada direção depende da intensidade e da faixa espectral do fluxo radiante incidente e das características físico-químicas do alvo em estudo. Para Crosta (1992), o sensoriamento remoto permite identificar características de diferentes materiais superficiais. Isto porque estes materiais comportam-se de modo diverso nos vários comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Por isso, o conhecimento do comportamento espectral dos alvos é importante na otimização do uso dos dados coletados remotamente, visto que o sinal registrado por um sensor depende das características espectrais da superfície observada. Conforme Novo (1992), o sensoriamento remoto é a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados e equipamentos para transmissão de dados, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta terra em suas mais diversas manifestações.

No que diz respeito ao geoprocessamento, Câmara e Medeiros (1998) definem como uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Para Silva e Zaidam (2004), o geoprocessamento torna possível, em uma escala inimaginada, analisar a geotopologia de um ambiente, ou seja, investigar sistematicamente as propriedades e relações posicionais dos eventos e entidades representadas em uma base de dados georreferenciados, transformando dados em informação destinada ao apoio à tomada de decisão.

Segundo Câmara e Medeiros (1998), os instrumentos computacionais do geoprocessamento, chamados de sistemas de informações geográficas (SIGs), permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados. Os SIGs tornam possível ainda a automatização da produção de documentos cartográficos

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2005), as principais características de um sistema de informação geográfica (SIG) são integrar numa única base de dados informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno; oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise e para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados.

1.3.1 Processamento de imagens de sensoriamento remoto

O processamento digital compreende a manipulação de informações espectrais/texturais por computador, de modo que a entrada e a saída deste processo sejam imagens. O processamento digital de imagens de sensoriamento remoto trata especificamente das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins, a partir de uma enorme quantidade de dados que usualmente compõem essas imagens (CROSTA, 1992). Podem se dividir as técnicas de processamento digital de imagens em operações de pré-processamento e processamento.

O pré-processamento refere-se ao processamento inicial dos dados brutos, a fim de que se possa retificar e restaurar quaisquer tipos de distorções ou incorreções contidas nas imagens de sensoriamento remoto, incluindo a atenuação de distorções atmosféricas, geométricas e radiométricas.

Conforme descrito em Crane (1971), os sinais da radiação eletromagnética coletados por sensores remotos são modificados por processos decorrentes do espalhamento e da absorção de gases e de aerossóis quando passa pela atmosfera. A intensidade da interferência atmosférica é dependente do ângulo de visão, da altitude de varredura do sensor, da frequência e da distribuição das partículas de bruma (névoa) presentes no momento de aquisição dos dados. Estas interferências ocasionam a perda de nitidez das informações contidas nas imagens multiespectrais.

Desta forma, a operação de atenuação da interferência atmosférica se faz necessária na quantificação de dados de sensoriamento remoto, uma vez que os fatores acima descritos modificam tanto a magnitude da resposta quanto às características espectrais dos alvos. Vários métodos foram desenvolvidos para remover esses efeitos, dentre eles o método de subtração do pixel escuro (CRANE, 1971), cuja operação é realizada somente com os dados digitais da imagem, sem a necessidade de informações das condições atmosféricas no momento da aquisição da imagem.

Imagens geradas por sensores remotos, sejam elas fotografias aéreas ou imagens de satélite, estão sujeitas a uma série de distorções espaciais, em função da rotação da terra e instabilidade da plataforma que transporta o sensor, seja durante o processo de aquisição, transmissão ou gravação, não possuindo precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados (CROSTA, 1992). Para que a precisão

cartográfica seja introduzida às imagens, faz-se necessário que as mesmas sejam corrigidas, segundo um sistema de coordenadas e de projeção.

A transformação de uma imagem que assuma as propriedades de escala e de projeção de um mapa é chamada de correção geométrica. Este processo é importante quando se pretende trabalhar com imagens adquiridas de diferentes sensores e de datas sucessivas (MATHER, 1999). Para Crosta (1992), a relação entre os dois sistemas de coordenadas (mapa-imagem) pode ser calculada através de pontos de controle no terreno, que devem ser reconhecíveis tanto no terreno como na imagem. A transformação baseada em ponto de controle busca estabelecer as diferenças de posicionamento de alguns pontos nas imagens, a partir dessas diferenças, a natureza da distorção presente na imagem pode ser estimada, identificada e corrigida.

Os métodos empregados no processamento digital de imagens buscam melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos. De acordo com MATHER (1999) o realce é usado para buscar melhorar a qualidade visual da imagem, alterando a sua aparência, de tal forma que fiquem mais evidentes as informações nela contida, em termos da necessidade particular do interprete.

Para Lillesand e Kiefer (1994) o objetivo das técnicas de realce de imagens é melhorar a qualidade visual aumentando a distinção entre as feições de interesse de uma cena. Conforme estes autores, dentre as técnicas de realce utilizadas no processamento digital de imagens destacam-se realce de contraste, processo que envolve o aumento de contraste, operações aritméticas e transformações de imagens.

Conforme descrito em Crosta (1992), operações aritméticas entre duas ou mais bandas multiespectrais de uma mesma área geográfica são amplamente utilizadas em processamento digital de imagens, com objetivo de realçar determinadas feições e combinar a informação contida em diferentes bandas, reduzindo a dimensionalidade dos dados originais. As operações de soma, subtração, multiplicação e divisão são usadas em duas ou mais imagens de uma mesma área geográfica, sendo previamente co-registradas (MATHER, 1999). A operação de divisão consiste numa operação não-linear, é utilizada para realçar as diferenças espectrais de um par de bandas, caracterizando determinadas feições da curva de assinatura espectral de alguns alvos (CROSTA, 1992). A operação de multiplicação de imagens serve para realçar similaridades espectrais entre bandas, trata-se de uma operação não linear.

Segundo Crosta (1992), na observação de imagens monocromáticas (preto e branco) os olhos respondem apenas às diferenças de brilho. Como se sabe a habilidade do sistema visual humano de distinguir cores é muito maior do que a capacidade em distinguir tonalidades de cinza. Dessa forma, pequenas diferenças nos níveis de cinza na imagem monocromática que não podem ser distinguidas pelo sistema visual humano, podem ser mapeadas em cores diferentes tornando a informação mais perceptível. A conversão de uma imagem monocromática em uma imagem colorida é realizada por uma transformação pseudo-cor. A transformação por pseudo-cor associa o nível de cinza de cada pixel a uma determinada cor, por exemplo, as do espaço R G B (Red - Green - Blue). Conforme Richards (1993), essa técnica é utilizada para se obter a forma colorida de uma determinada imagem, sem alteração de seus valores numéricos.

Desde os trabalhos pioneiros de Harris et al. (1990) as técnicas de fundir dados provenientes de fontes diferentes vêm sendo amplamente utilizadas com o intuito de gerar um produto de boa qualidade visual para as análises quantitativas e qualitativas e para procedimentos de interpretação visual em geral, além de colaborar na redução de custos despendidos em trabalhos de campo. Desse modo a utilização dessas técnicas alcançou uma ampla variedade de aplicações dentro do conjunto de disciplinas das ciências da terra.

Pohl e Van Gerderen (1998) conceituaram fusão de imagens digitais como a combinação de duas ou mais diferentes imagens através de determinados algoritmos com objetivo de formar uma nova imagem. As diversas técnicas de fusão de imagem agrupam-se da seguinte forma: técnicas relacionadas às transformações no espaço de cores e técnicas estatísticas/ numéricas. A primeira compreende a composição de cores no espaço RGB e transformações mais sofisticadas como o I- Intensity H- Hue S- Saturation. Há ainda as técnicas estatísticas que envolvem basicamente operações de correlação e de filtragem.

Harris et al. (1990) separaram as técnicas de fusão em dois grupos: o primeiro designado para a combinação de dados, consiste no empreendimento das técnicas de fusão com o intuito de produzir imagens para interpretação visual. O segundo denominado de integração de dados expressa a utilização de um conjunto de processos, os quais implicam em modelamentos mais rigorosos, geralmente com suporte de um sistema de informação geográfica, a fim de obter como resultado um mapa temático. Várias técnicas de fusão de imagens são utilizadas para a integração das qualidades espectrais e espaciais dos dados gerados por sensores diferentes, visando à produção de imagens que combinem tais qualidades, dentre as mais usadas destaca-se a transformação do espaço.

De acordo com Harris et al. (1990) o número significativo de sistemas de cores, ainda não foi suficiente para suprir algumas deficiências encontradas, quando se trata de apresentação de imagens de sensoriamento remoto. Por exemplo, o sistema RGB, o mais utilizado para apresentação colorida dessas imagens, não se fundamenta nos atributos

independentes de cores. Desse modo as variações de cores definidas pela mistura de cores primárias nem sempre são de fácil percepção, além do que, fica seriamente comprometida uma descrição numérica, visto que as características numéricas dos dados não são representadas por uma graduação uniforme de cores.

Segundo Crosta (1992), o espaço de cores conhecido como IHS é uma forma alternativa ao espaço RGB de representação de cores. No espaço IHS, as cores são definidas por três atributos independentes no que concerne a percepção visual: intensidade, matiz e saturação. A intensidade está relacionada às tonalidades de cinza, ou seja, é uma função da energia luminosa (brilho da imagem) que chega aos olhos; a matiz é a sensação de cor relativa ao comprimento de onda dominante; a saturação é o índice relativo de pureza ou cor, ou seja, a percentagem de branco na cor. Crosta (1992) menciona ainda, que o sistema IHS descreve a formação de cores mais próxima àquela pela qual o sistema visual humano as percebe e, devido a isso, o sistema IHS apresenta vantagens nítidas em relação ao sistema RGB.

Segundo Harris et al. (1999) as técnicas que utilizam transformações no espaço de cores, em especial a IHS, constituem as mais flexíveis por uma série de razões: a) possibilidade de controle individual sobre os atributos, b) domínio sobre o processo de integração, c) capacidade de combinar um número acima de cinco canais, d) as cores da imagem resultante refletem as características dos dados originais, permitindo interpretações significativas com relação às feições do terreno.

Segundo Pohl e Van Gerderen (1998), a fusão de imagens pode ser realizada de vários modos, em geral baseia-se em um único princípio: a substituição de um dos três componentes (I, H ou S) de um conjunto de dados por uma outra imagem. Outra possibilidade de fusão através da técnica IHS, envolvendo imagens de sensoriamento remoto, inclui a utilização de imagens de razões de bandas.

Operações aritméticas combinadas com essa técnica desempenham um papel expressivo no que se refere à interpretação visual, pois contribuem para o realce da imagem resultante. Conforme, descrito em Crosta (1992), a metodologia empregada na técnica IHS requer a execução de etapas prévias ao processo de fusão propriamente dito, que incluem correção geométrica e operações de realce.

1.3.2 Técnicas de Geoprocessamento

O principal objetivo do geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as interrelações entre os diferentes fenômenos. Conforme descrito em Assad e Sano (1998), modelo numérico do terreno (MNT) é uma representação matemática da distribuição espacial (grandeza medida dentro de uma região da superfície terrestre).

A grandeza é, em geral, contínua, e o fenômeno por ela representado pode ser variado. Assim, pode-se ter modelos de temperatura, altimetria de dados geoquímicos e geofísicos etc. O modelo numérico é gerado a partir de um conjunto de pontos (X_i, Y_i, Z_i $i = 1, 2, 3, \dots, n$) amostrados da superfície real, sendo que as coordenadas X e Y dos pontos estão relacionadas às posições de amostragem na superfície e a coordenada Z está relacionada à característica que se quer modelar.

De acordo com Burrough (1986), os modelos numéricos são utilizados para se obter informações relevantes da superfície sem a necessidade de se trabalhar diretamente nela. Essas informações podem ser de caráter qualitativo (visualização da superfície através de uma projeção geométrica) ou quantitativo, englobando cálculo de áreas, volumes e isolinhas, entre outros. O MNT pode ser representado por grade retangular ou triangular. A grade regular é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares (INPE, 2005). Os vértices desses poliedros podem ser os próprios pontos amostrados, caso estes tenham sido adquiridos nas mesmas localizações x y que definem a grade desejada.

Conforme descrito em Assad e Sano (1998), no processo de modelagem utilizam-se interpoladores matemáticos, que são procedimentos de estimação de valores de um atributo em locais não amostrados a partir de pontos amostrados na mesma área ou região. Dentre os métodos de interpolação, um dos mais utilizados para geração de grades regulares é média ponderada por cota e por quadrante. Com este interpolador o valor de cota de cada ponto da grade é calculado a partir da média ponderada das cotas dos 8 vizinhos mais próximos a este ponto, porém atribui-se pesos variados para cada ponto amostrado através de uma função que considera a distância do ponto cotado ao ponto da grade (INPE, 2005).

De acordo com Assad e Sano (1998), os produtos obtidos tanto pelas grades regulares como pelas triangulares podem ser visualizados através de representações como, imagem em níveis de cinza, imagem sombreada, geração de declividade e fatiamento do modelo numérico. O fatiamento do modelo numérico consiste em se definir intervalos, ou fatias, de cotas com a finalidade de se gerar uma imagem temática a partir do modelo. Assim, cada

tema ou classe da imagem temática é associado a um intervalo de cotas dentro dos valores atribuídos ao fenômeno modelado (INPE, 2005).

Imagem em nível de cinza é gerada diretamente do mapeamento dos valores do atributo do modelo para valores de níveis de cinza. A geração de imagem para um modelo numérico de terreno, onde os pixels conterão níveis de cinza, consiste em distribuir os valores mínimos e máximos das cotas, obtidas a partir da grade retangular, em níveis de cinza de 0 a 255 (INPE, 2005).

Uma das grandes dificuldades no processo de integração de planos de informação em ambiente SIG é a determinação do peso das evidências e do método de combinação dos dados. De acordo com INPE (2006), para estes casos é muito útil dispor de ferramentas que auxiliem na tomada de decisão, ajudando a organizar e estabelecer um modelo racional de combinação de dados. Uma das alternativas mais promissoras de suporte à decisão é a *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Segundo Abreu et al. (2000) a técnica AHP foi desenvolvida por Thomas L. Saaty em meados da década de 1970 no intuito de promover a superação das limitações cognitivas dos tomadores de decisão.

Segundo Gomes e Moreira (1998), ela é aplicada para sistematizar uma ampla gama de problemas de decisão nos contextos ambiental, social, econômico e político, devido a sua simplicidade, sólida base matemática e capacidade de avaliar fatores qualitativos e quantitativos, sejam eles, tangíveis ou intangíveis. A AHP é uma teoria com base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre os critérios e medir a consistência dos julgamentos.

Basicamente, os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois a dois, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida (tabela 2). A partir do estabelecimento de critérios de comparação para cada combinação de fatores, é possível determinar um conjunto ótimo de pesos que podem ser utilizados para a combinação dos diferentes mapas.

Conforme Gomes e Moreira (1998), essencialmente, a AHP procura decompor um problema em uma estrutura hierárquica descendente, estruturada do objetivo geral para critérios/indicadores, subcritérios e alternativas em níveis sucessivos que se assemelha a uma árvore genealógica.

Tabela 2- Escala de valores AHP para comparação pareada.

Intensidade de importância	Definição e explicação
1	Importância igual - os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada - um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial - um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada - Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema - A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos - possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: INPE (2006)

1.3.3 Uso de produtos de sensoriamento remoto aplicado ao estudo de incêndios florestais

De acordo com Novo (1992), algumas das aplicações mais importantes do sensoriamento remoto são: monitoramento e avaliação ambiental, agricultura, exploração de recursos naturais renováveis e não renováveis e mapeamentos em geral (topografia, recursos hídricos, geomorfologia, e uso do solo, etc.).

Segundo Krug et al. (1992) a detecção de queimadas, assim como seu controle, são tarefas complexas no Brasil, uma vez que o fogo é normalmente empregado para fins diversos: na agropecuária, na renovação de pastagem, na remoção de material seco acumulado, etc. Considerando a extensão geográfica do país, a diversidade de sua cobertura vegetal e a impossibilidade de dispor de um contingente humano para atender as necessidades reais de prevenção, detecção e controle de queimadas fica evidente o papel e a importância da utilização de tecnologias avançadas neste contexto.

Conforme Wagner (1994), dados de satélites podem ser uma opção viável para monitorar emergências (queimadas em áreas de conservação, florestas etc.), identificar áreas de risco e mapear a extensão de áreas atingidas pelo fogo. Uma visão geral pode ser

rapidamente fornecida por alguns satélites que recobrem extensas áreas do terreno em uma única passagem indicando possíveis focos de queimadas ativas, assim como regiões já afetadas pelo fogo. De acordo com Justino et al. (2002), o uso de satélites na detecção operacional de queimadas tem sido empregado nas últimas duas décadas. O INPE, através do Sistema de Monitoramento, Prevenção e Controle de Incêndios Florestais na Amazônia - PROARCO monitora as ocorrências de incêndios para todos os estados brasileiros através de sensores orbitais. A expressão focos de calor é utilizada para interpretar o registro de calor captado na superfície do solo por sensores espaciais.

De acordo com Antunes (2000), o sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) capta e registra qualquer temperatura acima de 47°C e a interpreta como sendo um foco de calor. Apesar da resolução espacial ser baixa (1,1 km), queimadas com áreas de no mínimo 900 m² podem ser detectadas. Segundo Justino et al. (2002), o tratamento e análise das imagens do sensor AVHRR no INPE para a detecção e monitoramento de queimadas é baseado em técnicas que vêm sendo aprimoradas desde 1985.

Segundo Vasconcelos et al. (2005), os focos de calor oriundos da análise de dados de satélites têm sido excelentes indicadores de onde, quando e com quais frequências relativas às queimadas estão acontecendo na Amazônia. Krug et al. (1992) salientam que além do conhecimento da distribuição de focos de fogo ativo, o levantamento de áreas queimadas pode ser estudado através do uso de tecnologias espaciais.

Shimabukuro et al. (2000) utilizaram 5 cenas do sensor óptico TM (Thematic Mapper), do satélite Landsat-5, que cobria 51% do estado de Roraima para identificar a área atingida pelas queimadas em 1998. Os resultados finais, baseados na interpretação visual das imagens apontaram que o incêndio de Roraima atingiu 11.730 Km² de área coberta por florestas. Avaliou ainda a área atingida por cada formação florestal: da área total atingida, 25% eram de floresta ombrófila densa submontana e 64% ficavam na região de contato entre floresta ombrófila e floresta estacional.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar os fatores ambientais (naturais e antrópicos), que contribuem para a ocorrência dos incêndios florestais em Roraima demonstrando sua distribuição espacial e identificando áreas de risco nas localidades do Apiaú e Ribeiro Campos, Município de Mucajaí, através do emprego de diferentes técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento em ambiente de sistemas de informações geográficas (SIGs).

2.2 Objetivos Específicos

a) Elaborar mapas temáticos de umidade do material combustível, número de dias sem chuva, risco dos focos de calor, estradas e declividade a partir de técnicas de geoprocessamento em ambiente de SIGs;

b) Estabelecer processo de integração digital entre imagens de sensoriamento remoto e informações contidas nos mapas temáticos, através da utilização da técnica IHS (Intensity - Hue - Saturation);

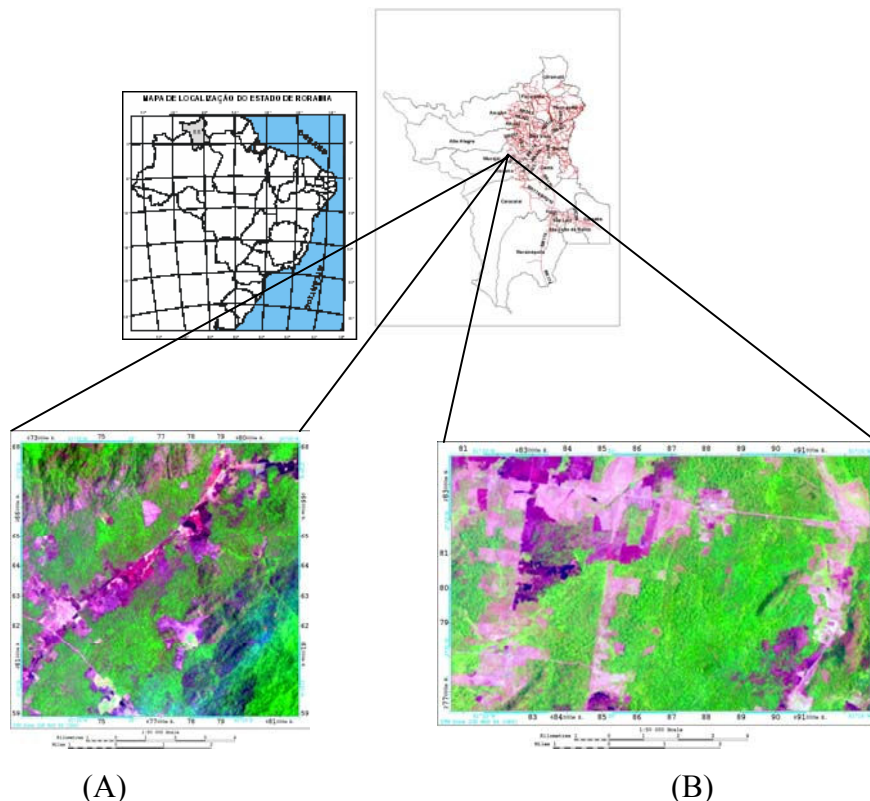
c) Elaborar mapas de susceptibilidade através da análise espacial via técnica *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

3.1.1 Localização

As áreas abrangem a região do Apiaú e Ribeiro Campos, no município de Mucajaí, porção central do estado de Roraima. A região do Apiaú está delimitada pelas coordenadas geográficas 2° 30' N a 2° 34' N e 61° 16' W a 61° 22' 30" W, enquanto que a de Ribeiro Campos delimita-se entre 2° 20' 30" N a 2° 25' 30" N e 61° 22' W a 61° 27' W (figura 1). Esta região é caracterizada por grandes extensões de terras com pastagens convertidas de florestas e pelo elevado fluxo de migrantes (BARBOSA; FEARNSIDE, 2000 a). Compreende uma das principais fontes de colonização gerenciadas pelo Instituto de Terras de Roraima - ITERAIMA no Estado, que engloba assentamentos de idades variáveis, distribuídos ao longo das estradas em forma de “espinha de peixe”, com áreas de Reserva Legal de floresta ao fundo dos lotes.



(A) (B)
 Figura 1- Localização das áreas de estudo: Ribeiro Campos (A) e Apiaú (B), Mucajaí - RR na imagem Landsat-7/ETM⁺ órbita/ponto 232/58 de 17/03/2003 na composição 5 (R) 4 (G) 3 (B).

3.1.2 Aspectos climáticos

O clima nas áreas estudadas, segundo a classificação de Köppen é do tipo Am, definido como Tropical Chuvoso, com período seco definido, principalmente entre os meses de dezembro a março, com temperaturas médias variando entre 25 e 35°C, com precipitações médias em torno de 2000 mm, apresentando maior intensidade pluviométrica no mês de julho (EMBRAPA, 1982; BARBOSA, 2000a).

3.1.3 Aspectos Fisiográficos

3.1.3.1 Geologia

De acordo com CPRM (1998), o arcabouço geológico do Estado de Roraima registra quatro principais domínios caracterizados por distintos aspectos litológicos e estruturais: Urariqüera, Güiana Central, Parima e Anauá - Jatapu. No entanto apenas as unidades do domínio Güiana Central recobrem a área de estudo. As litologias predominantes são pertencentes à Suíte Intrusiva Mucajaí, do domínio do cinturão de cisalhamento da Guiana Central formada por sienos a monzogranitos, quartzo monzonitos e quartzo sienito.

3.1.3.2 Relevô

De acordo com ZEE (2002), a unidade morfoestrutural que constitui a maior parte da região é denominada de Superfície Pediplanada, levemente ondulada à colinosa com formas residuais subordinadas, superfície constituinte da Depressão Marginal do Norte da Amazônia, caracterizada por terrenos levemente ondulados a colinosos, de dissecação fraca a média, desenvolvida sobre rochas graníticas e gnáissicas do Escudo das Guianas. Eventualmente, ocorrem formas residuais subordinadas (morros isolados, campo de blocos e colinas isoladas) e de acumulação (planos arenosos).

3.1.3.3 Solos

Conforme Projeto RADAMBRASIL (Brasil, 1975), toda essa região exibe um forte contato entre três grandes grupos de solo: (a) Podzólico Vermelho-Amarelo de textura média em solos concrecionários; (b) Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico de textura média com areias quartzozas e; (c) Litólico Distrófico sob afloramentos rochosos (serras) (BARBOSA; FEARNSSIDE, 2000a). Conforme descrito no ZEE (2002), os solos encontrados na área de estudo são: Latossolo Vermelho-Amarelo, Plintossolo Pétrico, Neossolo Litólico, Neossolo Litólico Distrófico, Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo.

3.1.3.4 Vegetação

Na área de estudo, a vegetação original foi caracterizada pelo Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975), como um mosaico entre dois tipos de Floresta Tropical Densa: a) submontana em relevo dissecado (Fdn) e b) sob baixas cadeias de montanhas (Fdt) (BARBOSA; FEARNSSIDE, 2000a). Segundo dados do ZEE (2002), na área de estudo a cobertura vegetal é bastante diversificada, sendo composta por Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional, Floresta Ombrófila Aberta, áreas alteradas com pastagem e áreas alteradas do sistema secundário.

3.2 Dados de umidade do material combustível

Os dados de umidade do material combustível, utilizado nesse estudo, foram obtidos através de trabalhos de campo, inserido em um contexto mais amplo de pesquisa, dentro da ação de Monitoramento Ambiental de Queimadas (MMA/GER), envolvendo as seguintes instituições: Departamento Estadual de Meio Ambiente, atual Fundação Estadual do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia - FEMACT/RR, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA/RR e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA/RR.

O objetivo do trabalho de campo foi coletar amostras de material combustível (material vegetal morto) para o levantamento de dados preliminares sobre sua umidade (%). Este material é constituído por folhas e gravetos com diâmetros inferiores a 2,5 cm, depositados sobre o solo. O trabalho de campo foi realizado entre novembro de 2002 e abril

de 2003, com intervalo entre as coletas de quinze dias, sempre no horário de pico das queimadas (11h e 15h). Para a coleta dos dados, inicialmente selecionou-se áreas de florestas primárias, sendo as mesmas bordeadas por sistemas antrópicos (pastagens, capoeiras e cultivos agrícolas), com histórico propício ao alastramento das queimadas de acordo com estudos sobre incêndios florestais desenvolvidos na região (BARBOSA; FEARNSSIDE 1999; SHIMABUKURO et al., 2000). Após a seleção das áreas, com o auxílio de um *Global Positioning System* (GPS), modelo Garmim II, foi iniciado o procedimento de coletas e anotadas as coordenadas geográficas desses pontos.

As coletas foram feitas de forma sistemática, com auxílio de um gabarito (quadrícula) fabricado em madeira com medida interna de 20 cm x 20 cm. Após a fixação do gabarito no solo, iniciou-se o processo de coleta das amostras, de acordo com a seguinte seqüência: (a) retirada do material vivo e materiais com diâmetro superiores a 2,5 cm de dentro do gabarito; (b) coleta do material combustível pretendido; (c) acondicionamento das amostras em sacos plásticos individuais com capacidade para 3 Kg, identificados com o nome e o número da unidade amostral e; (d) pesagem das amostras (peso úmido, em g), com balança dinamométrica (precisão de ± 1 grama), tipo vareta, com capacidade para pesar até 300g.

Os resultados obtidos nessa etapa foram anotados junto à informações adicionais como: características do relevo, vegetação e condições climáticas no momento da coleta, em fichas próprias (fichas de controle dos dados amostrais de coleta de combustíveis - apêndice A). Levando-se em consideração o tempo (11 a 15h) para a realização das coletas e a representatividade dos ecossistemas as coletas foram realizadas em número de 3, considerando como referencial o primeiro ponto de coleta e as outras distanciaram-se do mesmo cerca de 5 metros, perfazendo um total de 144 amostras, sendo 76 coletadas na região do Apiaú e 68 em Ribeiro Campos. As amostras coletadas no campo foram levadas para secagem em estufas no laboratório do INPA-RR, sediado em Boa Vista, a uma temperatura de $\pm 65^{\circ}\text{C}$ e em um espaço de tempo de aproximadamente 72 horas, até atingirem peso constante (seco). Em seguida, foram pesados (peso seco em g) e os resultados obtidos foram anotados em fichas elaboradas especificamente para as análises (fichas para controle de secagem do material combustível - apêndice B). A pesagem do material combustível no campo (úmido) e no laboratório (seco) foi feita com a mesma balança dinamométrica. Para determinar o teor de umidade das amostras seguimos a fórmula descrita abaixo:

$$U_{(\%)} = \frac{PU_{(g)} - PS_{(g)}}{PU_{(g)}} * 100 \quad (1)$$

Onde:

U % = teor de umidade do material combustível;

PU = peso úmido;

PS = peso seco.

3.3 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados foram coletados junto à Plataforma de Coleta de Dados - PCD, instalada no Município de Mucajaí, na localidade do Apiaú, localizada nas coordenadas geográficas 2°55' N e 61°30' W, pertencente à rede oficial de observação do INPE. Os parâmetros verificados foram: temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar. Esses dados são diários e contemplam o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2003.

Os dados de precipitação utilizados foram coletados a partir de um pluviômetro, instalado no campo experimental da Serra da Prata em Mucajaí, pertencente à EMBRAPA-RR. A série de dados de precipitação é diária e contempla o período de janeiro de 1999 a dezembro de 2003. Esta localidade é a mais próxima do Apiaú e Ribeiro Campos com dados de precipitação disponíveis.

3.4 Dados de focos de calor

Foram utilizados dados de focos de calor diários, detectados pelo sensor Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR a bordo do satélite National Oceanic and Atmospheric Administration - 12 (NOAA-12), para o município de Mucajaí.

Os respectivos dados foram coletados junto ao banco de dados de queimadas do INPE, disponibilizados em [http:// www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas](http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas). Os focos de queimadas foram considerados como verdade de campo em relação à incidência de queimadas na vegetação.

Desse banco de dados do INPE utilizou-se ainda, dados referentes ao número de dias sem chuva e risco dos focos, em função da escala de trabalho. Os valores de risco dos focos são gerados empregando-se: interpolação de dados observacionais de temperatura máxima, umidade relativa mínima, precipitação e número de dias consecutivos sem chuvas; cinco

classes principais de vegetação e; focos de queimadas detectados por satélites. Todos os dados utilizados foram referentes ao período de 1999 a 2003.

3.5 Dados de sensoriamento remoto

Neste trabalho foram utilizadas 02 cenas de satélite, cedidas pela FEMACT/RR, as quais visaram a integração digital com os mapas temáticos, além dos dados de altimetria obtidos pelo *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM disponibilizadas em http://www.jpl.nasa.gov/srtm/southamerica_ra_dar_imagens.html, adquiridos em março de 2005. A escolha das imagens orbitais levou em consideração fatores como boa visibilidade e pouca cobertura de nuvens. Na tabela 3 estão detalhadas as principais características desses dados.

Tabela 3 - Características das imagens orbitais utilizadas.

Satélite /Sensor	Órbita/Ponto	Bandas espectrais	Resolução espacial (m)	Data
Landsat- 5/ TM	232/58	3,4,5	30 x 30	18/08/1998
Landsat -7 /ETM ⁺	232/58	1,2,3,4,5,6,7	30 x 30	17/03/2003
<i>Shuttle Radar Topography Mission</i> - SRTM	-	X	90	2000

3.6 Tratamento dos dados

O fluxograma da figura 2 mostra a seqüência metodológica com as principais etapas adotadas nessa pesquisa, sendo detalhadas em seguida.

Todos os procedimentos do pré-processamento e processamento das imagens de sensoriamento remoto foram realizados no Laboratório de Geoprocessamento do Núcleo de Pesquisas em Recursos Naturais - NUREN da Universidade Federal de Roraima - UFRR, que disponibilizou computadores, impressoras, bem como os seguintes aplicativos:

- SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) versão 4.1, para ambiente Windows XP, desenvolvido pelo INPE, o qual foi utilizado para realizar a geração do MNT, geração de grade, fatiamento e elaboração de alguns mapas temáticos

como: umidade do material combustível, estradas, declividade, número de dias sem chuva, risco dos focos de calor e no emprego da AHP, ou seja, as técnicas de geoprocessamento.

- PCI “Geomatics” versão 9.1.7 esse aplicativo foi utilizado nas operações de pré-processamento, processamento e integração digital dos dados de sensoriamento remoto e mapas temáticos.

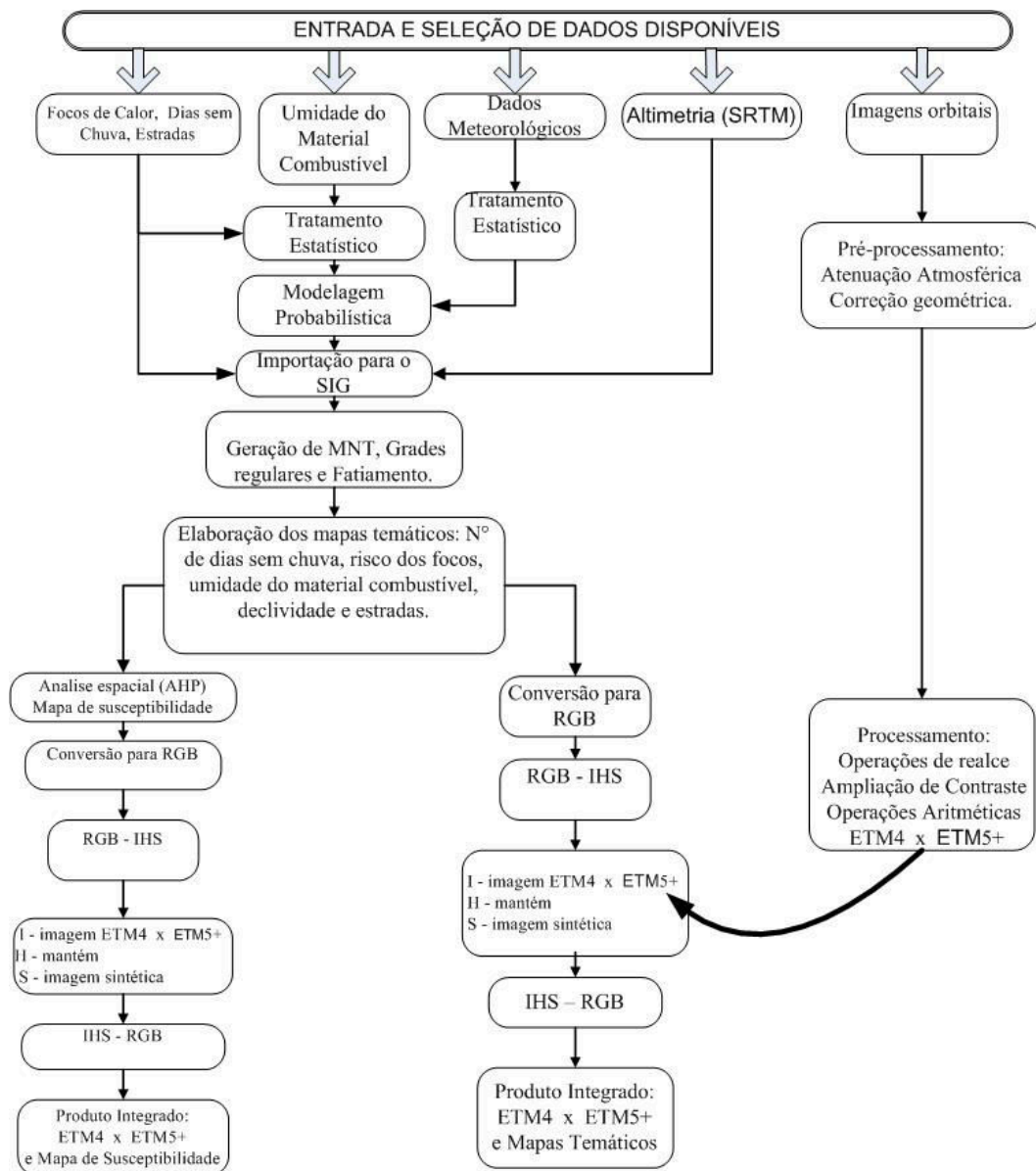


Figura 2- Fluxograma do tratamento dos dados.

3.6.1 Tratamento estatístico dos dados meteorológicos

Com o objetivo de avaliar a contribuição das variáveis meteorológicas, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento para o risco de fogo na área de estudo, foram estabelecidos limiares de risco, visando estabelecer condições favoráveis à ignição e propagação do fogo em ecossistemas florestais. No caso da umidade relativa do ar, adotou-se como critério de risco de fogo os eventos assinalados com valores abaixo de 50%; no caso da temperatura do ar adotou-se o limiar de risco acima de 33° C; para a velocidade do vento, adotou-se o limiar de 4 m.s⁻¹, valores referentes a médias mensais. Esses valores foram estabelecidos com base nos dados obtidos por trabalhos de monitoramento de material combustível realizado na região de estudo, quando ocorreram incêndios florestais e a temperatura máxima registrada quase sempre ultrapassava 35° C e a umidade relativa média ficava abaixo de 60% em áreas externas da floresta (BARBOSA et al., 2004).

Após a definição dos limiares críticos utilizou-se a distribuição de frequência para avaliar a variabilidade temporal e sazonal das variáveis meteorológicas, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Identificou-se ainda, a duração de veranicos, que conceitualmente contribuem para o aumento do risco do fogo. Posteriormente, definiu-se que meses, com ocorrência de intervalos de 15 dias ou mais, com tais condições de risco, seriam considerados críticos dentro do período observado.

A partir de observações diárias das variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento construiu-se séries temporais, compreendendo o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2003. As observações consideraram o ritmo circadiano, expresso nos horários: 02:00H, 05:00H, 08:00H, 11:00H, 14:00H, 17:00H, 20:00H, 23:00H. Os limiares críticos foram utilizados para a determinação de ocorrência do risco de fogo, tomando-se como base dados climáticos condicionando o risco de fogo a um dia do calendário juliano, nos diferentes horários, através da aplicação de regras (*rule based*). A partir da aplicação destas regras, foram construídas séries cronológicas de realizações dos eventos de risco de fogo em função dos parâmetros climáticos.

Para identificar a distribuição temporal da precipitação pluviométrica utilizaram-se os valores mensais de precipitação, obtidos por meio de médias anuais, com seus respectivos intervalos de confiança.

3.6.2 Tratamento estatístico dos dados de umidade do material combustível

Para a determinação da percentagem de umidade contida nas amostras do material combustível utilizaram-se técnicas de estatística descritiva, englobando médias, desvio padrão, análise de variância em cada ponto analisado. Esses dados inicialmente serviram para a elaboração do mapa temático da umidade do material combustível e posteriormente foram empregados no modelo de risco dos incêndios.

3.6.3 Tratamento estatístico dos dados de focos de calor

Utilizou-se a distribuição de freqüência para avaliar a variabilidade sazonal dos focos de calor e sua distribuição sobre a fitofisionomias. Os dados de focos de calor foram ainda relacionados com as variáveis meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento) na análise de risco de fogo, visto que estas conceitualmente têm maior contribuição para a ocorrência dos incêndios. Nessa etapa foi aplicada uma regressão linear, ou seja, a análise individual da relação dos focos de calor com as variáveis independentes, temperatura e umidade relativa do ar e velocidade do vento, como não foi observado correlações lineares empregou-se então, regressão exponencial de acordo com as funções descritas abaixo:

linear $y=b_0+b_1x$ (2)

exponencial negativa $y=b_0e^{-b_1x}$ (3)

3.6.4 Modelo probabilístico de ocorrência e risco de incêndios florestais

Para identificar os fatores ambientais (naturais e antrópicos) mais importantes na previsão do risco de fogo, aplicou-se a técnica da árvore decisão ou classificação. A técnica de árvores de decisão é uma expansão multivariada, consistindo-se de uma matriz de critérios associados a atributos, onde são aplicados algoritmos de busca destes critérios que evidenciem os atributos definidos, atuando assim, na redução de um problema complexo em

sub-problemas mais simples. A partir das observações, foram assinalados os seguintes indicadores: número e focos de calor: rank da média da série histórica; precipitação: rank da média da série histórica; tipos de via de acesso: categoria a partir da observação a campo e relevo: categoria a partir da observação a campo (tabela 4).

Tabela 4 - Dados de entrada para análise no modelo probabilístico.

Indicador	Fonte	Formato	Níveis
Número e focos	Média histórica	rank	F1: jan.nov.dez. F2: fev. F3: mar.
Precipitação	Média histórica	rank	A2: jan.fev.abr. A4: mar. A5: nov.dez.
Tipos de Via de Acesso	Categoria	categoria	Primeira ordem; segunda ordem
Relevo	Categoria	categoria	Plano; não -plano

Como critério de risco de fogo, foi utilizado o limiar de 10%, da umidade do material combustível com base em trabalhos desenvolvidos na região (BARBOSA et al., 2004). Os dados foram analisados com auxílio do pacote estatístico Statistica que apresenta como algoritmo de seleção de critérios em árvores de decisão o algoritmo Splus (STATSOFT, 1999).

Para a geração do modelo de ocorrência e risco de incêndios utilizaram-se os dados percentuais de umidade de 144 amostras de material combustível. O aspecto natural da cobertura vegetal não foi considerado, uma vez que as coletas das amostras de materiais combustíveis foram realizadas em ambiente já antropizado.

Ressalta-se ainda, que o critério declividade identificado como plano e não-plano refere-se a aspectos de relevo ligeiramente plano e ondulado, respectivamente. As análises estatísticas, bem como o modelo de ocorrência e risco dos incêndios foram desenvolvidas junto à EMBRAPA/RR, na área de atuação de estatística e experimentação agropecuária.

3.6.5 Processamento de imagens digitais

A análise dos dados digitais através de sistemas de processamento de imagens possibilita uma grande flexibilidade na manipulação das informações contidas em produtos de sensores remotos.

O processamento digital das imagens Landsat-7 /ETM⁺ 232/58 de 17/ 03/2003, e Landsat-5 TM 232/58 de 18/08/1998 consistiu nas operações de pré-processamento: atenuação dos efeitos atmosféricos e correção geométrica. As técnicas de tratamento de imagens, atenuação dos efeitos atmosféricos e correção geométrica, foram utilizadas, respectivamente para, atenuar os efeitos de interferência atmosférica e ajustar as linhas e colunas das imagens multitemporais. Na etapa de processamento empregaram-se operações de realce e integração de dados digitais, visando melhorar a qualidade visual das imagens e ressaltar as informações de maior interesse, a fim de facilitar o processo de fotointerpretação.

3.6.5.1 Atenuação dos efeitos atmosféricos

Com o intuito de atenuar os efeitos atmosféricos que influenciam a quantidade de energia eletromagnética captada pelos detectores do sistema imageador, optou-se pela técnica de subtração do pixel escuro. Nesta técnica é feita a leitura dos números digitais (NDs) referentes a diferentes alvos como: água limpa, sombras topográficas e de nuvens da imagem que teoricamente teriam níveis de cinza igual a zero. Em seguida calcula-se os valores médios dos NDs para cada banda analisada, elaborando-se um gráfico entre esses valores médios e o comprimento de onda médio de cada banda até alcançar-se uma curva decrescente assintótica a qual comprova então, a atenuação dos efeitos atmosféricos.

3.6.5.2 Correção Geométrica

No sentido de buscar uma adequação da imagem a uma base cartográfica, realizou-se a correção geométrica. Esta operação foi realizada através do registro imagem-imagem. A imagem Landsat-7/ETM⁺ de 17/03/2003 foi registrada a partir da imagem Landsat5 de 18/08/1998 previamente georreferenciada. A correção geométrica foi feita através da aplicação de transformação polinomial de 3º grau, com a coleta de 15 pontos de controle para

cada área. Na etapa de aquisição dos pontos de controle via tela considerou-se a distribuição regular desses por toda a área de estudo, além do número mínimo necessário para a transformação polinomial. Para a reamostragem dos pixels da imagem foi utilizado o método de convolução cúbica.

3.6.5.3 Operações de realce

Com a finalidade de melhorar a qualidade visual e, por conseguinte a discriminação dos alvos de interesse foi realizada operações de ampliação de contraste, para cada banda ETM (3, 4 e 5), de modo a expandir a amplitude original dos níveis de cinza para todo o intervalo (0,255). Nessa etapa foi aplicada a função raiz, também conhecida como transformação logarítmica, esse realce é bastante eficaz em imagens que apresentem assimetria na distribuição dos níveis de cinza, como é o caso das áreas de estudo (parte da vegetação densa, parte desmatada e áreas de antropizadas com lavouras e pastagens). A principal vantagem desta técnica é que este procedimento de processamento não altera o padrão de resposta do histograma original, simplesmente expande suas extremidades (CROSTA, 1992).

Um dos empregos das operações aritméticas consiste na redução de um menor número de bandas. A operação aritmética de multiplicação entre as bandas ETM4 e ETM5 da imagem Landsat-7/ETM⁺ foi utilizada com o objetivo de permitir a compressão de dados e o realce das feições do relevo e, por conseguinte, da vegetação a qual tende a acompanhar os grandes traços do relevo.

3.6.5.4 Integração de dados digitais

Com o objetivo de analisar que fatores ambientais que contribuem para os incêndios florestais e identificar áreas susceptíveis em uma única imagem utilizou-se o processamento de integração de dados digitais através da técnica Intensity - Hue - Saturation (IHS).

Essa técnica foi utilizada para a geração de produtos integrados entre as imagens Landsat-7 /ETM⁺ e os mapas temáticos da umidade do material combustível, distância das estradas, número de dias sem chuva, risco dos focos, declividade e AHP. Conforme Harris et

al. (1999), esta técnica constitui-se bastante flexível, ao permitir o controle individual sobre os atributos IHS.

Sobre as imagens em níveis de cinza, obtidas através do modelo numérico do terreno (MNT), foi aplicada a técnica de pseudo-cor, ou seja, a transformação da escala de níveis de cinza em escala de cores, implementadas através da manipulação das “*Look-up tables*” (luts), para representá-las no espaço RGB. As imagens RGB dos mapas temáticos serviram de entrada para a conversão RGB→IHS, ao retornar ao espaço de cores RGB, o canal intensidade (I) foi substituído pela imagem resultante da multiplicação entre as bandas (ETM4 x ETM5), o componente matiz (H) foi mantido, enquanto que o de saturação (S) foi substituído por uma imagem sintética com valor digital constante 60 (saturação sintética).

3.6.6 Técnicas de geoprocessamento

Para a elaboração dos mapas temáticos: umidade do material combustível, risco dos focos e número de dias sem chuva, os quais representam a espacialização dos fatores ambientais. Inicialmente gerou-se um modelo numérico do terreno (MNT), para a geração da grade regular utilizou-se o interpolador média ponderada por cota e por quadrante, seguido do fatiamento em intervalos de classes. O interpolador selecionado utiliza cotas dos 8 vizinhos mais próximos para calcular o valor de cota de cada ponto da grade, porém atribui-se pesos variados para cada ponto amostrado através de uma função que considera a distância do ponto cotado ao ponto da grade, conforme a proximidade do ponto em questão por quadrantes. Sendo esse o interpolador mais rigoroso disponível no Spring, após a técnica de Krigeagem, pela qual a amostragem não permitiu um ajuste adequado do semivariograma.

No que diz respeito ao mapa temático de declividade, inicialmente importou-se o modelo de elevação digital oriundo dos dados SRTM a partir do qual gerou-se um modelo numérico do terreno referente a declividade.

Para compreender a dinâmica do uso do fogo em áreas com intensa rede viária, foram construídos mapas de distâncias que consiste na criação de *buffers* (áreas de influência) com larguras específicas (distâncias) em torno da rede viária. O critério adotado para a criação do mapa temático referente a estradas foi baseado em observações de campo.

Para os mapas temáticos de número de dias sem chuva e risco dos focos de calor as classes foram definidas na forma de três intervalos iguais, considerando-se os limites máximos e mínimos encontrados. Os intervalos de classes referentes a umidade do material

combustível foram estabelecidos com base nos dados obtidos por trabalhos de monitoramento do material combustível realizado na região (BARBOSA et al.,2004).

As classes e níveis de risco adotado para os fatores ambientais analisados podem ser observados na tabela 5.

Tabela 5 - Classes e níveis de risco dos fatores ambientais.

Classes	Níveis de risco
Umidade do material combustível Apiaú e Ribeiro Campos (%)	
5 - 8	Baixo
8 -12	Médio
12 - 25	Alto
> 25	Muito alto
Número de dias sem chuva Apiaú e Ribeiro Campos	
1 -5	Baixo
5 - 10	Médio
10 -27	Alto
Risco dos focos de calor Apiaú	
0 - 0,035	Baixo
0,035 - 0,70	Médio
0,70 - 1,05	Alto
Risco dos focos de calor Ribeiro Campos	
0,00142 - 0,0351	Baixo
0,0351 - 0,70	Médio
0,70 - 1,05	Alto
Distância a estradas Apiaú e Ribeiro Campos (m)	
0 - 1000	Alto
1000 - 2000	Médio
2000 -10000	Baixo
Declividade Apiaú e Ribeiro Campos (°)	
0 - 3	Muito baixa
3 - 9	Baixa
9 - 15	Média
15 - 21	Alta
>30	Muito alta

A primeira etapa a ser realizada no emprego da técnica de análise espacial AHP consistiu na definição do grau de importância de cada fator ambiental a susceptibilidade ao fogo. Nessa etapa foram utilizados os mapas temáticos referentes a declividade, risco dos focos de calor, distâncias a estradas e número de dias sem chuva, sobre esses mapas foram realizadas análise espacial, onde cada um recebeu um peso de importância, cuja importância foi identificada através do modelo probabilístico de ocorrência e risco dos incêndios e no conhecimento do objeto de estudo. A relação de importância dos fatores ambientais foi utilizada como dado de entrada em uma matriz de comparação pareada, onde foram calculados os autovalores e autovetores da matriz.

No SPRING, o módulo de análise espacial calcula os autovetores da matriz de pesos, os quais correspondem aos ponderadores das evidências, e a razão de consistência que é um

parâmetro que indica a coerência nas relações. Foram comparadas as importâncias entre os dados que resultou em um modelo numérico do terreno (MNT) final, sendo gerada uma grade, que, posteriormente foi fatiada pelo método de média ponderada por cota e por quadrante para se obter um mapa temático de identificação de áreas susceptíveis a ocorrência de fogo. Assim foi possível determinar e identificar, com maior precisão, quais as áreas apresentam: alto, médio e baixo potencial para a ocorrência de fogo.

Os fatores ambientais representados através dos mapas temáticos: risco dos focos, declividade, distâncias de estradas e número de dias sem chuva. Foram classificados na análise espacial AHP em função da importância relativa de cada um na ocorrência e risco dos incêndios. Pesos foram atribuídos para cada parâmetro nas áreas de estudo (apêndice C e D). Vale ressaltar que a atribuição dos pesos foi feita com base nas análises estatísticas elaboradas para a construção do modelo probabilístico permitindo dessa forma, uma análise precisa da situação de risco para a tomada de decisões.

O algoritmo utilizado na árvore de classificação indicou, a importâncias das variáveis classificatórias, sob a seguinte ordem (consistindo esta de uma escala de importância variando de 0-100, em que 100 assinala a maior importância): precipitação (100), relevo (85), sazonalidade dos focos de calor : (83) e tipo de via de acesso (52).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados meteorológicos

Na avaliação da umidade relativa do ar, observa-se que o limiar crítico estabelecido (<50%) para o risco do fogo ocorreu predominantemente no horário das 14:00H (figura 3). As freqüências de ocorrência superiores a 15 dias foram observadas em quase todos os anos, com exceção de 2000. No ano de 2001, no mês de fevereiro, a alta freqüência (superior a 15 dias) foi observada nos três horários, enquanto que em março se restringiu a 14:00H e 17:00H e em abril a 14:00 H. Novas observações de alta freqüência ocorreram em setembro e outubro as 14:00 H e em novembro as 14:00H e 17:00 H (Apêndice E).

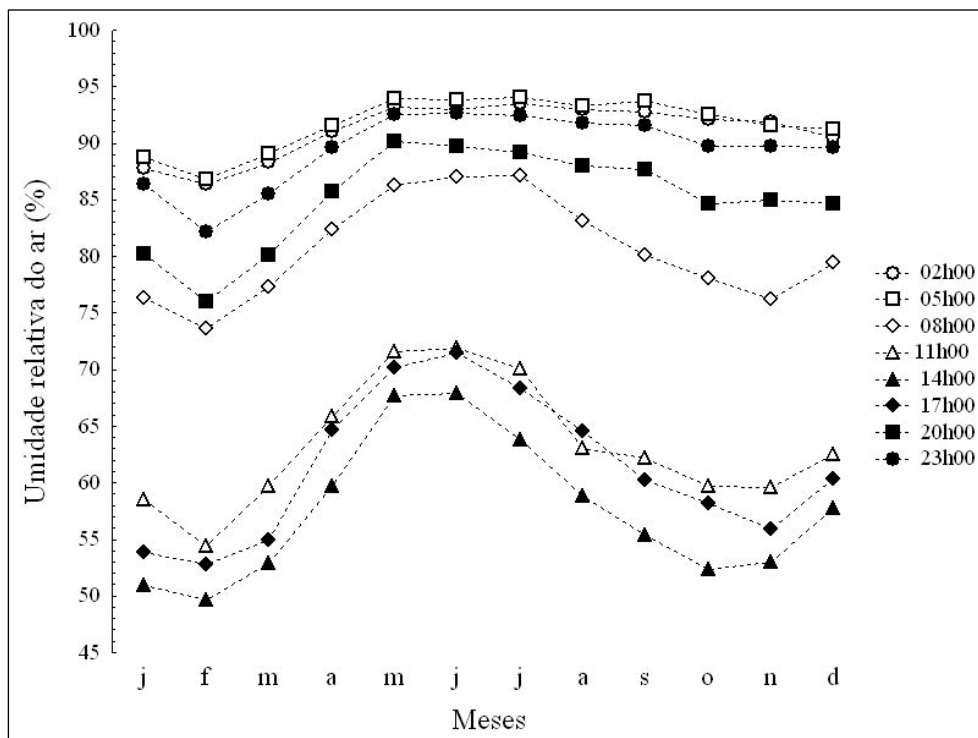


Figura 3-Valores médios mensais da umidade relativa do ar (%) no período 2000 a 2003, no Apiaú, Mucajaí-RR.

Fonte: INPE, 2004

No ano de 2002, observou-se no mês de fevereiro e depois nos meses de outubro e novembro, predominantemente às 14:00H e 17:00H. Em 2003, a alta frequência foi observada nos meses de janeiro a março, nos três horários em janeiro e às 14:00H e 17:00H em fevereiro e março (Apêndice E).

De acordo com os dados da figura 4, observa-se que a ocorrência do limiar crítico em função da temperatura do ar ($>33^{\circ}\text{C}$) não foi assinalada para o período analisado.

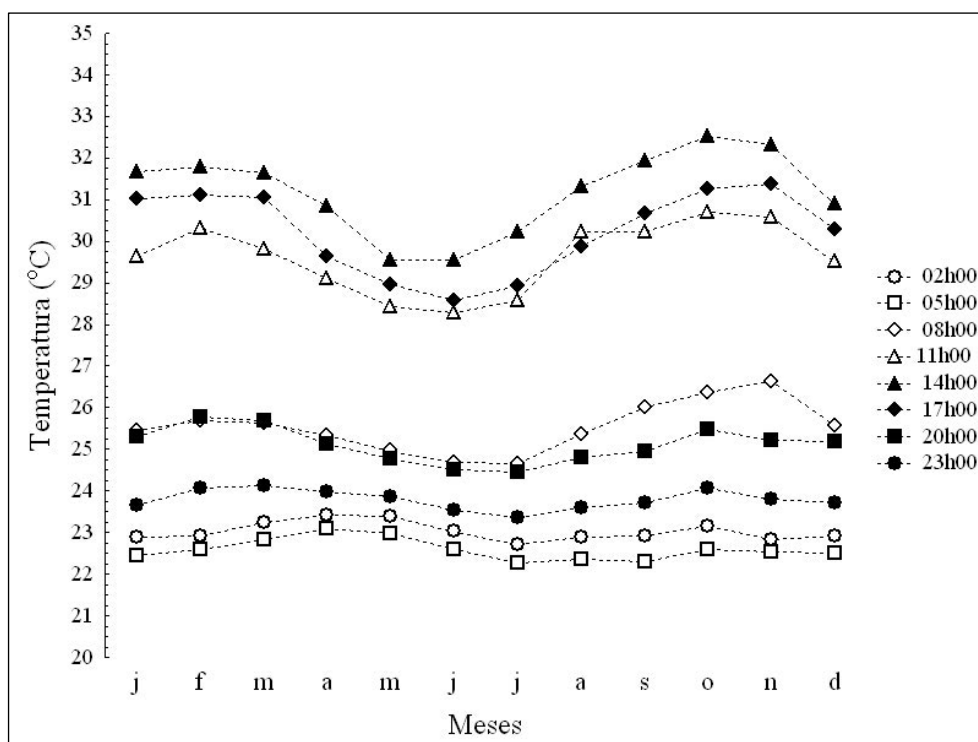


Figura 4-Valores médios mensais de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) no período 2000 a 2003, no Apiaú, Mucajaí-RR.

Fonte: INPE, 2004

As frequências de ocorrência superiores a 15 dias foram observadas em quase todos os anos, com exceção de 2000. No ano de 2001, a alta frequência do limiar foi observada em março (14:00H e 17:00H) e em outubro e novembro (14:00H). Já em 2002, os meses de outubro e novembro tiveram ocorrências superiores a 15 dias nos horários de 14:00H. Em 2003, somente o mês de janeiro apresentou alta frequência no horário de 14:00H (Apêndice E).

Na avaliação do parâmetro velocidade do vento (figura 5), não foi possível identificar, dentro da série temporal, predominância de ocorrência de horários críticos. O limiar

estabelecido (4 m.s^{-1}) foi observado em todos os horários, porém não houve frequência superior a dois dias em um mês desse limiar. Dessa forma o parâmetro velocidade do vento não foi considerado indicador para o risco de fogo, não sendo analisado concomitantemente com os demais.

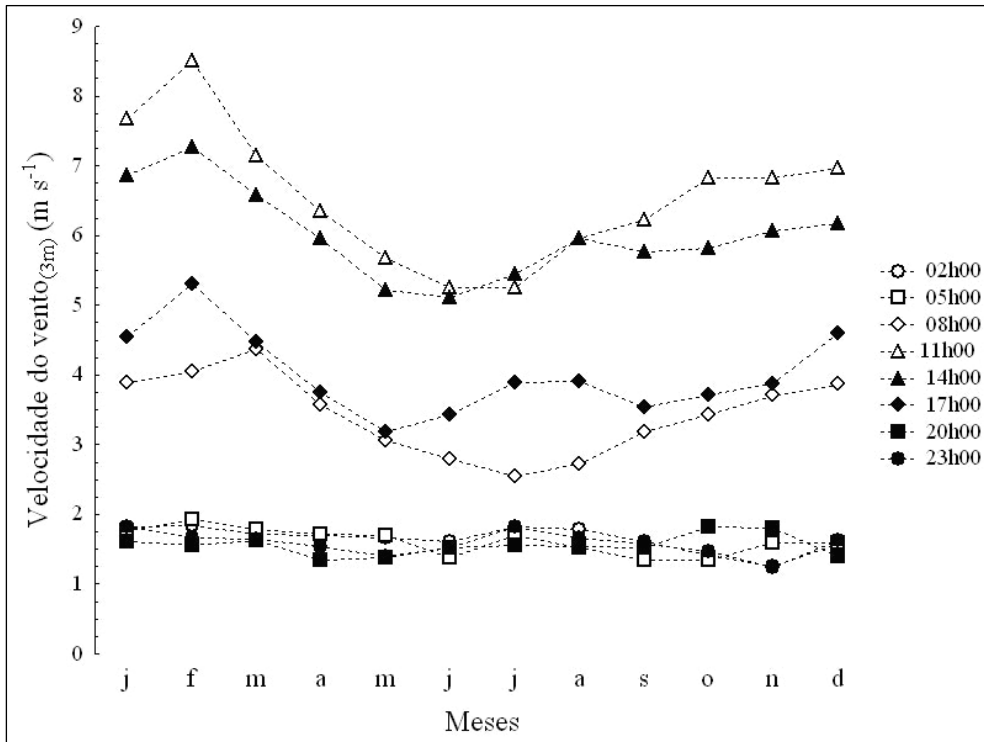


Figura 5-Valores médios mensais da velocidade do vento (m.s^{-1}) no período 2000 a 2003, no Apiaú, Mucajaí-RR.

Fonte: INPE, 2004

Na combinação dos parâmetros umidade relativa e temperatura do ar, como indicadores do risco de fogo, foi observada a ocorrência durante todo o período analisado que o horário de 14:00H apresenta predominantemente condições mais favoráveis de risco de fogo, variando os meses considerados críticos (superior a 15 dias com risco): nenhum em 2000; março, outubro e novembro de 2001; outubro e novembro de 2002 e janeiro de 2003.

A distribuição mensal da precipitação pluviométrica referente ao período de 1999 a 2003 pode ser observada na figura 6. Analisando esses dados, verifica-se que em 1999 ocorreram índices de precipitação elevados nos meses de janeiro a julho, declinando a partir de agosto. Nos meses de setembro a dezembro observa-se uma tendência de elevação dos índices pluviométricos. Em 2000 observa-se que ocorre uma diminuição nas precipitações do

mês de janeiro para fevereiro, e a partir de fevereiro observa-se uma elevação contínua nos índices pluviométricos que diminuem consideravelmente a partir de agosto, ocorrendo um pequeno crescimento nos meses de outubro e novembro e diminuindo em dezembro. De modo geral, o ano de 2000 apresenta elevados índices pluviométricos.

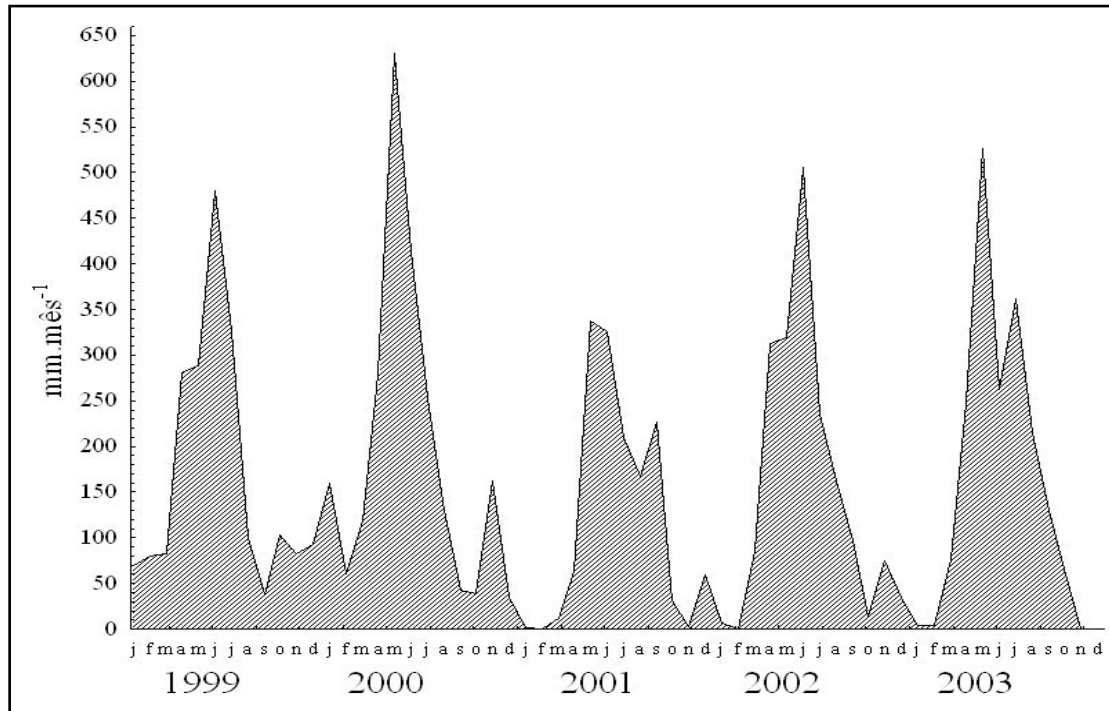


Figura 6 - Valores de precipitação pluvial mensal, ao longo dos anos de 1999-2003, no campo Experimental Serra da Prata, Mucajá - RR.

Fonte: EMBRAPA-RR, 2004.

Para o ano de 2001 observa-se que praticamente não ocorreram precipitações nos meses de janeiro e fevereiro, somente a partir do mês de março começam a ocorrer precipitações intensificando-se até junho. A partir de julho observa-se uma brusca redução nos índices pluviométricos mantidos até agosto. Em setembro observa-se uma elevação sensível nos índices pluviométricos seguidos de uma redução mantida até o mês de novembro, em dezembro voltam a elevarem-se os índices pluviométricos. A observação da figura 6 evidencia que no ano de 2001 ocorreram chuvas abaixo da média histórica, em relação aos demais anos analisados o que pode ser justificado pela influência do fenômeno El Niño. Barlow e Peres (2003) afirmam que os eventos El Niño reduzem drasticamente a precipitação na estação seca na Amazônia, agravando mais ainda o déficit hídrico da floresta. Essas estações secas são muitas vezes mais intensas que o normal, eliminando toda a água do solo

até a profundidade máxima das raízes e fazendo com que caíam as folhas de muitas árvores. Essa queda maior de folhas (deciduidade) também abre o dossel da floresta, contribuindo ainda mais para secar o sub-bosque e a camada de folhas, tornando-as inflamáveis. De acordo com Nepstad et al. (1999), os eventos El Niño, estão associados com secas severas em grande parte da região Amazônica, tem sido mais freqüentes e intensos nos últimos quinze anos.

Em 2002 o mês de janeiro apresenta reduzidos índices pluviométricos, a partir de fevereiro começam a ocorrer precipitações elevando-se até o mês de julho quando atingem o pico máximo de precipitação, a partir de agosto as precipitações reduzem-se até o mês de outubro. Nos meses de novembro a dezembro ocorrem acréscimos nesses índices.

Para o ano de 2003 verifica-se que os meses de janeiro e fevereiro apresentam índices pluviométricos muito reduzidos. A partir do mês de março começam a elevar-se os índices de precipitação intensificando-se até maio. Em maio observa-se um acentuado decréscimo nos índices até o mês de junho. Em julho os índices pluviométricos aumentam e mantêm-se até o mês de setembro, a partir de então sofrem redução até dezembro.

De forma ampla observa-se na figura 7, que os meses de maio, junho e julho apresentaram maiores taxas de precipitação. Os meses de abril e agosto apresentam índices de precipitação intermediários. Entre os meses de setembro e março ocorreram reduções significativas nos índices de precipitação. Quanto ao número de dias sem chuvas observa-se ainda na figura 4, que o menor número de dias sem chuva é encontrado nos meses de maio, junho e julho, enquanto que os maiores encontram-se nos meses de outubro, novembro e dezembro ocorrendo, portanto, em períodos críticos à ocorrência dos incêndios florestais.

Segundo Nepstad et al. (1999), quando há uma redução nas chuvas e uma seca prolongada a vegetação pode esgotar a água disponível no solo, o que promove uma acentuada decíduosidade foliar. Uhl e Kauffmam (1990), afirmam que florestas intactas resistem ao fogo mesmo após 16 dias sem chuvas, mas áreas já queimadas são mais vulneráveis: 90% da área de floresta queimada mais de duas vezes, é susceptível ao fogo com poucos dias sem chuva e a pequena parcela que escapa não resiste a uma seca maior. Em áreas de florestas exploradas, grandes clareiras podem queimar após somente 5 a 6 dias sem chuva na estação seca.

Cochrane (2000), afirma que após uma queimada, muitas árvores morrem, com isso a floresta perde grande parte do dossel, o que facilita a entrada de luz solar, aquecendo o ambiente. Esse aquecimento acelera o ressecamento dos materiais combustíveis e torne a floresta mais susceptível a uma nova queimada. Schroeder e Buck (1970) afirmam que condições críticas de inflamabilidade não são revertidas facilmente. Combustíveis florestais

extremamente secos podem ser umedecidos superficialmente por uma chuva matinal e secarem rapidamente, tornando-se inflamáveis durante a tarde.

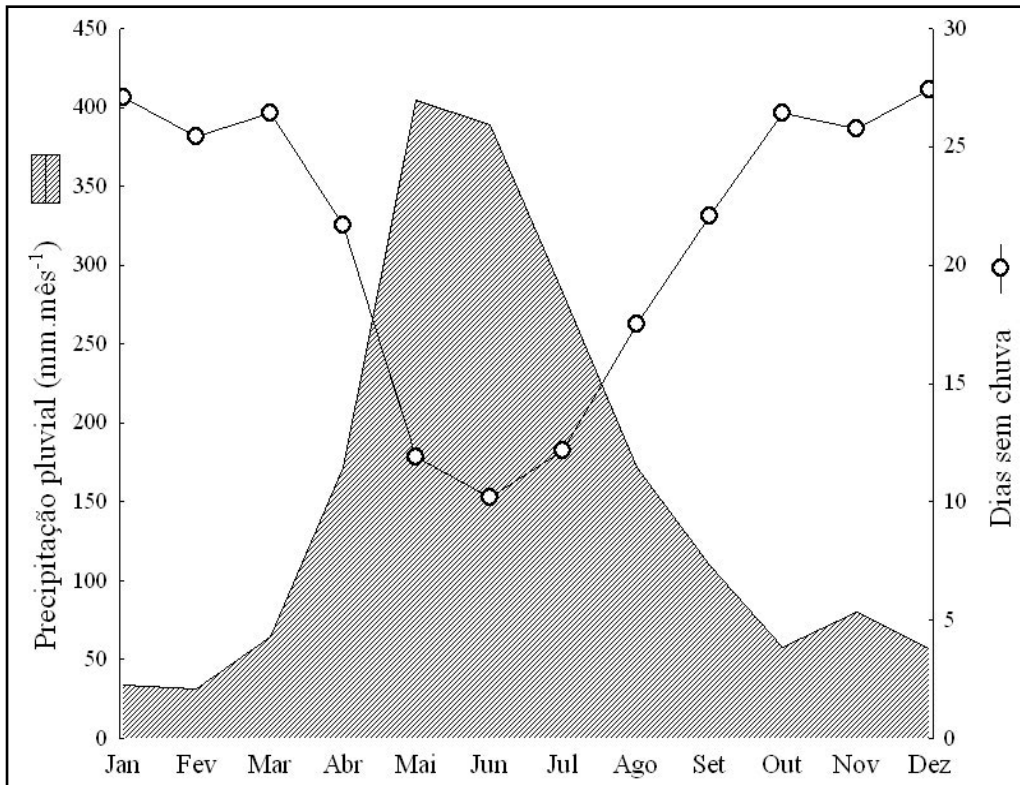


Figura 7 - Valores médios de precipitação e dias sem chuva mensais, ao longo dos anos de 1999-2004, no Campo Experimental Serra da Prata, Mucajaí - RR.

Fonte: Embrapa - Roraima 2004.

4.2 Dados de focos de calor

A evolução temporal e a distribuição dos focos de calor sobre os diferentes tipos de vegetação, nos anos de 1999 a 2003 podem ser observadas na figura 8. A partir da análise dos dados sobre os focos de calor é possível afirmar que nos anos de 1999 e 2000 não ocorreu elevada incidência de focos de calor. Em 2001 ocorreu elevada incidência de focos; em 2002 houve um decréscimo no número de focos e, em 2003 houve uma elevada incidência de focos de calor em Mucajaí.

Nos anos de 1999 e 2000 a prática do uso do fogo foi pouco empregada por agricultores e fazendeiros, para formação de roças e pastagens, refletindo dessa na diminuição

da incidência de focos de calor. Este fato pode ser justificado porque esses anos apresentaram índices pluviométricos próximos à média climatológica, levando os agricultores e fazendeiros a realizarem a queima em 2001. Em 2001, houve ainda um período de estiagem prolongado sob influência do fenômeno El Niño, fazendo com que aumentassem substancialmente a quantidade de focos registrados nesse ano.

No ano de 2002, não se registrou alta incidência de focos de calor, em função provavelmente da diminuição das atividades de queima e também porque não houve anomalias negativas de precipitação. Em 2003, ano considerado seco para os padrões locais, foram detectadas temperaturas elevadas, além da redução do índice pluviométrico e da umidade relativa do ar, provavelmente devido a influência do evento El Niño. Esse ano também foi marcado por forte atividade de queima por parte dos agricultores e fazendeiros.

De acordo com Barbosa et al. (2004), no início de 2003, a seca se agravou em Roraima, fazendo com que a umidade relativa do ar ficasse, em média, abaixo de 60% e a temperatura média máxima quase sempre ultrapassasse os 35 °C.

A duração prolongada dessas condições provoca déficit hídrico no sistema florestal, levando a vegetação, como forma de defesa fisiológica, a liberar folhas, galhos e gravetos em maior quantidade. Difundidos pelo chão das florestas, tais produtos, considerado material combustível fino, adquirem rápida condição de inflamabilidade diante da escassa capacidade de conservação de água nos tecidos vegetais.

Observa-se ainda, na figura 8, que a grande maioria dos focos de calor atinge a vegetação de contato em todos os anos observados e uma quantidade reduzida de focos incide sobre a floresta Ombrófila Densa. Segundo Barbosa et al. (2004), nesse ecossistema concentram-se inúmeros projetos de colonização e, conseqüentemente, maior concentração de estradas vicinais, fatores que têm contribuído para o aumento nas queimadas e o alastramento dos incêndios.

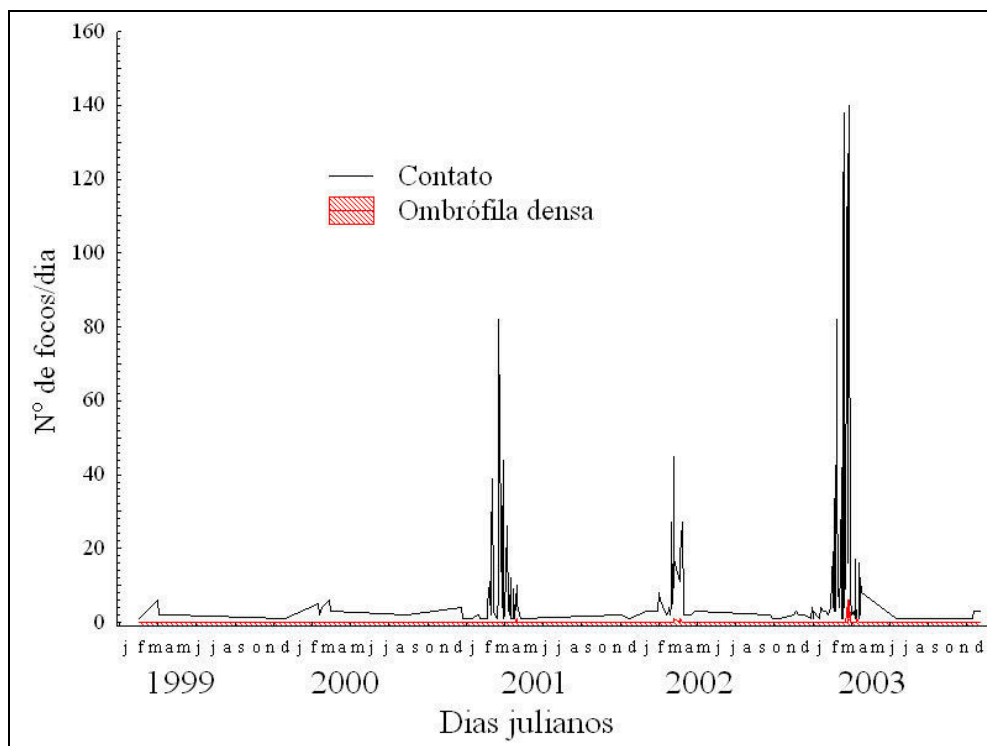


Figura 8 - Frequência diária de focos de calor ao longo dos anos de 1999 a 2003 no município de Mucajaí - RR, em função das fitofisionomias.

Fonte: INPE, 2004.

Analisando-se os dados apresentados na figura 9, observa-se que a incidência de focos de calor começa a elevar-se a partir dos meses de janeiro e fevereiro e intensifica-se no mês de março, ocorrendo uma redução na incidência dos focos ainda no final de março e, em abril, ocorre um acréscimo na incidência. Observa-se ainda que a partir do final de abril até meados de novembro a frequência de focos de calor mantém-se constante, a partir do final do mês de novembro passa a sofrer elevações novamente.

O período seco regional (dezembro a março) é utilizado por agricultores e fazendeiros para realizarem queimadas, sejam em áreas de pastagens nativas para remoção de massa vegetal ou em áreas de florestas primárias ou secundárias para o cultivo de subsistência ou implantação de pastagens.

Outro fator que provavelmente tem contribuído para a elevação na incidência de dos focos de calor é o fenômeno El Niño, dado seu efeito sobre a região Norte com elevação da temperatura e redução de índices pluviométricos e de umidade relativa do ar explicando, dessa forma, o elevado número de focos no período analisado.

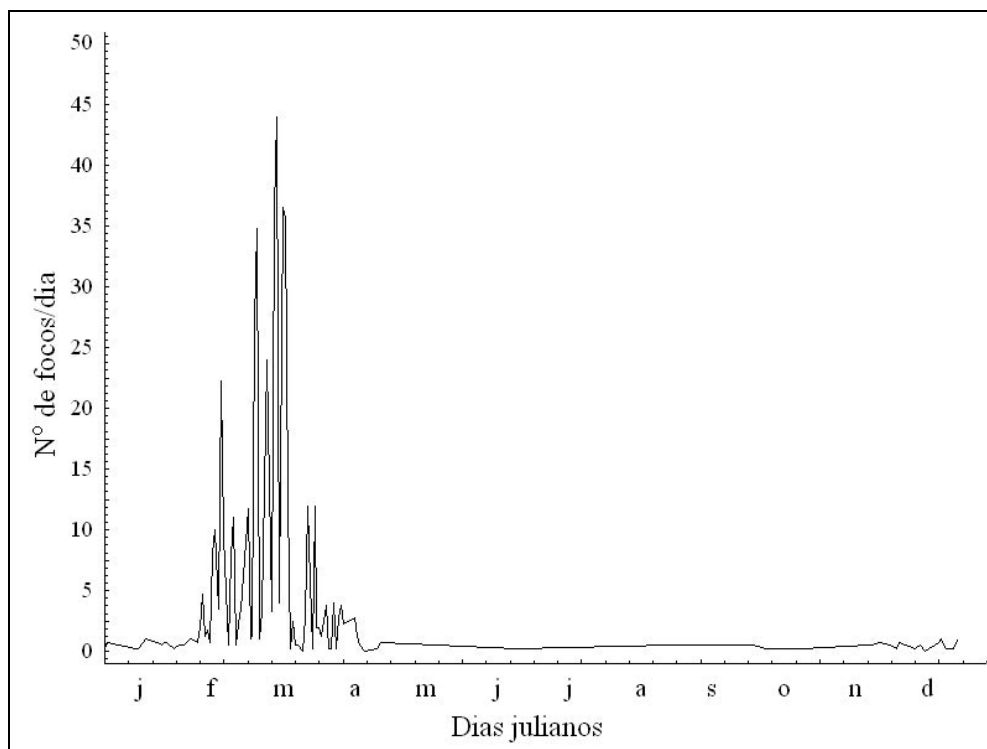


Figura 9 - Frequência média diária de focos de calor ao longo dos anos de 1999 a 2003 no município de Mucajaí - RR.

Fonte: INPE 2004.

Foram aplicadas regressões lineares e exponenciais para modelar e indicar quais variáveis influenciariam significativamente na ocorrência de incêndios florestais. As correlações entre as variáveis, velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar e focos de calor conforme demonstram as figuras 10,11e12. A única correlação que apresentou um comportamento capaz de ser modelado foi representada pela umidade relativa do ar e focos de calor, onde foi utilizado o modelo de regressão exponencial apresentado na figura 12. A regressão demonstrou que a umidade relativa do ar foi a única variável que, por si só, contribui para ocorrência de focos de calor, isso provavelmente deve-se a contribuição dessa variável sobre o aumento da inflamabilidade do material combustível, pois a quantidade de umidade que o material seco pode absorver depende, basicamente, da umidade relativa do ar. O gráfico da figura 12 mostra a ocorrência de focos de calor com a umidade relativa próxima a 100%, em razão de que as medidas de umidade foram obtidas a partir de apenas um ponto do município junto a uma plataforma de coleta de dados, enquanto que os focos de calor utilizados na análise foram registrados para todo o município. De acordo com Justino et al. (2002), a presença humana pode se mostrar mais importante que fatores meteorológicos na explicação da ocorrência de focos de calor.

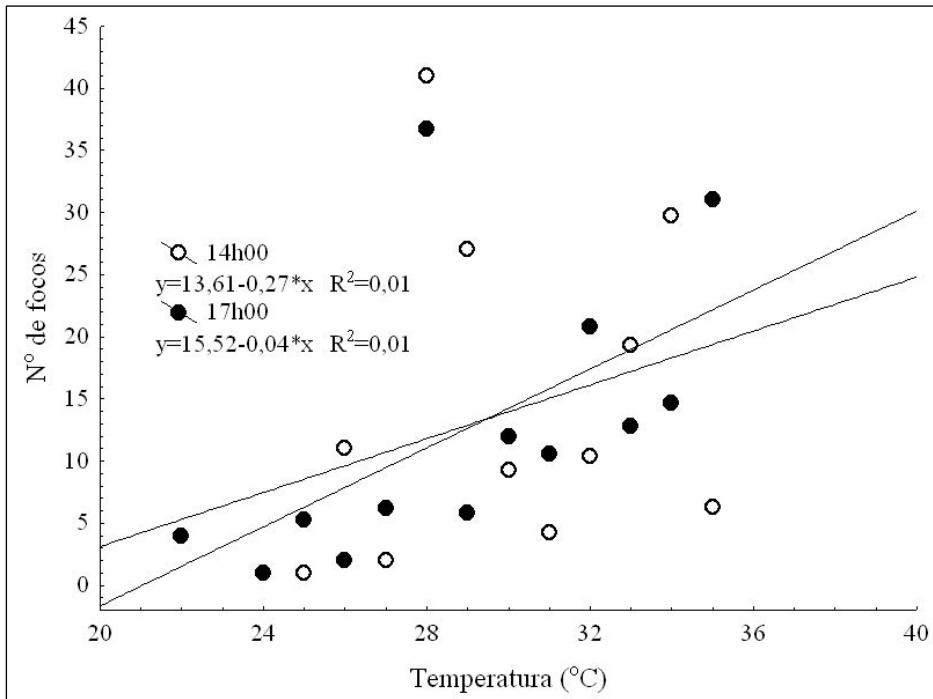


Figura 10 - Relação entre a temperatura e o número médio de focos por classe de temperatura (°C) nos horários de 14 e 17h00 ao longo dos anos de 2000 a 2003, no Apiaú, Mucajaí - RR.

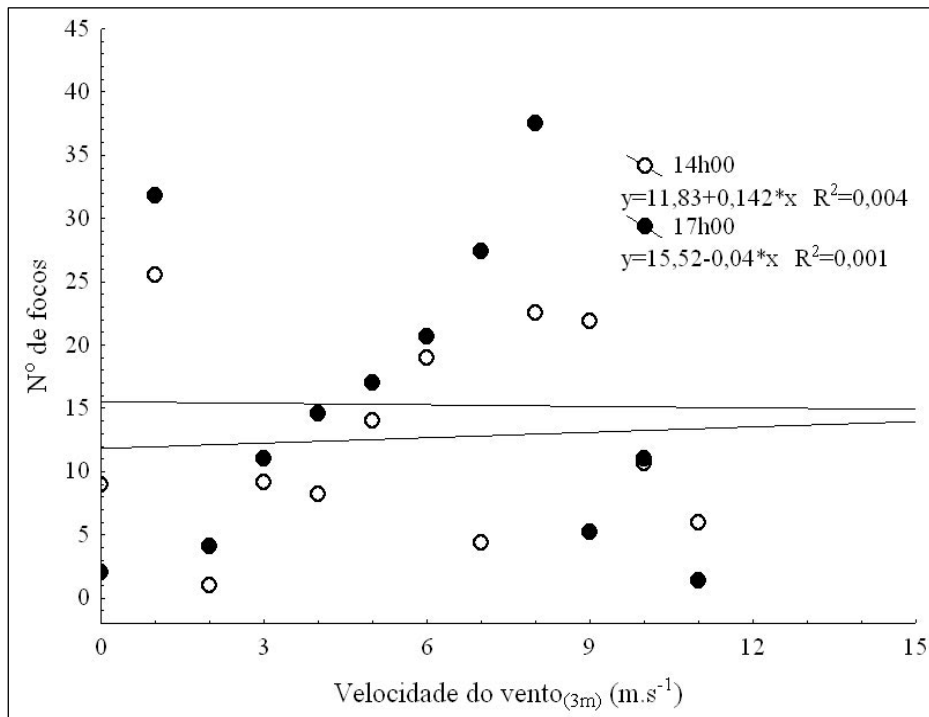


Figura 11 - Relação entre a velocidade do vento (m.s⁻¹) e o número médio de focos por classe de velocidade do vento, nos horários de 14 e 17h00, ao longo dos anos de 2000 a 2003, no Apiaú, Mucajaí - RR.

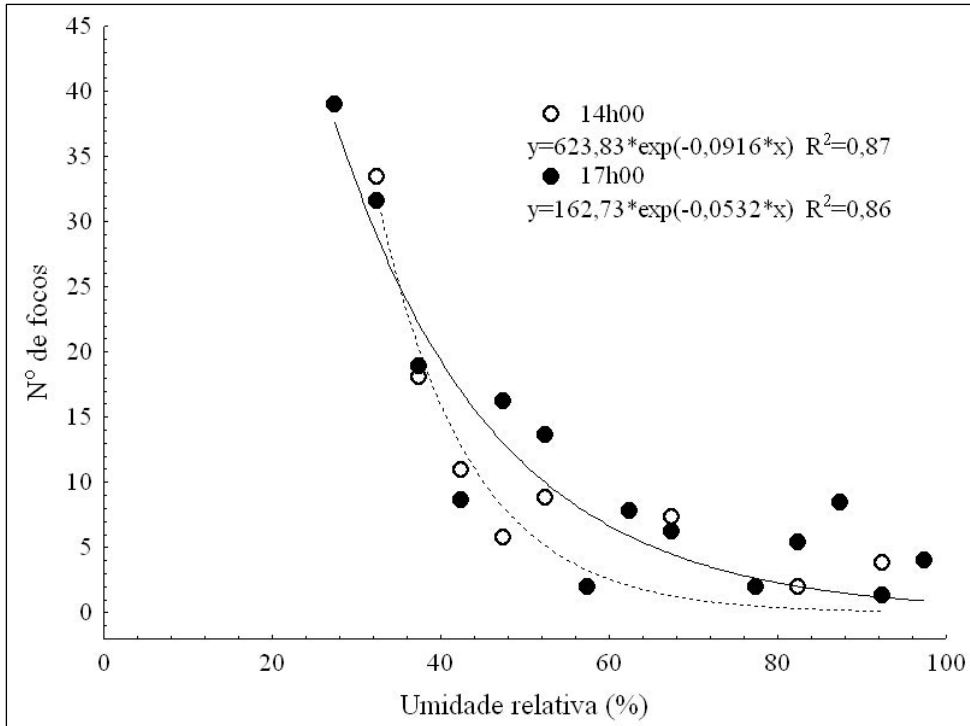


Figura 12 - Relação entre a umidade relativa e o número médio de focos por classe de umidade relativa (%), nos horários de 14 e 17h00, ao longo da série histórica 2000-2003, no Apiaú, Mucajaí - RR.

Mendonza (2003) buscando compreender os fatores responsáveis pela susceptibilidade ao fogo das florestas do Acre identificou que a variável umidade relativa do ar na floresta explica significativamente a velocidade de propagação do fogo. Pois segundo a autora existe uma troca contínua de vapor de água entre a atmosfera e o material (combustível) depositado no piso da floresta. Desse modo o material seco absorve água de um ambiente úmido e libera vapor de água quando o ar está seco. Durante os períodos extremamente secos, a baixa umidade pode inclusive afetar o conteúdo de umidade do material verde.

Uhl e Kauffmam (1990) mediram a inflamabilidade das florestas de Paragominas no nordeste do Pará, acompanhando o ciclo diário do teor de umidade do material combustível fino e identificaram que a umidade do material combustível acompanhou o ritmo diário da umidade relativa do ar que subia e descia, quando o interior da floresta aquecia ou esfriava. Para Lowe (2001) a hora do dia tem influência importante nos níveis de umidade relativa. Nas primeiras horas da manhã as temperaturas estão amenas e os níveis de umidade mais elevados. À medida que as horas passam, a temperatura começa a aumentar e a umidade relativa começa a baixar, no meio da tarde as temperaturas estão em seu valor máximo e a umidade atinge seus valores mínimos.

4.3 Modelo probabilístico de ocorrência e risco de fogo

Através da análise da árvore de decisão apresentada na figura 13, observa-se que nas áreas de estudo, a condição de ocorrência e risco de incêndios é mais propícia no mês de fevereiro, ocasião em que praticamente não ocorrem precipitações. Situação essa cumulativa a partir dos meses de novembro, dezembro e janeiro. Adicionalmente a esse mês, ocorrem níveis reduzidos de umidade relativa do ar associados a temperaturas elevadas. Mesmo apresentando menor número de focos de calor em fevereiro, as condições meteorológicas propiciam uma maior predisposição dos combustíveis vegetais ao fogo, contribuindo para o aumento do risco, fator esse potencializado pelo relevo.

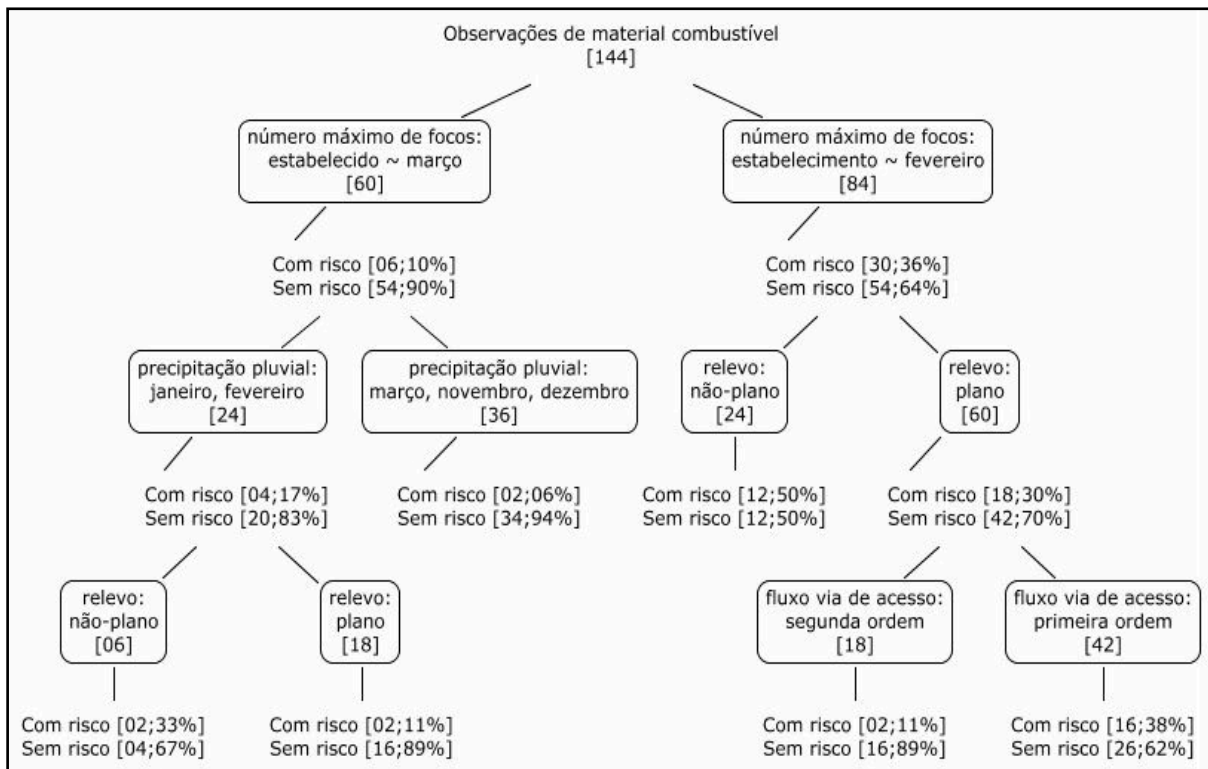


Figura 13 - Árvore de Decisão para ocorrência e risco de incêndios florestais.

A vulnerabilidade torna-se mais crítica em áreas de relevo plano, mas também foi identificada para áreas de relevo não plano. Esse resultado deve-se ao fato das áreas serem fortemente antropizadas, seja, alteradas com pastagem ou lavouras onde o fogo é utilizado como instrumento de manejo do solo. Identificou-se ainda, a elevação do risco de fogo em áreas que possuam vias de acesso de primeira ordem ou “troncos”, seguidas de áreas próximas às vias de acesso de segunda ordem ou “vicinais”. O mês de março apesar de ter

maior quantidade de focos de calor apresenta um risco menor, pois nesse mês começam a ocorrer chuvas esparsas no Estado, aumentando consideravelmente a umidade relativa e, por consequência, a umidade do material combustível, diminuindo assim a manutenção da condição de risco de incêndios florestais.

4.4 Processamento de imagens

4.4.1 Atenuação dos efeitos atmosféricos

A aplicação da técnica de subtração do pixel escuro (CRANE, 1971), permitiu a obtenção de imagem com tons de cinza mais próximo da real resposta espectral dos alvos. Este aspecto evita interpretações errôneas e de caráter não científico, principalmente, aqueles que utilizam a variação tonal. Pois em trabalhos que valorizam o rigor científico, os efeitos aditivos e redutivos ocasionados pelos elementos espalhadores atmosféricos devem ser atenuados.

4.4.2 Correção Geométrica

O resultado do registro imagem-imagem foi avaliado utilizando como indicador de exatidão o erro médio quadrático das diferenças entre as posições dos pontos de controle de referência e as posições calculadas a partir da equação de transformação (“*Root Mean Square*”- *RMS*).

A avaliação da exatidão do registro entre as imagens Landsat-7 órbita/ponto 232/58 e de 17/03/2003 e a Landsat-5 TM 232/58, feita através da transformação polinomial, foi obtida pelo erro médio quadrático de 0,62 pixel (14 m no terreno), utilizando 15 pontos de controle para Apiaú e Ribeiro Campos. Este resultado foi considerado satisfatório, pois o erro representou um valor menor que um pixel em relação à resolução espacial das imagens 30m.

As figuras 14 e 15 apresentam as imagens Landsat-7 órbita/ponto 232/58 de 17/03/2003, resultantes das correções geométrica e atmosférica, recortadas segundo os limites das áreas de estudo, essas imagens são apresentadas sob forma de composição colorida que utilizaram as bandas 5 (R) 4 (G) 3 (B).

4.4.3 Operações de realce

No caso da técnica de realce aplicada (raiz) permitiu um contraste adequado para a interpretação visual e para a integração digital, mesmo tratando-se de uma área formada por duas feições contrastante.

A operação aritmética de multiplicação entre as bandas ETM4 e ETM5 permitiu gerar uma imagem que realçou as principais feições do relevo e, por conseguinte do uso e cobertura da terra, como pode ser observado nas figuras 16 e 17.

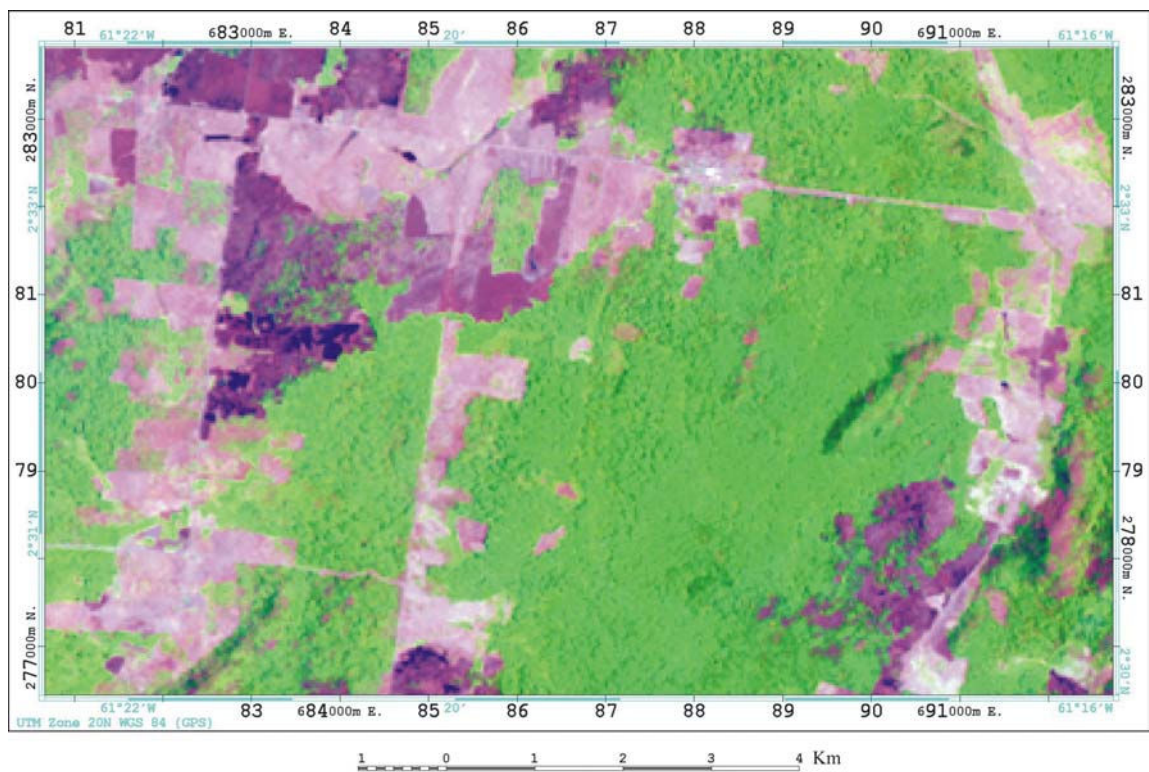


Figura 14 - Imagem Landsat-7/ETM⁺ da órbita/ponto 232/58 de 17/03/2003 na composição 5(R) 4 (G) 3 (B), referente a região do Apiaú, Mucajaí - RR.

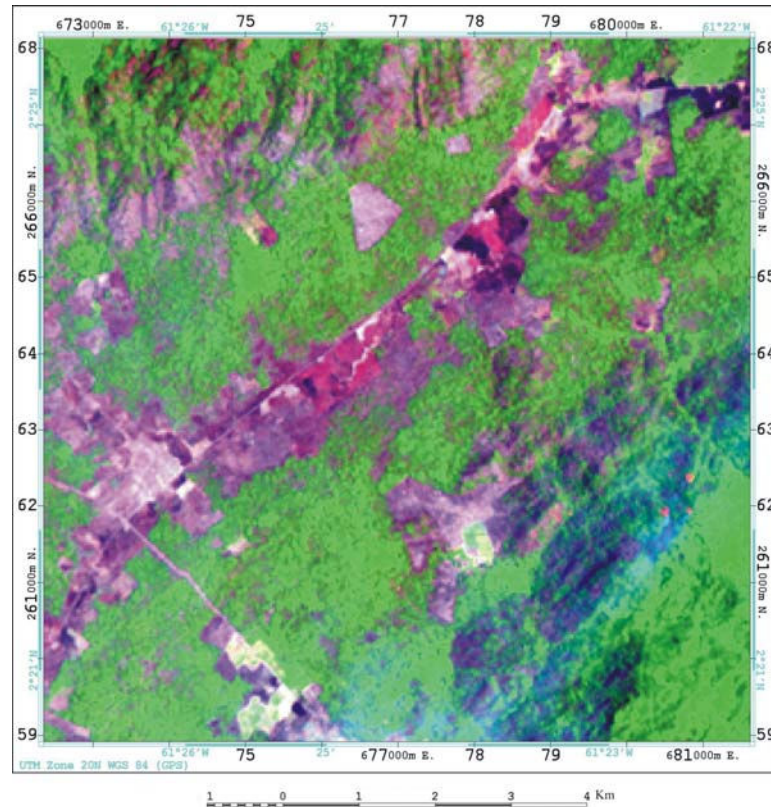


Figura 15 - Imagem Landsat-7/ETM⁺ da órbita/ponto 232/58 de 17/03/2003 na composição 5 (R) 4 (G) 3 (B), referente a região de Ribeirão Campos, Mucajaí - RR.

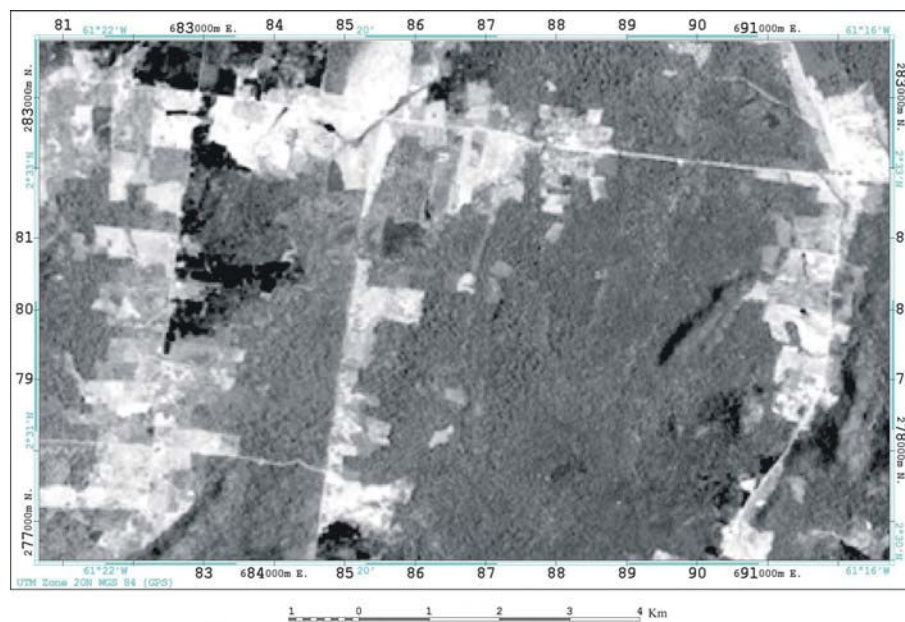


Figura 16 - Imagem da região do Apiaú, Mucajaí - RR, resultante da multiplicação ETM4 x ETM5 com realce raiz. Destaca-se o realce das feições de relevo como as serras localizadas na porção do extremo SE, orientadas NE, SW e áreas antropizadas.

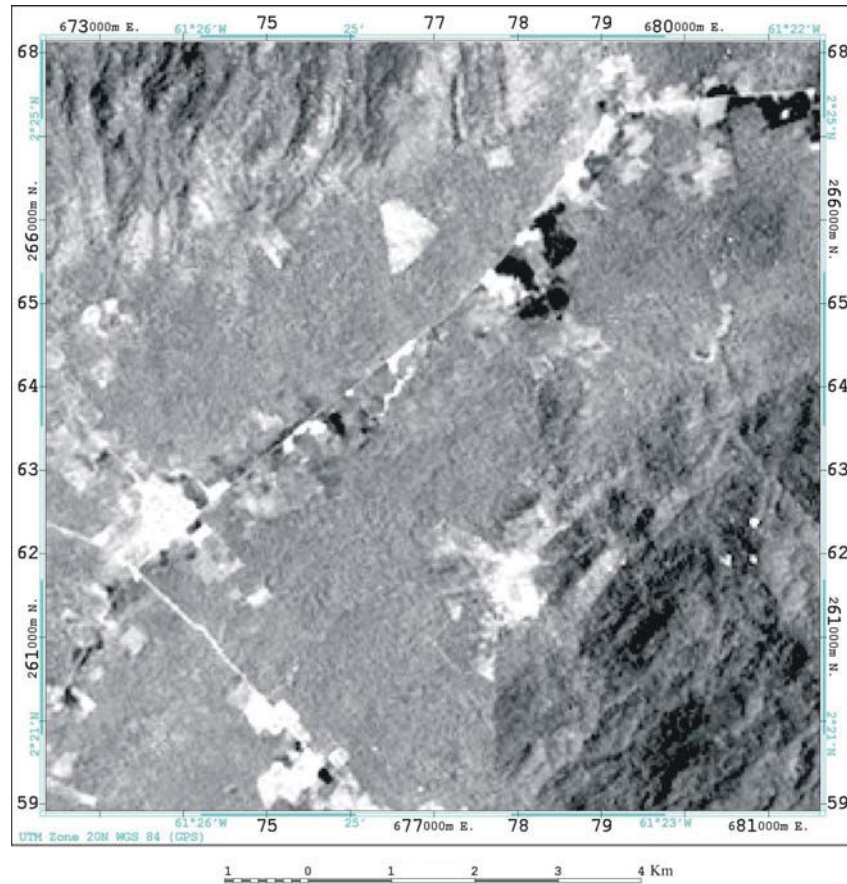


Figura 17 - Imagem de Ribeiro Campos, Mucajaí - RR, resultante da multiplicação ETM4 x ETM5 com realce raiz. Destacando as principais feições do relevo com extenso corredor de áreas ligeiramente planas na vertente das áreas de serra.

4.4.4 Geração de mapas temáticos e integração IHS

Conforme descrito na metodologia foram gerados cinco mapas temáticos referentes à umidade do material combustível, número de dias sem chuva, risco dos focos, declividade e distância das estradas. Posteriormente, esses mapas foram integrados com a imagem Landsat-7/ETM⁺ via técnica IHS. A integração via técnica IHS forneceu produtos nos quais, as informações temáticas, texturais e espectrais dos alvos foram otimizadas em um único produto. A integração dos produtos de sensoriamento remoto, Landsat-7 /ETM⁺, e os mapas temáticos, através da técnica de transformação IHS, produziu imagens que permitiram a análise de todos os fatores ambientais considerados para identificar áreas susceptíveis à ocorrência de incêndios florestais, correlacionados espacialmente e espectralmente com as feições fisiográficas das áreas, como solo, vegetação relevo, bem como com as feições antropizadas possibilitando, a adequada interpretação. O produto integrado, mapa da umidade

do material combustível e imagem Landsat-7/ETM⁺ para a região de Apiaú é ilustrado na figura 18.

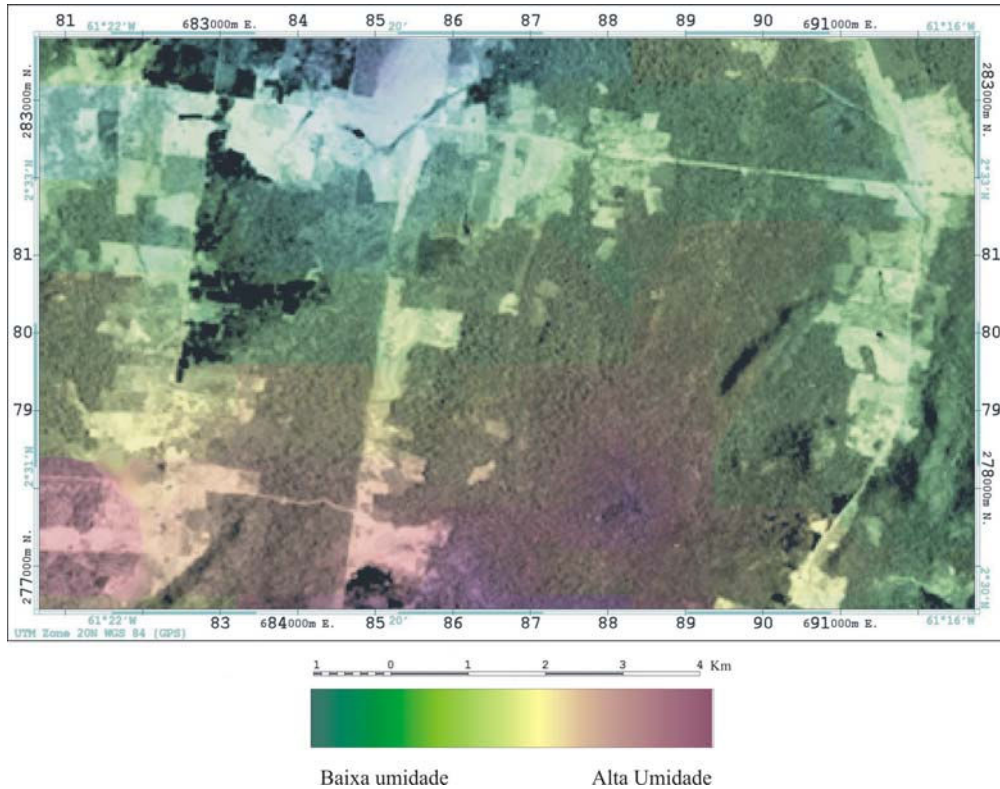


Figura 18 - Produto integrado Landsat-7/ETM⁺ (ETM4 x ETM5) e cartografia da distribuição da umidade do material combustível na região do Apiaú, Mucajá - RR. Nota-se que áreas com maior umidade concentram-se em áreas florestais diminuindo em direção a áreas antropizadas.

As interpretações sobre esse produto integrado e os dados de campo demonstraram que os maiores teores de umidade aparecem sob forma de manchas distribuídas ao sul da área localizadas em regiões de maior concentração de florestas, onde provavelmente ocorre uma menor exposição à luz solar mantendo dessa forma elevados índices de umidade.

Áreas com valores intermediários de teores de umidade do material combustível apresentam-se como extensas manchas a NE e NW, no entorno das áreas florestadas. Correspondem a áreas antropizadas, seja, alteradas com pastagem ou lavouras próximas às estradas, o material combustível fino nessas áreas sofre maior exposição à luz solar reduzindo assim os teores de umidade dos mesmos. Áreas que apresentam baixos valores de umidade do material combustível distribuem-se espacialmente sob a forma de mancha isolada ao N da região de Apiaú, ocorrendo em áreas de forte antropização próximas as vias de acesso. Observa-se no mapa da figura 19 que os maiores índices de umidade do material combustível

em Ribeiro Campos ocorrem sob a forma de duas grandes manchas ao NE e SW, distribuindo-se em corredores antes e depois das serras.

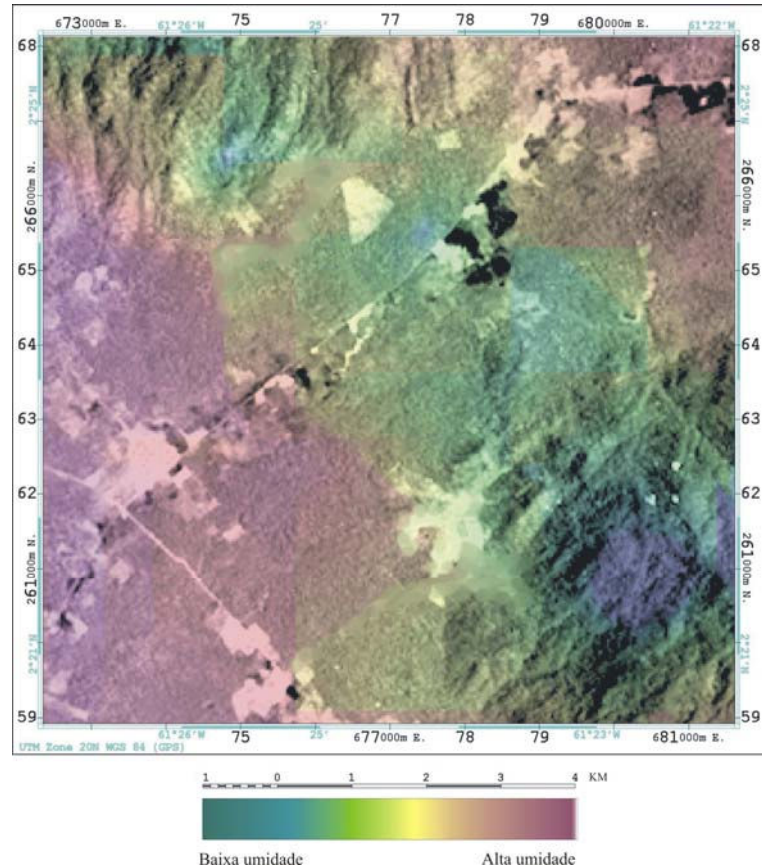


Figura 19 - Produto integrado Landsat-7/ETM⁺ (ETM4 x ETM5) e mapa da distribuição da umidade do material combustível na região de Ribeiro Campos, Mucajaí - RR. Observa-se que os maiores teores de umidade do material combustível distribuíram-se em áreas anteriores e posteriores as serras e os menores distribuíram-se em áreas com elevações acentuadas.

Os menores índices de umidade distribuem-se em um corredor que se estende de NW para SE caracterizado por apresentar maiores elevações. A diminuição dos teores de umidade nessas áreas ocorre provavelmente em função da presença das serras e também porque essas serras não apresentam a estrutura da vegetação original. Os teores de umidade do material combustível variaram entre 08 e 25 %. Os maiores valores de umidade foram obtidos junto a áreas de floresta de floresta primária, valores intermediários foram obtidos em áreas atingidas pelo fogo ao menos uma vez a partir de 1998, os menores índices foram registrados em áreas próximas às frentes de fogo independente da condição estrutural da floresta. Estudos

realizados em 1998, na Venezuela, em diferentes ecossistemas indicaram valores semelhantes de umidade do material combustível (UHL et al., 1998). Dessa forma esses dados indicam a elevada susceptibilidade aos incêndios florestais como os que ocorreram em 1998 no Estado. No mapa da figura 20 é ilustrada a distribuição do número de dias sem chuvas para a localidade do Apiaú, onde se observa que há um corredor no sentido SW-NE com extensas áreas apresentando baixo número de dias sem chuvas. Áreas com número de dias sem chuva intermediários apresentam-se distribuídas sob forma de três manchas isoladas ao N, NW, NE e S. Observa-se ainda, que há poucas áreas apresentando elevado número de dias sem chuvas, as mesmas aparecem sob a forma de manchas isoladas ao S e NW.

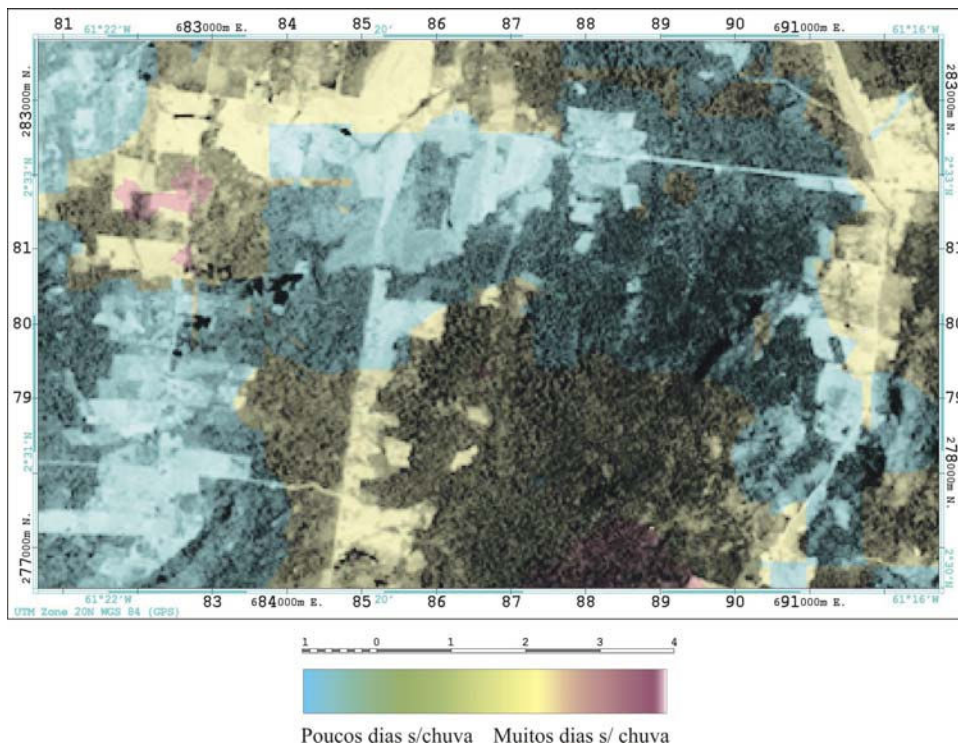


Figura 20 - Produto integrado Landsat-7/ETM⁺ (ETM4 x ETM5) e cartografia da distribuição do número de dias sem chuva na região do Apiaú, Mucajaí - RR. Destaca-se que há poucas áreas apresentando elevado número de dias sem chuvas e extensas áreas apresentando baixo número de dias sem chuvas distribuídos tanto em áreas de florestas quanto em áreas antropizadas.

A figura 21 ilustra a distribuição do número de dias sem chuvas para a localidade de Ribeiro Campos onde se observa que um grande corredor no sentido SW, NE, o qual apresenta áreas com números de dias sem chuva pertencentes a classe média. No entanto,

destacam-se manchas isoladas restritas as serras localizadas no setor N, NW e NE de áreas com baixa incidência de números de dias sem chuva correspondentes à classe baixa.

Observa-se ainda, que existem áreas isoladas nas porções oeste, NE, SE, que apresentam muitos dias sem chuvas pertencentes à classe alta. É importante salientar que a diminuição da oferta pluviométrica associada a outras variáveis meteorológicas contribui de forma decisiva para a potencialização dos incêndios florestais.

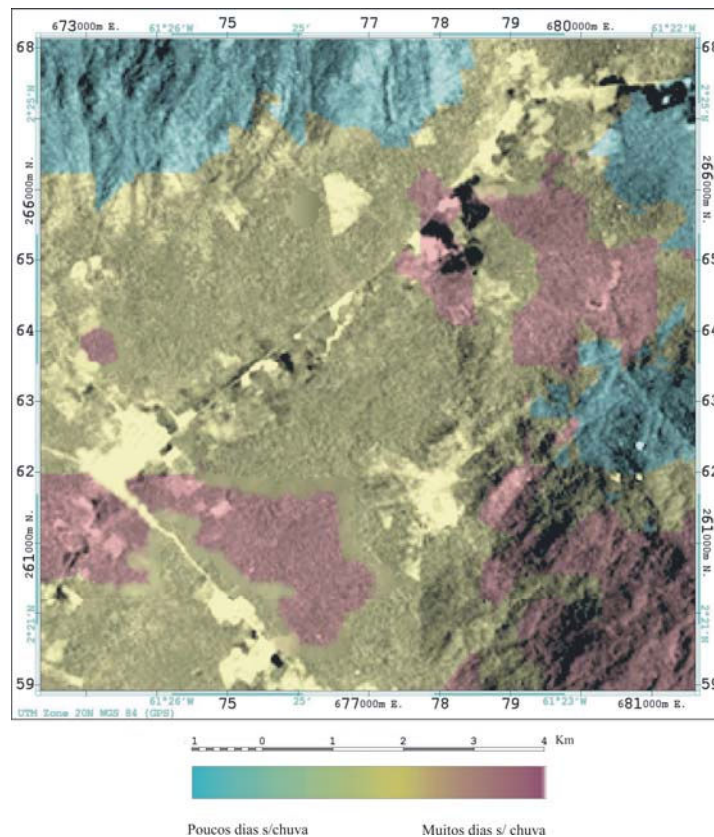


Figura 21 - Produto integrado Landsat-7/ETM⁺ (ETM4 x ETM5) e cartografia da distribuição do número de dias sem chuva na região de Ribeiro Campos, Mucajaí - RR. Nota-se que a extensas áreas apresentado elevado quantidade de dias sem chuva e áreas isoladas restritas as serras apresentando baixa ocorrência de dias sem chuvas.

No mapa da figura 22 é ilustrada a distribuição do risco dos focos de calor para a localidade de Apiaú onde verifica-se que em áreas de maior antropização registra-se a maior incidência de focos de calor e maior risco dos mesmos (classe alta), apresenta-se como uma extensa e contínua mancha que se estende nas porções N, NW, NE e ao sul em áreas de floresta. Áreas que apresentam incidência de focos de calor e classe média de risco

correspondem a duas manchas localizadas ao centro Sul e SE. Nota-se também, que há poucas áreas registrando baixa incidência de focos de calor (classe baixa) isoladas em pequenas manchas na região centro Sul e SE. A maior incidência de focos de calor em áreas predominantemente antropizadas enfatiza que os incêndios, na maioria das vezes, ocorrem de maneira intencional, motivados pela necessidade de novas áreas para pastagens e lavouras, onde o fogo é utilizado com ferramenta de manejo do solo.

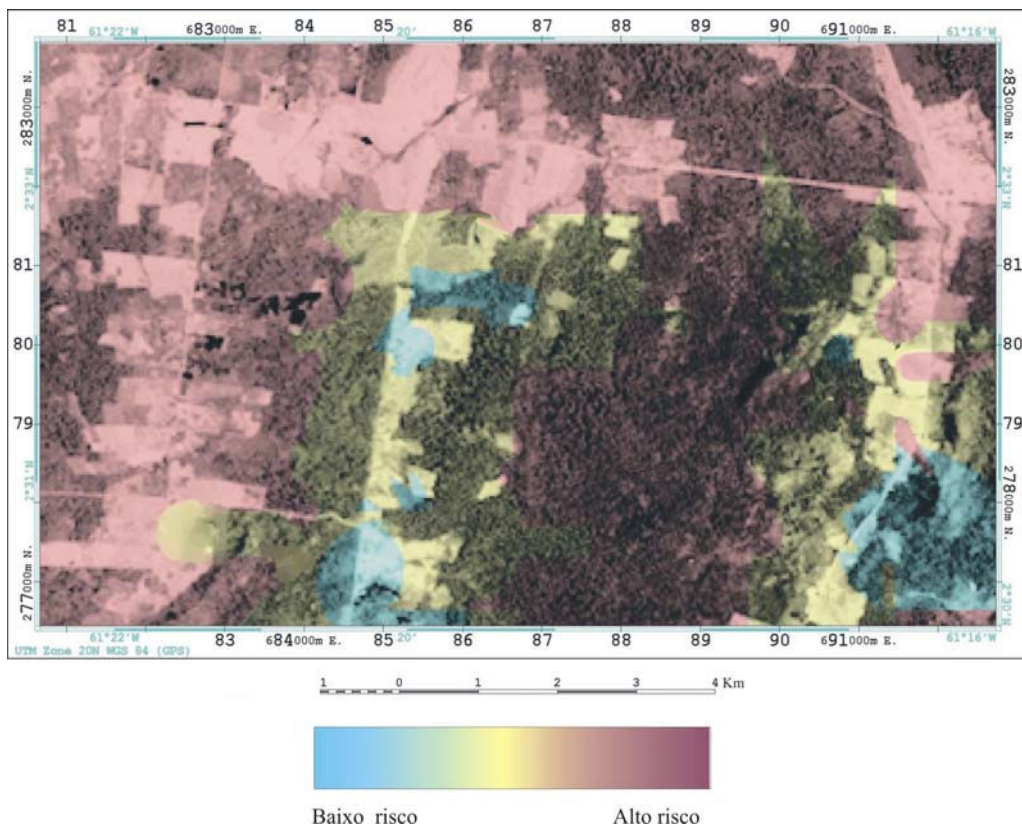


Figura 22 - Produto integrado Landsat-7/ETM⁺ (ETM4 x ETM5) e cartografia de risco dos focos de calor na região do Apiaú, Mucajá - RR. Observa-se que há extensas áreas, onde os focos de calor apresentam elevado risco para ocorrência dos incêndios principalmente em áreas com uso intenso do solo. Nota-se também, que há poucas áreas registrando baixa incidência e risco dos focos de calor.

O mapa da figura 23 apresenta a distribuição do risco dos focos de calor para a localidade de Ribeiro Campos onde se observa que áreas de maior risco e incidência dos focos (classe alta) aparecem sob a forma de 3 manchas isoladas a S, NW e NE próximos às encostas e topos das serras. Áreas com incidência intermediária e risco dos focos de calor (classe média) encontram-se de forma isoladas em um corredor no sentido NE, SE. Áreas

pertencentes à classe baixa aparecem sob a forma de manchas isoladas no NE, SE, SW. As áreas que apresentam maior incidência e risco de focos de calor são áreas das encostas limítrofes às áreas antropizadas. Durante a estação seca essas áreas tornam-se mais vulneráveis aos incêndios acidentais.

De acordo com Barbosa e Fearnside (2000b) os principais focos de calor registrados na área florestal de Roraima em 1998, partiram também da região do Apiaú e Ribeiro Campos. No final de março, ajudado pelos ventos de NE para SE, os focos formavam uma linha contínua de fogo. O fogo difundiu-se pela superfície da floresta, no material seco do sub-bosque.

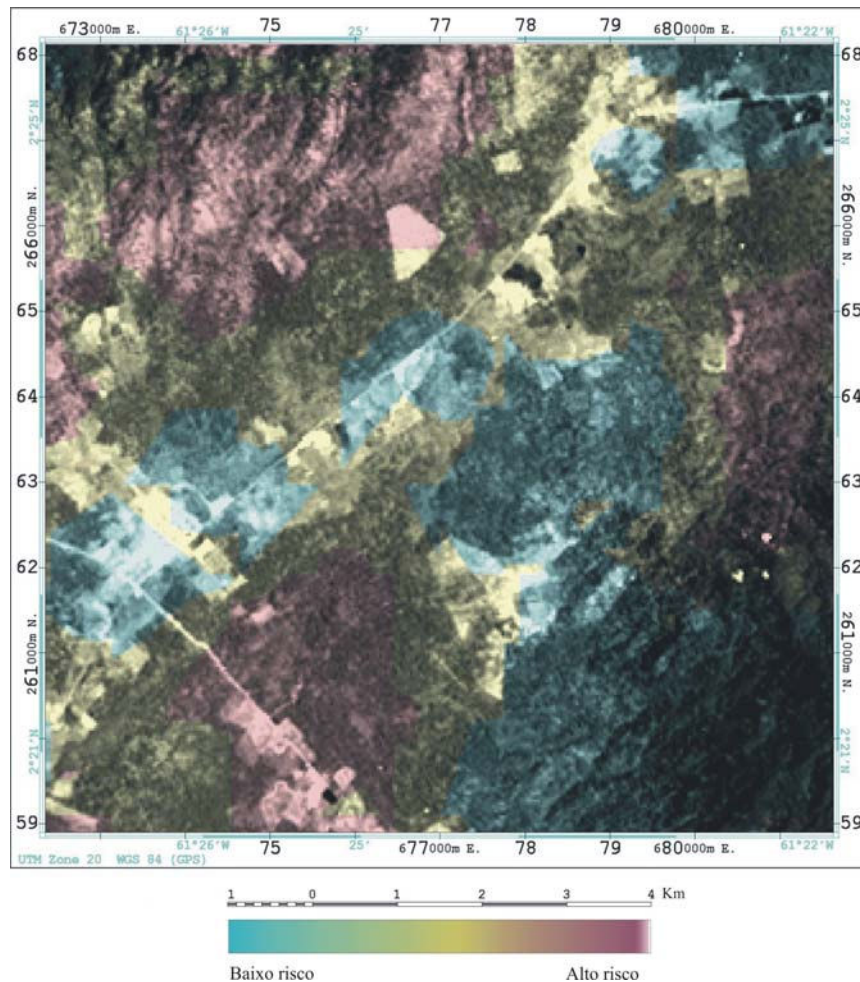


Figura 23 - Produto integrado Landsat-7/ETM⁺ (ETM4 x ETM5) e cartografia de risco dos focos de calor em Ribeiro Campos, Mucajaí - RR. Observa-se que poucas áreas, onde os focos de calor apresentam elevado risco para ocorrência dos incêndios. Nota-se também, que há extensas áreas registrando baixa incidência e risco dos focos de calor.

O mapa da figura 24 demonstra as classes de declividade do Apiaú. As áreas planas constituem-se litologicamente por termos mais antigos que sofreram vários processos erosivos e por área de pediplanação. As Áreas mais elevadas são sustentadas pelas principais litologias representantes da Suíte Intrusiva Mucajaí.

Observa-se uma variação desde terrenos planos a ligeiramente ondulados predominantes, até áreas com terrenos ondulados com a presença de serras isoladas, essas últimas constituem áreas que favorecem a propagação do fogo.

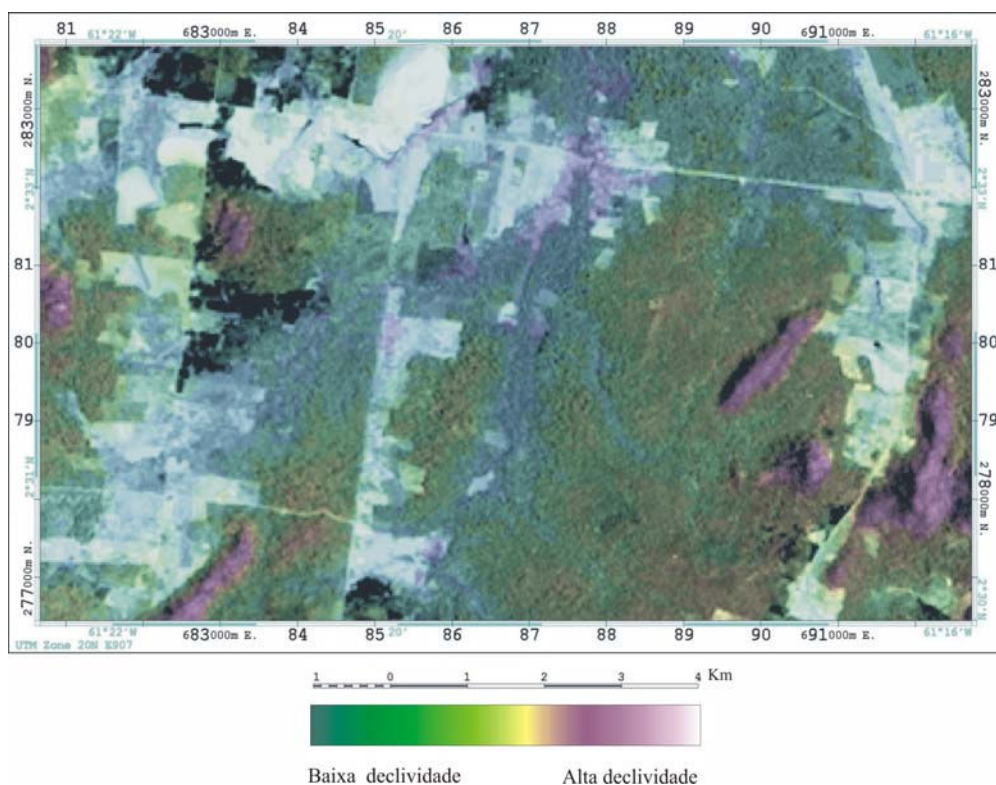


Figura 24 - Produto integrado SRTM e mapa de declividade da região de Apiaú, Mucajaí - RR. Observa-se a presença de uma variação desde terrenos planos a ligeiramente ondulados predominantes, até áreas com terrenos ondulados com a presença de serras isoladas.

O mapa da figura 25 demonstra as classes de declividade de Ribeiro Campos. Verifica-se uma variação desde terrenos suavemente planos, em um extenso corredor no sentido SW, NE até terrenos muito acidentados nas porções NW e SE representados por encostas das serras e acentuando-se nos topos das mesmas. O produto integrado oferece uma visualização da classe de declividade correlacionada espacialmente com sua feição no terreno, por exemplo, classe alta corresponde a serras.

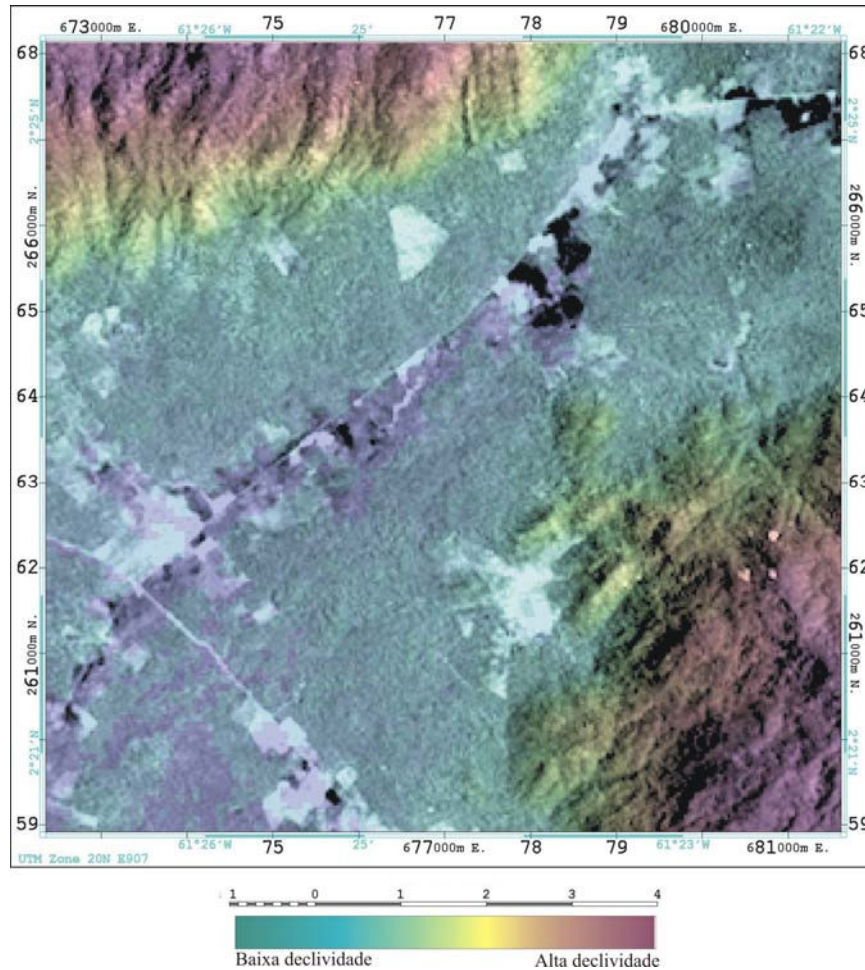


Figura 25 - Produto integrado SRTM e mapa da declividade da região de Ribeiro Campos, Mucajaí - RR. Destaca-se uma variação desde terrenos suavemente planos em um extenso corredor no sentido SW e NE, até terrenos muito acidentados NW e SE.

O mapa da figura 26 demonstra a classe de distâncias das estradas relacionadas com o risco dos incêndios na localidade de Apiaú. Com o estabelecimento de projetos de colonização ao longo de estradas (tronco e vicinais), aumenta a ocorrência e o risco de incêndios florestais, uma vez que as estradas permitem um maior acesso às áreas, possibilitando dessa forma, a intensificação do uso do solo com atividades agrícolas e pastoris nas quais o fogo é largamente utilizado como prática de manejo. De acordo com IBGE (2002), a abertura de estradas na Amazônia tem tido conseqüências desastrosas ao longo de sua história recente, afetando não só a preservação da floresta pela expansão pioneira de madeiras, a estas se sucedem, usualmente, um processo de desorganização fundiária, apropriação irregular de estabelecimentos rurais e principalmente a expansão da produção

agropecuária. Desse modo, considerou-se que estes meios de acesso têm uma área de influência em torno de si, na qual a vegetação do entorno sofre risco de incêndio.

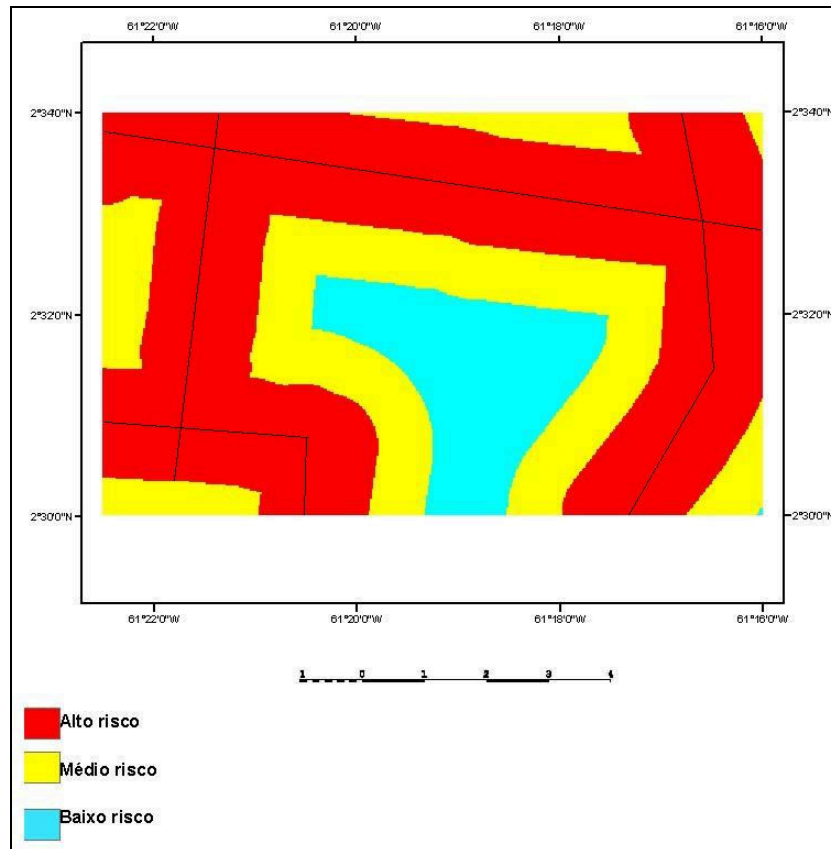


Figura 26 - Mapa temático das classes de distâncias das estradas relacionadas com o risco de incêndios florestais em Apiaú, Mucajaí - RR.

A análise do mapa gerado demonstra que há uma extensa área com forte influência no risco de ocorrência e incêndios, áreas de influência intermediárias apresentam-se em menor proporção próxima as vicinais. Áreas de menor influência podem ser observadas na porção central da área de estudo.

O mapa da figura 27 demonstra a classe de distâncias das estradas relacionada com o risco dos incêndios na localidade de Ribeiro Campos, observa-se que a área de maior risco estende-se por um corredor central bordada por áreas d que apresentam risco intermediário. Observa-se ainda, que há extensas áreas que apresentam baixa influência no risco dos incêndios localizadas nas porções NW e SE.

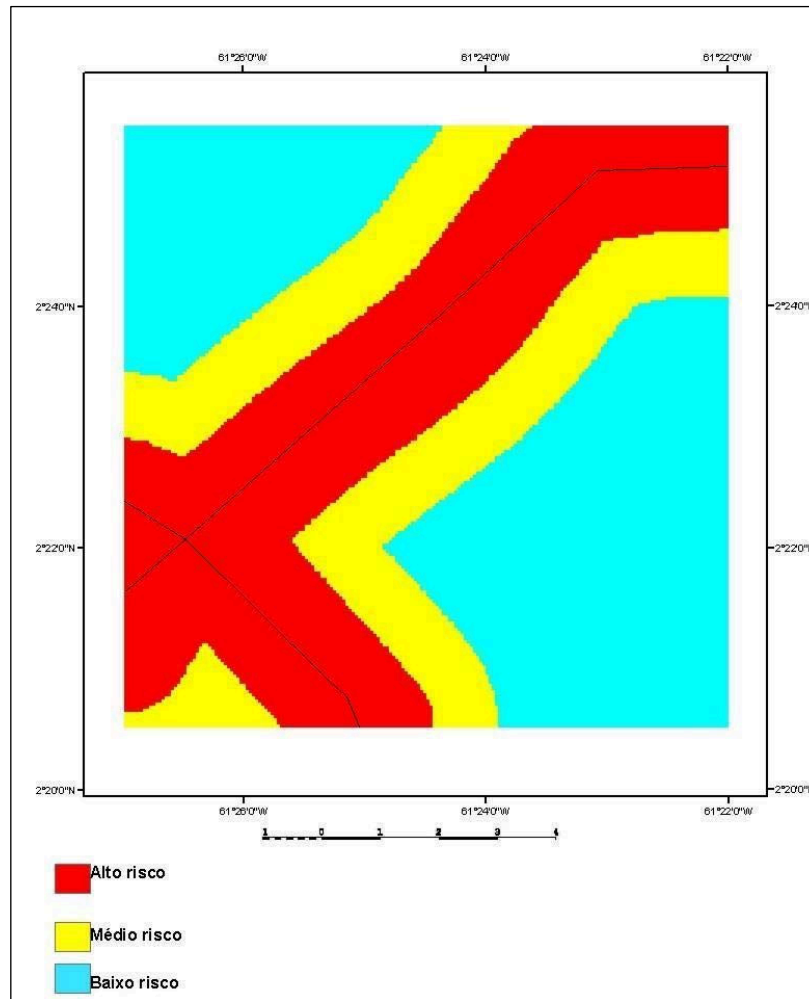


Figura 27 - Mapa temático das classes de distâncias das estradas relacionadas com o risco de incêndios florestais em Ribeiro Campos, Mucajaí - RR.

O mapa da figura 28 demonstra a susceptibilidade a incêndios florestais para a localidade do Apiaú. Analisando o mapa de susceptibilidade resultante da aplicação da análise espacial AHP nota-se que há poucas áreas com alta susceptibilidade a ocorrência dos incêndios florestais. Sua distribuição espacial ocorre sob a forma de manchas isoladas distribuídas em áreas ao S e NW, em locais antropizadas ou não.

É importante salientar que a identificação de poucas áreas que apresentam alta susceptibilidade a ocorrência dos incêndios deve-se provavelmente ao peso de importância que foi obtido através do modelo probabilístico de ocorrência dos incêndios que definiu uma maior importância para os dados referentes a precipitação em relação aos demais fatores ambientais analisados. Áreas com susceptibilidade intermediária apresentam-se distribuídas sob a forma de três manchas isoladas ao N, NW, NE e S, ocorrem em áreas florestadas e antropizadas, sob relevo plano. Ressalta-se ainda, que essas áreas encontram-se próximas às

vias de acesso e são fortemente antropizadas. Observa-se ainda no mapa que há um corredor no sentido SW, NE com extensas áreas apresentando baixa susceptibilidade, elas ocorrem sob áreas florestadas e antropizadas. Lombardi (2001), utilizando diferentes métodos de inferência espacial para identificar áreas que apresentavam condições favoráveis a ocorrência de incêndios florestais em uma área de Paragominas no Pará, afirma que a AHP é uma técnica apropriada para identificar áreas sob risco de incêndios pois, permite a espacialização das áreas vulneráveis à ocorrência dos incêndios florestais conforme o peso atribuído para cada variável estudada, identificando as áreas de maior risco, segundo a importância relativa que estas variáveis apresentam.

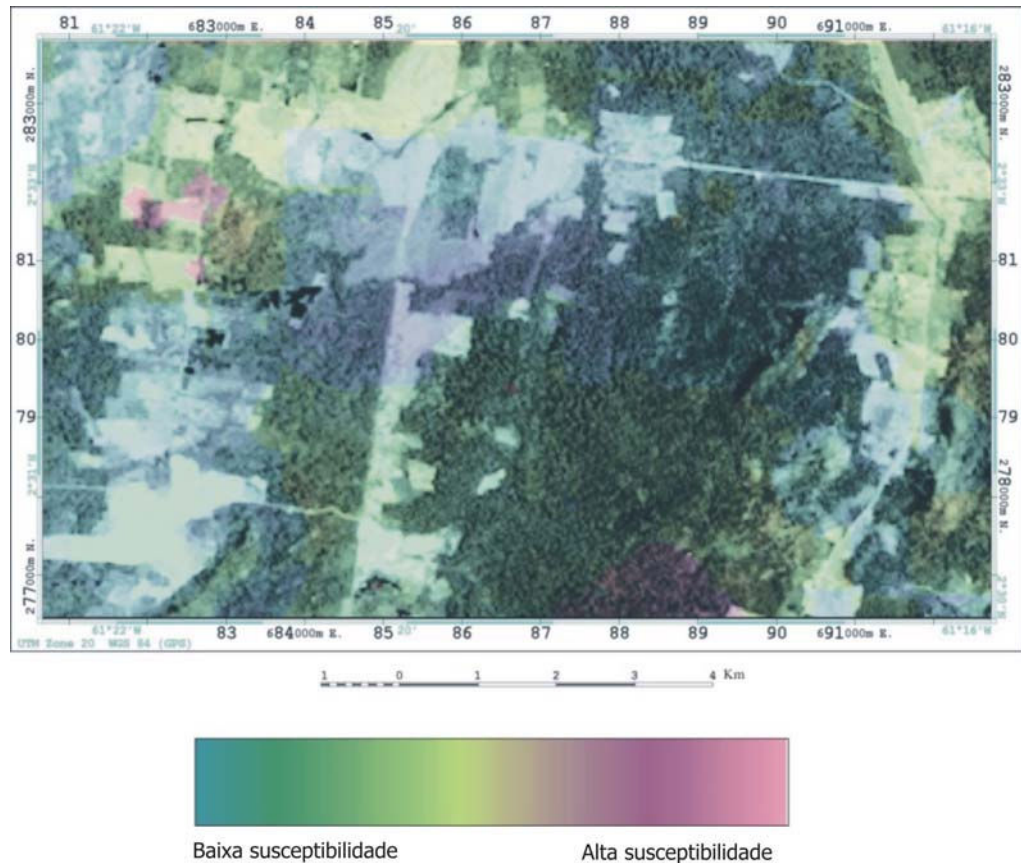


Figura 28 - Produto integrado Landsat-7/ETM⁺ (ETM4 x ETM5) e mapa de susceptibilidade a incêndios florestais na região do Apiaú, Mucajá - RR. Destaca-se que há poucas áreas com alta susceptibilidade a ocorrência dos incêndios florestais, sua distribuição espacial ocorre de forma isolada tanto em áreas de floresta como em áreas antropizadas, observa-se ainda que há extensas áreas apresentando baixa susceptibilidade.

O mapa da figura 26 demonstra a susceptibilidade à incêndios florestais para a localidade de Ribeiro Campos. Observam-se extensas áreas com alta susceptibilidade para a ocorrência de incêndios florestais. Aparecem sob a forma de três grandes manchas isoladas ocorrendo em todos os quadrantes da área, situadas sobre as encostas e os topos das serras. Observa-se ainda, que há poucas áreas com baixa susceptibilidade a ocorrência dos incêndios em Ribeiro Campos, sua distribuição é isolada sob a forma de mancha a NE, próxima às vias de acesso e caracteriza-se por ser antropizada. Identifica-se no mapa que ocorrem poucas áreas com susceptibilidade intermediária. Sua distribuição é fragmentada em diversas porções na área, tendo uma concentração mais significativa nas extremidades N, S, ocorrendo em áreas planas e antropizadas.

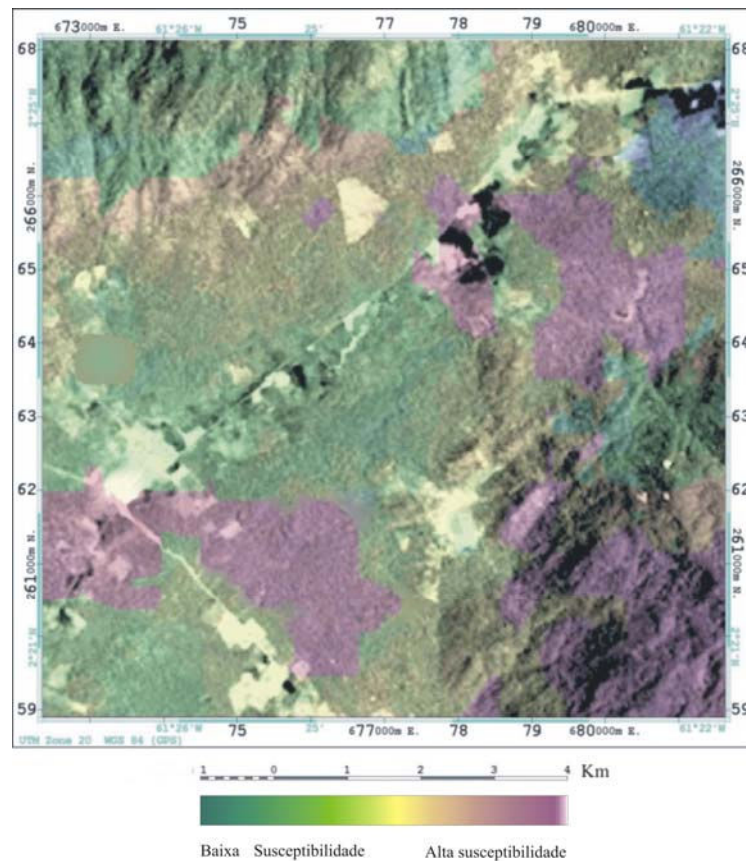


Figura 29 - Produto integrado Landsat-7/ETM⁺ (ETM4 x ETM5) Mapa de susceptibilidade a incêndios florestais na em Ribeiro Campos, Mucajaí - RR. Nota-se a presença de extensas áreas com alta susceptibilidade para a ocorrência de incêndios florestais situadas sobre as encostas e os topos das serras. Observa-se ainda que há poucas áreas com baixa susceptibilidade localizadas próxima às vias de acesso e caracteriza-se por serem áreas antropizadas.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise dos dados meteorológicos indica ainda a ocorrência das condições de risco em outubro e novembro e a permanência nos primeiros meses do ano. A alta incidência de focos de calor no período seco de outubro a março evidencia que esses períodos efetivamente apresentam condições propícias a ocorrência de incêndios florestais. Na análise estatística de regressão exponencial dos dados de focos de calor e parâmetros meteorológicos identificou-se que a umidade relativa do ar é um fator crítico para a ocorrência de focos de calor, devido sua contribuição sobre o aumento da inflamabilidade do material combustível.

Pelo modelo probabilístico evidenciou-se que nas localidades de Apiaú e Ribeiro Campos a condição de ocorrência e risco de incêndios é mais propícia no mês de fevereiro, pois as condições meteorológicas propiciam uma maior predisposição dos combustíveis vegetais ao fogo. Em áreas de relevo plano e em áreas que possuem vias de acesso de primeira ordem ou “trancos”, o risco de incêndio é maior. No primeiro caso devido a ocorrência de forte antropização. No segundo caso em função de fatores relacionados a implantação de projetos de colonização, intensificação do uso do solo para desenvolvimento de atividades agrícolas e pastoris.

A integração entre os dados de sensoriamento remoto e mapas temáticos, via transformação IHS, produziu imagens que possibilitaram a análise de todos os fatores ambientais considerados para identificar áreas susceptíveis à ocorrência de incêndios florestais. Os produtos integrados permitiram a interpretação da variação temática dos fatores ambientais declividade, umidade do material combustível, número de dias sem chuva, distância das estradas e risco dos focos de calor, correlacionados espacialmente e espectralmente com as feições fisiográficas das áreas como: solo, vegetação relevo, bem como com as feições antropizadas em uma única imagem. Esta visão integrada torna-se importante pela dificuldade em se identificar áreas de risco pela análise isolada de cada fator, principalmente em áreas com diversidade de fatores de risco. Os mapas referentes à susceptibilidade à incêndios florestais gerados a partir de análise espacial via técnica AHP demonstraram que há poucas áreas apresentando alta susceptibilidade em Apiaú e Ribeiro Campos.

No que tange aos mapas de susceptibilidade obtidos, carece-se de uma maior adequação, desse modo sugere-se como continuidade a esta pesquisa a utilização de outros modelos como suporte de uso de dados de uma série histórica com o intuito de se aprimorar

os mapas de susceptibilidade especialmente em lugares de alto risco, como é o caso dos lugares estudados Apiaú e Ribeiro Campos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. M.; GRANEMANN, S. R.; GARTNER, I.; BERNARDES, R. S. Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, 2000.
- ANDRÉ, J. C. S.; VIEGAS X. D. Modelos de Propagação de Fogos Florestais: Estado-da-Arte para Utilizadores Parte I: Introdução e Modelos Locais. **Silva Lusitana** 9(2), Lisboa, 2001.
- ANTUNES, M. A. H. Uso de satélites para detecção de queimadas e para avaliação do risco de fogo. **Ação Ambiental** 12, Viçosa, 2000.
- ASSAD, S. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas**. Aplicações na agricultura 2. ed, Brasília: EMBRAPA-SPI CPAC, 1998.
- BARBOSA, R.I. Ocupação Humana em Roraima. I. Do Histórico Colonial ao Início do Assentamento Dirigido. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi** 9(1), Belém, 1993.
- BARBOSA, R.I.; FEARNSIDE, P. M. Incêndios na Amazônia brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento "El Niño" (1997/98) **Acta Amazonica** 29(4), Manaus, 1999.
- BARBOSA, R.I.; FEARNSIDE, P. M. Erosão do solo na Amazônia: Estudo de caso na região do Apiaú, Roraima, Brasil. **Acta Amazonica** 30(4), Manaus, 2000a.
- BARBOSA, R. I.; FEARNSIDE, P. M. As lições do fogo. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 157, 2000b.
- BARBOSA, R.I.; XAUD, M. R.; SILVA, G.F.N.; CATTÂNEO, A. C. Cinzas na Amazônia: incêndios florestais reencontram Roraima. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 35 n. 207, 2004.
- BARLOW, J.; PERES, C.A. Fogo rasteiro: nova ameaça na Amazônia. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 199, 2003.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon, 1986.

BATISTA, A.C.; SOARES, R.V. **Manual de preservação e combate a incêndios florestais**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais - FUPEF, 1997.

BATISTA, A. B. Detecção de Incêndios Florestais por Satélites. **Floresta** 34(2), Curitiba, 2004.

BERRY, M.J.A.; LINOFF, G. **Data mining techniques**. New York: John Wiley & Sons, 1997.

BRASIL. Projeto Radambrasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Folha NA.20-Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. (Levantamento de Recursos Naturais, 8). v.8 Ministério das Minas e Energia /departamento de recursos naturais.Rio de Janeiro: DNPM, 1975.

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

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa, 1998.

CATCHPOLE, E.A.; MESTRE, N.J., Physical models for a spreading line fire. **Australian Forestry** 49 (2), Camberra, 1986.

CHUVIECO, E.; SALAS, F.J.; VEGA, C. Remote sensing and GIS for long-term fire risk mapping. In: CHUVIECO, E. **A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires**. Alcalá de Henares: Universidad de Alacá, 1997.

CIANCIULLI, P.L. **Incêndios florestais: prevenção e combate**. São Paulo: Nobel, 1981.

COCHRANE, M.A. O grande incêndio de Roraima. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 157, janeiro/fevereiro, 2000.

COCHRANE, M.A. Fire science for rainforests. **Nature**, v. 421, 2003.

CPRM- Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais. **Projeto Roraima Central** (folhas NA. 20 -X-B e NA-X-D e parte das folhas NA. 20-X-A, NA. 20-X-C, NA. 21-V-A e NA.21-V-C).1998. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em 22 ago. 2006

CRANE, R. B. Preprocessing techniques to reduce atmospheric and sensor variability in multispectral scanner data. In: **International Symposium on Remote Sensing of Environment**. Proceedings. Michigan: Environment Research, 1971.

CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: IG/UNICAMP, 1992.

DIAS, M. M. **Um modelo de formalização do processo de desenvolvimento de sistemas de descoberta de conhecimento em banco de dados**. Florianópolis, 2001. Tese Doutorado em Engenharia de Produção apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. Levantamento de Reconhecimento de Baixa Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Projeto de Colonização Apiaú - Território Federal de Roraima. **Boletim de Pesquisa**, Rio de Janeiro, n.14, 1982.

FAO - Food and Agriculture Organization. **State to the world's forest**. Roma , 2003.

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

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

GOMES, L. F. M. ; MOREIRA, A. M. M. Da informação à tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritério. **Recitec**, Recife, v. 2, n.2, 1998. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/rtec/res/res-001.html>>. Acesso em 06 nov. 2005.

HARIS, J.R.; MURRAY, R.; HIROSE, T. HIS transform for the integration of radar imagery with remotely sensed data. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, New York, v.56, n. 12, 1990.

HARIS, J.R.; VILJOEN, D.W.; RENCZ, A.N. Integration and visualisation of geoscience data. **Manual of remote sensing for the earth sciences**. 3. ed. v.3, New York: John Wiley & Sons, 1999.

HARRISON, T.H. **Intranet data warehouse**. São Paulo: Berkeley, 1998.

HOLDSWORTH, A.R.; UHL, C. O fogo na floresta explorada e o potencial para a redução de incêndios florestais na Amazônia. **Série Amazônia** 14, Belém, 1998.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Perfil dos municípios brasileiros: meio ambiente**. Coordenação de população e marketing, 2002.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População estimada 2005 em Roraima**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 12 mar. 2006.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Tutorial do software Spring**. São José dos Campos, 2005. Disponível em:
<<http://www.dpi.inpe.br/inpe/dpi/spring>>. Acesso em 15 mar. 2005

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Divisão de Processamento de Imagens (INPE/DPI). **Processamento digital de imagens e suas técnicas**. Disponível em:
<http://www.dpi.inpe.br/inpe/dpi/spring/usuario/pdi_con.htm>. Acesso em 15 mar. 2006.

JUSTINO, F. B.; SOUZA, S.S.; SETZER, A. Relação entre focos de calor e condições meteorológicas no Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Foz de Iguaçu: CPTEC/INPE, 2002.

KIRCHHOFF, W. J. H. **Queimadas na Amazônia e Efeito Estufa** - INPE. São Paulo: Contexto, 1992.

KRUG, T.; SETZER, A.W.; OLIVEIRA, G.S.; JÚNIOR, H.C.; VALENZUELA, G.C.L. **Incidência de focos de calor detectados pelo sensor AVHRR do satélite NOAA no período de junho a novembro de 1997** - INPE. São Paulo: Contexto, 1992.

LAURENCE.W.F.; VASCONCELOS.H.L. A década da decisão para a Amazônia. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 160, 2000.

LILESAND, T. M.; KEEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley & Sons, 1994.

LOMBARDI, R. J. R. Identificação de áreas vulneráveis à ocorrência de incêndios florestais, provocados por atividades antrópicas, utilizando diferentes métodos de inferência espacial. In: **X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu: INPE, 2001.

LOWE, J.D. **Wildland firefighting practices**. Tohmsom Learning, 2001.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely sensed images: An introduction**. West Sussex: John Wiley & Sons, 1999.

MEGGERS, B.J. Archeological evidence for the impact of mega-Ñino events on Amazônia during the past two millennia. *Climate Change*. v. 28. 1994.

MENDOZA, E. R. H Susceptibilidade da floresta primária ao fogo em 1998 e 1999: estudo de caso no Acre, Amazônia Sul - Ocidental, Brasil. 2002. Acre, 2003. Dissertação de Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais apresentada à Universidade Federal do Acre, Rio Branco.

MIRANDA, A.C.; MIRANDA, H.S; DIAS. I.F.O.; DIAS, F.F.S. Soil and Air Temperatures During Prescribe Cerrado Fires in Central Brasil. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 9, 1993.

NASCIMENTO, T.N.; FELFILI. ; J.M. FONTES, A.T.O.F.; HAY, J.; GRIBEL, R. O efeito do fogo nas Florestas. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.27 (207), 2000.

NELSON, B. W. Fogo em florestas da Amazônia Central em 1997. In: **X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu: INPE, 2001.

NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. G.; ALENCAR, A. A. **A floresta em chamas: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia**. Brasília: Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, 1999.

NEPSTAD, D.; VERISSIMO, A.; MOUTINHO, P.; NOBRE, C. O empobrecimento oculto da floresta amazônica. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 157, 2000.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto - Princípios e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1992.

POHL, C.; GERDEREN, J.L. Multisensor image fusion um remote sensing concepts, methods and applications. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n. 5, 1998.

PYNE, S.J. **Wildland fire: Fire management in the United States**. New York: John Wiley & Sons, 1984.

RIBEIRO, G. A. **Estudos do comportamento do fogo e de alguns efeitos da queima controlada em povoamento de Eucalyptus viminalis Labill em Três Barras, Santa**

Catarina. Curitiba, 1997. Tese Doutorado em Engenharia Florestal apresentada à Universidade Federal do Paraná.

RICHARDS, J.A. **Remote sensing digital image analysis.** An introduction. Berlim: Springer - Verlag, 1993.

ROSS, J. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento.** São Paulo: Contexto, 1990.

SCHROEDER, M.J.; BUCK, C.C. **Fire weather.** New York: USDA Forest Service/ Agriculture Handboock, 1970.

SHIMABUKURO, Y.E.; KRUG, T.; SANTOS, J.R.; NOVO, E.M.; YI, J.L.R. Roraima: o incêndio visto do espaço. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro 27(157), 2000.

SILVA, R. G. **Manual de prevenção e combate aos incêndios florestais.** Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1998.

SILVA, J. X.; ZAIDAM, R.T. **Geoprocessamento e análise ambiental.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

SOARES, R.V. **Prevenção e controle de incêndios florestais.** Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, 1984.

SOARES, R.V. **Incêndios florestais: controle e uso do fogo.** Curitiba: Fundação de Pesquisas do Paraná, 1985.

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

STATSOFT. **STATISTICA for Windows** [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, 1999. Disponível em: <<http://www.statsoft.com>. Acesso em 25 jan. 2005.

UHL, C.; KAUFFMAN, B.; CUMINGS, D.L. Fire in the Venezuela Amazon 2: Environmental conditions necessary for forest fire in the evergreen rainforest of Venezuela. **Oikos**, Copenhagen, 53, 1988.

UHL, C.; KAUFFMAN, J.B. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the Eastern Amazon. **Ecology**, 71 (2), 1990.

VASCONCELOS, S.S.; ROCHA, K.S.; SELHORST, D.; BROWN, I. F. Evolução de focos de calor nos anos de 2003 e 2004 na região de Madre de Dios/Peru - Acre/Brasil- Pando/Bolívia (MAP): uma aplicação regional do banco de dados. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia, 2005.

WAGNER, M, J. A burnig july in Spain. **Earth Observation Quartly**, 55, 1994.

ZEE - Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Roraima. (Versão Preliminar). Boa Vista: Governo do Estado de Roraima. 2002.

APENDICE A - Planilha de campo elaborada para anotações específicas das coletas de amostras para avaliação da umidade do material combustível.

Coleta do Material Combustível		Localidade		Data da Coleta	Lat (N)	Long (W)	Hora (hh:mm) coleta	Categoria Fitosion.	Tipo de Material	Característica do Relevo	Solo Umidade	Condições Gerais do tempo	Temp(°C)	PU (g)	PS (g)	Umidade Material Combustível
Nu m	Cod	Região	de	Coleta	Lat (N)	Long (W)	coleta	Fitosion.	Material	do Relevo	Umidade	Gerais do tempo	Temp(°C)	(g)	(g)	
01	AP1-1	Apiáú														
02	AP1-2															
03	AP1-3															
04	AP2-1															
05	AP2-2															
06	AP2-3															
07	AP3-1															
08	AP3-2															
09	AP3-3															
10	RC1-1	Rib. Campos														
11	RC1-2															
12	RC1-3															
13	RC2-1															
14	RC2-2															
15	RC2-3															
16	RC3-1															
17	RC3-2															
18	RC3-3															

Categorias Fitofisionômicas - 1 - floresta primária; 2 - floresta primária atingida fogo 1998; 3- floresta explorada(corte seletivo); 4- - floresta explorada (corte seletivo) atingida fogo 1998; 5- floresta secundária capoeira

Responsável pela coleta: Gladis Silva

APENDICE B - Planilha elaborada para anotações específicas do peso seco das amostras em laboratório.

PROCEDIMENTO:		
COLOCAR MATERIAL EM ESTUFA COM VENTILAÇÃO A 65 °C, EM APROXIMADAMENTE A 72 HORAS OU ATÉ O PESO SECO TORNAR-SE CONSTANTE.		

Numeração campo	Protocolo	Peso SECO
AP 1.1		
AP 1.2		
AP 1.3		
AP 2.1		
AP 2.2		
AP 2.3		
AP 3.1		$U_{(\%)} = \frac{PU_{(g)} - PS_{(g)}}{PU_{(g)}} * 100$
AP 3.2		
AP 3.3		

Obs: Coleta de campo realizada no Apiaú, no dia:

Equipe:

Balança de campo utilizada: Pezola de 300g

Tecnico Responsável: Gladis Silva

PROCEDIMENTO:		
COLOCAR MATERIAL EM ESTUFA COM VENTILAÇÃO A 65 °C, EM APROXIMADAMENTE A 72 HORAS OU ATÉ O PESO SECO TORNAR-SE CONSTANTE.		

Numeração campo	Protocolo	Peso SECO
RC 1.1		
RC 1.2		
RC 1.3		
RC 2.1		
RC 2.2		
RC 2.3		
RC 3.1		$U_{(\%)} = \frac{PU_{(g)} - PS_{(g)}}{PU_{(g)}} * 100$
RC 3.2		
RC 3.3		

Obs: Coleta de campo realizada em Ribeiro Campos, no dia:

Equipe:

Balança de campo utilizada: Pezola de 300g

Tecnico Responsável: Gladis Silva

APENDICE C - Pesos atribuídos aos fatores ambientais em função da importância relativa de cada um na ocorrência e risco dos incêndios para a localidade de Apiaú.

```

// Pesos a ser aplicados
// tema_chuva = 0.624
// tema_declividade = 0.193
// temarisco = 0.080
// temavicinais = 0.047

// Razao de consistência
// CR = 0.044

// Programa em LEGAL
// Este programa deve ser completado
// pelo usuario para incluir os dados
// apresentados entre os sinais de <>

// Definicao dos dados de entrada

Tematico var1 ("tema_chuva");
Tematico var2 ("tema_declividade");
Tematico var3 ("temarisco");
Tematico var4 ("temavicinais");

Tabela tab1 (Ponderacao);
tab1 = Novo (CategoriaIni = "tema_chuva" ,
            "baixaprec": 1.00,
            "mediaprec":0.50,
            "altaprec":0.25);

Tabela tab2 (Ponderacao);
tab2 = Novo (CategoriaIni = "tema_declividade" ,
            "muitobaixo":0.20,
            "baixa":0.40,
            "media":0.60,
            "alta":0.80,
            "muitoalta":1.00);

Tabela tab3 (Ponderacao);
tab3 = Novo (CategoriaIni = "temarisco" ,
            "alta":1.00,
            "media":0.50,
            "baixa":0.25);

Tabela tab4 (Ponderacao);
tab4 = Novo (CategoriaIni = "temavicinais" ,
            "alta":1.00,
            "media":0.50,
            "baixa":0.25);

```

APENDICE C - Pesos atribuídos aos fatores ambientais em função da importância relativa de cada um na ocorrência e risco dos incêndios para a localidade de Apiaú – Continuação.

```

// Definicao do dado de saida

    Numerico var5 ("numahp");

// Recuperacao dos dados de entrada

var1 = Recupere (Nome="semchuva");
var2 = Recupere (Nome="declive");
var3 = Recupere (Nome="fcrisco");
var4 = Recupere (Nome="disvic");

// Criacao do dado de saida

var5 = Novo (Nome="ahpfinal", ResX=30, ResY=30, Escala=60000,
            Min=0, Max=1);

// Geracao da media ponderada

var5 = 0.624*(Pondere(var1, tab1)) + 0.193*(Pondere(var2, tab2))+ 0.080*(Pondere(var3,
            tab3))+ 0.047*(Pondere(var4, tab4));
    }

```

APENDICE D - Pesos atribuídos aos fatores ambientais em função da importância relativa de cada um na ocorrência e risco dos incêndios para a localidade de Ribeiro Campos .

```

// Pesos a ser aplicados
// tema_risfrc = 0.068
// temadeclive = 0.223
// temaestradas = 0.043
// temasemchuva = 0.611

// Razao de consistência
// CR = 0.084

// Programa em LEGAL
// Este programa deve ser completado
// pelo usuario para incluir os dados
// apresentados entre os sinais de <>

// Definicao dos dados de entrada

Tematico var1 ("tema_risfrc");
Tematico var2 ("temadeclive");
Tematico var3 ("temaestradas");
Tematico var4 ("temasemchuva");

Tabela tab1 (Ponderacao);
tab1 = Novo (CategoriaIni = "tema_risfrc" ,
            "alta":1,
            "media":0.5,
            "baixa":0.25);

Tabela tab2 (Ponderacao);
tab2 = Novo (CategoriaIni = "temadeclive" ,
            "muitobaixa":0.2,
            "baixa":0.4,
            "media":0.6,
            "alta":0.8,
            "muitoalta":1);

Tabela tab3 (Ponderacao);
tab3 = Novo (CategoriaIni = "temaestradas" ,
            "alta":1,
            "media":0.5,
            "baixa":0.25);

Tabela tab4 (Ponderacao);
tab4 = Novo (CategoriaIni = "temasemchuva" ,
            "altaprecipitação":1,
            "mediaprecipitação":0.5,
            "baixaprecipitação":0.25);

```

APENDICE D - Pesos atribuídos aos fatores ambientais em função da importância relativa de cada um na ocorrência e risco dos incêndios para a localidade de Ribeiro Campos – Continuação.

```

// Definicao do dado de saida

Numerico var5 ("nunahp");

// Recuperacao dos dados de entrada

var1 = Recuperere (Nome="riscofog");
var2 = Recuperere (Nome="declive");
var3 = Recuperere (Nome="distvic");
var4 = Recuperere (Nome="dias_chuva");

// Criacao do dado de saida

var5 = Novo (Nome="ahpfinal", ResX=30, ResY=30, Escala=60000,
            Min=0, Max=1);

// Geracao da media ponderada

var5 = 0.068*(Pondere(var1, tab1)) + 0.223*(Pondere(var2, tab2))+ 0.043*(Pondere(var3,
            tab3))+ 0.611*(Pondere(var4, tab4));
}

```


APÊNDICE E – Dados utilizados para identificar períodos e horários de risco aos incêndios florestais – Continuação.

2002	1	8 4 1	3 14 15					
	2	9 7 2	13 19 19	1 1 1	1 1 1			
	3	7 9	5 14 13					
	4	1 4 3	4 6 5					
	5	5 3	2 5 4					
	6	5 1	2 7 4	1				
	7	5 3	3 5 6					
	8	10 9	4 12 11		1 1			1 1
	9	1 15 12	7 15 14					
	10	3 19 10	12 22 16					
	11	2 21 12	9 23 17	1				
	12	6 4 1	9 12 12			1		1
2003	1	16 14 2	18 23 23					
	2	13 11 1 1	15 17 17					
	3	2 13 12 1	10 16 16					
	4	6 4	2 6 5					
	5	2 1	2 4 3					
	6	1 4 1	1 4 2					
	7	4 2	2 5 4	1 1 1				1 1 1
	8	2 8 5 1	3 6 7					
	9	1 14 3	2 10 3					
	10	1 2 4 1 1 1	2 5 3					
	11	1 2 1 1	2 2 4					
	12	2 1	3 3 3					