



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

DIEGO ARAÚJO DE ALMEIDA

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT – 5 / TM E SRTM PARA
RECONHECIMENTO E ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA PAISAGEM DA SERRA DE
PACARAIMA, RORAIMA, BRASIL.

Boa Vista

2008

DIEGO ARAÚJO DE ALMEIDA

**UTILIZAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT – 5 / TM E SRTM PARA
RECONHECIMENTO E ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA PAISAGEM DA SERRA DE
PACARAIMA, RORAIMA, BRASIL.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Recursos Naturais – Universidade Federal de Roraima, para obtenção do Título de Mestre em Recursos Naturais, sob orientação do Prof. Dr. José Augusto Vieira Costa.

Boa Vista

2008

DIEGO ARAÚJO DE ALMEIDA

**UTILIZAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT – 5 / TM E SRTM PARA
RECONHECIMENTO E ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA PAISAGEM DA SERRA DE
PACARAIMA, RORAIMA, BRASIL.**

Dissertação de Mestrado 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, defendida em 24 de outubro de 2008.

Prof. Dr. José Augusto Vieira Costa
Orientador / IGEO - UFRR

Prof. Dr. José Frutuoso do Vale Júnior
CCA / UFRR

Prof. Dr. Luiza Câmara Beserra Neta
IGEO / UFRR

Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho
IG / UFPA

A minha esposa, Renata Souza Trindade Almeida,
companheira em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por permitir que tudo pudesse se realizar.

Em especial a minha esposa que esteve presente e me apoiando em todas as situações por que passei durante os anos de mestrado.

A minha família, os que residem distante e aos amigos que adquiri em Roraima, minha família aqui.

Ao Professor Dr. José Augusto Vieira Costa, orientador, que mesmo sem me conhecer encarou o desafio de orientar um biólogo.

À Universidade Federal de Roraima, que por meio do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, mantém e implementa o curso de Mestrado em Recursos Naturais, a quem eu agradeço o apoio prestado na fase de formação e execução do curso.

Ao Professor Dr. Stélio Soares Tavares Júnior, pelas orientações sobre sensoriamento remoto, que foram cruciais, imprescindíveis para a realização do estudo.

Ao Professor Dr. José Frutuoso do Vale Júnior, que sempre foi prestativo para esclarecimentos sobre temas relacionados ao trabalho.

À Luciana, aluna de geografia que me ajudou prontamente durante a execução do trabalho.

À Professora Ms. Ana Lúcia do curso de letras, pela correção ortográfica do texto da dissertação.

Aos professores e amigos de turma que contribuíram diretamente para o aprendizado e que de alguma maneira participaram da minha formação profissional e pessoal.

RESUMO

Os estudos sobre mudanças na paisagem amazônica são uma constante nos trabalhos sobre este importante bioma. Devido a sua notável extensão territorial onde grande parte se encontra em áreas de difícil acesso, o emprego de tecnologias, como o sensoriamento remoto orbital, é importante para compreender sua estrutura, interrelações e dimensão. Neste contexto, este trabalho objetivou reconhecer e analisar as mudanças na paisagem da Serra de Pacaraima, que está localizada no extremo norte do Estado de Roraima, Brasil. Para isso, foram utilizadas quatro imagens do satélite LANDSAT-5/TM referentes às datas de cobertura 17/02/1990, 04/04/1995, 17/05/1999 e 06/05/2004, sobre as quais se determinou uma área de estudo, e uma imagem de radar do projeto SRTM, para caracterizar o relevo regional. No processamento das imagens LANDSAT-5/TM aplicaram-se técnicas para minimizar os erros decorrentes de sua aquisição. Empregou-se a técnica de segmentação por *crescimento de região*, em conjunto ao trabalho de campo, a fim de reconhecer as unidades da paisagem local, e a técnica de classificação supervisionada *MAXVER*, com o intuito de estimar a representação das unidades da paisagem ao longo da série multitemporal. Na imagem SRTM o processamento consistiu na análise do MNT e geração dos mapas hipsométrico e de declividade. Deste modo, quatro unidades de paisagem foram reconhecidas e caracterizadas como: unidade da paisagem de floresta (UPF); savana (UPS); desflorestamento (UPD); e ocupação humana (UPOH). As estimativas obtidas demonstraram uma tendência na redução da UPF, que em 1990 representava 121,87 km² da área de estudo, passando a representar 98,21 km² em 2004. A UPS demonstrou um discreto decréscimo de sua área, que em 1990 era de 23,19 km², passando a 22,77 km² em 2004. A UPD apresentou uma tendência inversa, ampliou sua área de 8,47 km² em 1990, para 20,33 km² em 2004. A UPOH apesar de um pequeno decréscimo em sua área total, 10,0 km² em 1990 para 9,19 km² em 2004, apresentou uma ampliação na zona urbana. Os mapas hipsométrico e de declividade demonstram que a dinâmica da paisagem analisada se desenvolve em um patamar mais elevado do relevo regional que possui escarpas de alta declividade. Assim, os resultados obtidos enfatizam a eficiência da técnica aplicada no reconhecimento da estrutura da paisagem, como também a ocorrência de alterações que acionam processos ambientais complexos e aceleram as mudanças regionais.

Palavras-chave: Análise da Paisagem; Sensoriamento Remoto; Sistemas de Informação Geográficas, Roraima.

ABSTRACT

The studies about changes in the amazon landscape are a constant in works about this important biome. Due its notable territorial extension where great portion of finds in areas of difficult access, the employment of technologies, as the orbital remote sensing, is important to understand your structure, interrelations and dimension. In this context, this work aimed at to recognize and to analyze the changes in the landscape of the Pacaraima Mountain that is located in the extreme north of the Roraima State, Brazil. For that, four images of the satellite LANDSAT-5/TM were used referring the dates of covering 17/02/1990, 04/04/1995, 17/05/1999 and 06/05/2004, on which was determined a study area, and one radar image of the project SRTM, to characterize the regional relief. In the LANDSAT-5/TM images processing techniques were applied to minimize the current mistakes of your acquisition. The segmentation technique by *region growing* was employ, together at field work, in order to recognize the units of local landscape, and the technique of supervised classification *MAXVER*, with the intention of to estimate the representation of landscape units along the multitemporal series. In SRTM image the processing consisted in the analysis of MNT and generation of hipsometric and slope maps. This way, four units of landscape were recognized and characterized as: landscape unit of forest (UPF); savanna (UPS); deforestation (UPD); and human occupation (UPOH). The obtained estimates demonstrated a tendency, in the reduction of UPF, that represented 121,87 km² of the study area in 1990, passing to represent 98,21 km² in 2004. The UPS demonstrated a discreet decrease of your area, that was of 23,19 km² in 1990, passing to 22,77 km² in 2004. The UPD presented an inverse tendency, it enlarged your area of 8,47 km² in 1990, for 20,33 km² in 2004. The UPOH in spite of a small decrease in your total area, 10,0 km² in 1990 for 9,19 km² in 2004, presented an amplification in the urban zone. The hipsometric and slope maps demonstrate that the dynamics of analyzed landscape develops in a higher landing of the regional relief that possesses scarps of high slope. Thereby, the obtained results emphasize the efficiency of the applied technique in the recognition of the landscape structure, as well as the occurrence of alterations that activate complex environmental processes and accelerate the regional changes.

Key-words: Landscape Analysis; Remote Sensing; Geographical Information Systems; Roraima.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Modelo teórico do geossistema, proposto por Bertrand (1971).....	21
FIGURA 2	Relação paisagística na ecologia da paisagem, modificado de Torres (2003).....	21
FIGURA 3	Regiões do espectro eletromagnético, modificado de Novo (2008).....	24
FIGURA 4	Componentes do sinal recebido por um sensor instalado em um satélite, modificado de (VERMOTE <i>et al.</i> , 1995 e 1997 apud BAPTISTA, 2006).....	24
FIGURA 5	Imagem em composição RGB, ressaltando as propriedades espectrais dos alvos solo, água e floresta na cena e nas bandas TM3 e TM4, (NOVO, 2008).....	27
FIGURA 6	Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica, (DAVIS; CÂMARA, 2001).....	31
FIGURA 7	Mapa de localização da área de estudo.....	35
FIGURA 8	Gráfico de evolução populacional do Município de Pacaraima, Estado de Roraima e do Brasil (IBGE, 2008).....	36
FIGURA 9	A) Precipitação média mensal; B) Precipitação média anual. Dados da Estação Marco BV-8, código 8461000 (ANA, 2008). Série pluviométrica referente aos anos de 1985 à 2006. Os anos com dados pluviométricos incompletos foram excluídos da análise.....	39
FIGURA 10	Mapa de Geologia, modificado de Governo de Roraima (2007).....	41
FIGURA 11	Rochas do Grupo Surumu; A) afloramentos de rochas piroclásticas ácidas em pináculos; B) aspecto macroscópico de ignibrito (COSTA, 1999).....	42
FIGURA 12	Mapa de Geomorfologia, modificado de Governo de Roraima (2007).	43
FIGURA 13	Monte Roraima, feição de relevo característico da unidade geomorfológica do Planalto Sedimentar Roraima; A) vista geral; B) vista ampliada (foto: STEVEN NICODEN, 2006).....	44
FIGURA 14	Serra de Pacaraima, parte constituinte do Planalto do Interflúvio Amazonas - Orinoco.....	44
FIGURA 15	Mapa de Solos, modificado de Governo de Roraima (2007).....	46
FIGURA 16	A) Perfil de argissolo vermelho-amarelo distrófico, em B) afloramento rochoso (Foto: A - VALE JÚNIOR, 2007).....	47
FIGURA 17	Mapa de Fitofisionomias, modificado de IBGE (2005).....	48
FIGURA 18	Distribuição das cenas TM no norte do Estado de Roraima, destaque para os limites da área de estudo.....	51
FIGURA 19	Distribuição das imagens SRTM no norte do Estado de Roraima, destaque para a área de estudo.....	52

FIGURA 20	Fluxograma da seqüência estabelecida no procedimento metodológico do trabalho.....	54
FIGURA 21	Curva formada entre os valores digitais médios (ND) corrigidos de alvos selecionados com os comprimentos de onda médios das bandas TM (1, 2, 3, 4, 5 e 7) da cena 17/02/1990.....	57
FIGURA 22	Curva formada entre os valores digitais médios (ND) corrigidos de alvos selecionados com os comprimentos de onda médios das bandas TM (1, 2, 3, 4, 5 e 7) da cena 04/04/1995.....	57
FIGURA 23	Curva formada entre os valores digitais médios (ND) corrigidos de alvos selecionados com os comprimentos de onda médios das bandas TM (1, 2, 3, 4, 5 e 7) da cena 17/05/1999.....	58
FIGURA 24	Curva formada entre os valores digitais médios (ND) corrigidos de alvos selecionados com os comprimentos de onda médios das bandas TM (1, 2, 3, 4, 5 e 7) da cena 06/05/2004.....	58
FIGURA 25	Recorte da área de estudo gerado a partir da cena 232/57 de 17/05/1999 georreferenciada.....	61
FIGURA 26	Resultado da aplicação da técnica de aumento linear do contraste na banda TM-5, do recorte referente à cena 232/57 de 17/02/1990.....	62
FIGURA 27	Resultado da aplicação da técnica de aumento linear do contraste, na imagem em composição RGB (5, 4, 3) do recorte referente à cena 232/57 de 17/02/1990.....	63
FIGURA 28	Segmentação do recorte da banda TM-3 de 17/02/1990.....	64
FIGURA 29	Segmentação do recorte da banda TM-4 de 17/02/1990.....	65
FIGURA 30	Segmentação do recorte da banda TM-5 de 17/02/1990.....	65
FIGURA 31	Imagem SRTM (NB-20-ZD).....	70
FIGURA 32	Recortes de imagens LANDSAT-5/TM em composição RGB; A) cena de 17/02/1990 – RGB (541); B) cena de 04/04/1995 – RGB (543); C) cena de 17/05/1999 – RGB (541); e D) cena de 06/05/2004 – RGB (543).....	71
FIGURA 33	Visão em 3D do MNT, SRTM, sobreposto pelo recorte de imagem LANDSAT-5/TM em composição RGB (543) de 17/02/1990.....	72
FIGURA 34	A) Floresta em relevo declivoso; B) floresta associada a solos rasos, seguindo um curso d'água.....	73
FIGURA 35	A) Imagem LANDSAT-5/TM-5 de 17/05/1999, segmentada; B) zona de contato estabelecida entre a Floresta e a savana; C) zona de contato entre floresta e desmatamento; e D) zona de contato entre floresta e área de ocupação humana.....	74
FIGURA 36	A) Aspecto da savana sobre Neossolo Litólico; B) ocupação desordenada facilitada pela cobertura rala da savana.....	75
FIGURA 37	A) Imagem LANDSAT-5/TM-5 de 17/02/1990, segmentada; B) visão geral da savana; C) savana em área antropizada; D) savana as margens da BR-174.....	76

FIGURA 38	A) Visão de uma área desflorestada; B) plantas pioneiras (<i>Pteridófitas</i>) presente nas áreas desflorestadas.....	77
FIGURA 39	A) Imagem LANDSAT-5/TM-5 de 06/05/2004, segmentada; B) desflorestamento e queimadas na zona urbana; C) e D) desmatamento em áreas das comunidades indígenas.....	78
FIGURA 40	A) Sede do Município de Pacaraima e BR-174; B) moradia em comunidade indígena.....	79
FIGURA 41	A) Imagem LANDSAT-5/TM-5 de 17/05/1999, segmentada; B) área de lixão com solo exposto; C) erosão associada a BR-174; D) quartzo em solo expostos.....	80
FIGURA 42	Mapa de classificação gerado a partir de recorte da cena 232/57, de 17/02/1990.....	82
FIGURA 43	Gráfico demonstrativo da mistura entre as classes obtidas na matriz de confusão calculada para o recorte de imagem de 17/02/1990.....	83
FIGURA 44	Mapa de classificação gerado a partir de recorte da cena 232/57, data 04/04/1995.....	85
FIGURA 45	Gráfico demonstrativo da mistura entre as classes obtidas na matriz de confusão calculada para o recorte de imagem de 04/04/1995.....	86
FIGURA 46	Mapa de classificação gerado a partir de recorte da cena 232/57, data 17/05/1999.....	88
FIGURA 47	Gráfico demonstrativo da mistura entre as classes obtidas na matriz de confusão calculada para o recorte de imagem de 17/05/1999.....	89
FIGURA 48	Mapa de classificação gerado a partir de recorte da cena 232/57, data 06/05/2004.....	91
FIGURA 49	Gráfico demonstrativo da mistura entre as classes obtidas na matriz de confusão calculada para o recorte de imagem de 06/05/2004.....	92
FIGURA 50	Gráfico de evolução das unidades da paisagem.....	93
FIGURA 51	A) Voçorocas e ravinas ao longo da BR-174, na Cidade de Pacaraima em 2003; B) mesma área em 2008, (Foto: A – COSTA, 2003).....	95
FIGURA 52	Mapa hipsométrico gerado a partir de imagem de radar SRTM.....	96
FIGURA 53	Mapa de declividade gerado a partir de imagem de radar SRTM. Os valores de inclinação estão expressos em graus.....	97

LISTA DE TABELA

TABELA 1	Informações gerais sobre o Município de Pacaraima.....	37
TABELA 2	Características radiométricas e espaciais das imagens do sensor TM...	50
TABELA 3	Principais características das imagens do satélite LANDSAT-5/TM adquiridas.....	50
TABELA 4	Características da cena SRTM utilizada.....	52
TABELA 5	Descrição dos principais aplicativos empregados e suas finalidades dentro dos procedimentos metodológicos.....	53
TABELA 6	Valores de níveis digitais (ND) obtidos no processo de atenuação dos efeitos atmosféricos nas cenas de 17/02/1990, 04/04/1995, 15/05/1999 e 06/05/2004.....	56
TABELA 7	Coordenadas dos 20 pontos de controle obtidos por meio do programa Google Earth e transformados no GEOCOD e resultado das correções geométricas para as cenas 232/57 de 17/02/1990, 04/04/1995, 17/05/1999 e 06/05/2004.....	60
TABELA 8	Matriz de covariância obtida das cenas.....	67
TABELA 9	Dados de média e desvio padrão obtido das cenas.....	68
TABELA 10	Valores de OIF obtidos para as 4 cenas.....	68
TABELA 11	Classes, “pixels” amostrados e regra de decisão adotada no treinamento.....	69
TABELA 12	Coefficiente Kappa e respectivos conceitos de desempenho da classificação (COHEN, 1960).....	70
TABELA 13	Número de “pixels”, porcentagem de cobertura na imagem e área em km ² das classes estimadas pela classificação no recorte de imagem de 17/02/1990.....	81
TABELA 14	Matriz de confusão e coeficiente Kappa gerados pela classificação no recorte de imagem de 17/02/1990.....	83
TABELA 15	Número de “pixels”, porcentagem de cobertura na imagem e área em km ² das classes, estimadas pela classificação no recorte de imagem de 04/04/1995.....	84
TABELA 16	Matriz de confusão e coeficiente Kappa gerados pela classificação no recorte de imagem de 04/04/1995.....	86

TABELA 17	Número de “pixels”, porcentagem de cobertura na imagem e área em km ² das classes, estimadas pela classificação no recorte de imagem de 17/05/1999.....	87
TABELA 18	Matriz de confusão e coeficiente Kappa gerados pela classificação no recorte de imagem de 17/05/1999.....	89
TABELA 19	Valores de “pixels”, porcentagem de cobertura na imagem e área em km ² das classes estimadas pela classificação.....	90
TABELA 20	Matriz de confusão e coeficiente Kappa gerados pela classificação no recorte de imagem de 06/05/2004.....	92

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 RELEVÂNCIA.....	15
1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
1.2.1 Concepção da Paisagem	18
1.2.2 Sensoriamento Remoto e a Percepção da Paisagem	23
1.2.3 Características dos Dados de Sensoriamento Remoto	26
1.2.4 Processamento Digital de Imagens de Satélite	28
1.2.5 Modelo Numérico do Terreno (MNT)	29
1.2.6 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	30
1.2.7 Integração da Paisagem	32
2. OBJETIVOS	33
2.1 OBJETIVO GERAL.....	33
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 LOCALIZAÇÃO.....	34
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
3.2.1 Aspectos Sócioeconômicos	36
3.2.2 Aspectos Fisiográficos	39
3.2.2.1 Clima e Hidrografia.....	39
3.2.2.2 Geologia.....	40
3.2.2.3 Geomorfologia.....	42
3.2.2.4 Pedologia.....	45
3.2.2.5 Fitofisionomia.....	47
3.3 CONFIGURAÇÃO DOS DADOS.....	49
3.3.1 Dados Cartográficos	49
3.3.2 Dados de Sensoriamento Remoto	49

3.3.2.1 Imagens do Satélite LANDSAT-5/TM.....	49
3.3.2.2 Características das Cenas LANDSAT-5/TM Utilizadas.....	50
3.3.2.3 Imagens do Radar SRTM.....	51
3.3.2.4 Característica da Cena SRTM Utilizada.....	52
3.3.3 Aplicativos e Equipamentos.....	53
3.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	54
3.5 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT-5/TM PARA RECONHECIMENTO E AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DA PAISAGEM NA SERRA DE PACARAIMA.....	55
3.5.1 Correção Atmosférica.....	55
3.5.2 Correção Geométrica.....	59
3.5.3 Técnica de Realce Visual.....	62
3.5.4 Segmentação das Imagens.....	63
3.5.5 Composição das Imagens.....	66
3.5.6 Classificação Digital.....	68
3.6 PROCESSAMENTO DA IMAGEM SRTM PARA RECONHECIMENTO DAS FEIÇÕES DO RELEVO REGIONAL.....	70
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
4.1 RECONHECIMENTO DA PAISAGEM.....	72
4.1.1 A Unidade da Paisagem de Floresta (UPF).....	73
4.1.2 A Unidade da Paisagem de Savana (UPS).....	75
4.1.3 A Unidade da Paisagem de Desflorestamento (UPD).....	77
4.1.4 A Unidade da Paisagem de Ocupação Humana (UPOH).....	79
4.2 ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA PAISAGEM.....	81
4.2.1 A Paisagem da Serra de Pacaraima em 1990.....	81
4.2.2 A Paisagem da Serra de Pacaraima em 1995.....	84
4.2.3 A Paisagem da Serra de Pacaraima em 1999.....	87
4.2.4 A Paisagem da Serra de Pacaraima em 2004.....	90
4.3 EVOLUÇÃO DA PAISAGEM NA SERRA DE PACARAIMA.....	93
5. CONCLUSÃO.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99

1. INTRODUÇÃO

1.1 RELEVÂNCIA

Estudos sobre mudanças climáticas, desflorestamento, uso e ocupação da terra são temas constantes nos trabalhos sobre a Amazônia Legal (BRUIJINZEEL, 1996; ALMEIDA *et al.*, 1996; ALVES *et al.*, 1996; ALENCAR *et al.*, 1996; LAURANCE e WILLIAMSON, 2001; MELLO *et al.*, 2003). Este esforço busca a compreensão dos efeitos das mudanças que ocorrem na Amazônia sobre os ciclos biogeoquímicos e perda de oportunidade do aproveitamento sustentável e dos serviços ambientais prestados pela floresta (CRUTZEN e ANDREAE, 1990; MEDINA e CUEVAS, 1996; FEARNSSIDE, 2006).

As mudanças, seja natural ou antrópica, tornam a floresta mais vulnerável aos processos de degradação ambiental. Segundo Aragão *et al.*, (2008) existe uma relação sinérgica e clara entre clima, desflorestamento e queimadas na Amazônia. Associado a isto, forças antrópicas, como mudanças no manejo da terra, são decisivas na determinação da sazonalidade e dos padrões anuais de ocorrência do fogo.

A Floresta Amazônica em sua história evolutiva não desenvolveu adaptações para resistir aos efeitos do fogo. A remoção das árvores emergentes ou de dossel causa a redução da umidade e o aumento da quantidade de material combustível no interior da floresta. Assim o fogo, que é comumente utilizado para a renovação de pastos e eliminação de restos agrícolas, pode se alastrar sem controle sobre a vegetação (BRASIL, 2008).

Algumas pesquisas desenvolvidas na Amazônia demonstram que o processo de degradação da floresta normalmente apresenta uma seqüência de ações típicas, nas quais as terras desflorestadas são convertidas em plantio, depois em pasto plantado e sofrem ciclos de requeimas sucessivos que renovam o pasto nos anos subseqüentes (FEARNSSIDE, 1990; NEPSTAD, UHL e SERRÃO, 1991; COCHRANE *et al.*, 1999; VALE JÚNIOR, 2000).

Ao perceber esses impactos o governo brasileiro tem investido em diversos projetos voltados para o monitoramento, prevenção e combate a degradação ambiental na Amazônia. Dentre estes projetos, os que utilizam a tecnologia do sensoriamento remoto recebem destaque por gerar estimativas sobre o processo de degradação da floresta e localizar áreas prioritárias para ações estratégicas dentro do extenso território ocupado pela Amazônia.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolve dois projetos voltados para o processo de desmatamento na Amazônia. O PRODES “Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia” (INPE, 2008 a), mede as taxas anuais de corte raso desde 1988, para incrementos superiores a 6,25 km². O Sistema DETER “Detecção de Desmatamento em Tempo Real” (INPE, 2008 b), divulga mensalmente um mapa de alertas, com áreas maiores que 25 km² indicando áreas totalmente desmatadas (corte raso) e áreas em processo de desmatamento por degradação florestal progressiva.

Além desses, outros dois projetos são desenvolvidos no sentido de prevenir e combater as queimadas. São eles o PROARCO “Projeto de Controle e Combate aos Incêndios no Arco do Desflorestamento na Amazônia Legal” (INPE, 2008 c) e o PREVFOGO “Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais” (IBAMA, 2008).

Dentro destes projetos, Roraima, Estado mais setentrional da Amazônia Legal, recebe atenção especial. De acordo com os dados levantados pelo PRODES, estima-se que no período de 1988 à 2006 foram desflorestadas em média 268,8 km² por ano, perfazendo um total de 5.108 km² de áreas desmatadas no Estado (INPE, 2008 b).

No mapa de risco de fogo produzido pelo PROARCO, o Estado é considerado como área de alto risco (INPE, 2008 d). Isto se deve aos constantes eventos de queimadas em Roraima, que normalmente estão associadas às questões naturais, como anos de “El Niño”, e culturais, como o uso do fogo para renovação do pasto.

Segundo Barbosa e Fearnside (1999) esses fatores foram os responsáveis pela queima de uma área estimada entre 38.144 – 40.678 km² de florestas e de outras vegetações em Roraima no ano de 1998. No mapa de susceptibilidade ao fogo em Nepstad *et al.* (1998), a região norte-nordeste de Roraima também está classificada como de alta suscetibilidade às queimadas.

Geralmente, o desflorestamento e as queimadas são precursores das atividades agrícolas (CARDILLE e FOLEY, 2002). Estes autores estimaram que entre os anos de 1980 e 1995, Roraima apresentou um aumento de 209,15 km² em áreas de plantações e de 700,27 km² em áreas de pasto plantado, enquanto houve uma redução de 846,98 km² de pasto natural. Desta maneira, as áreas florestais que possuem em seu entorno atividades ligadas à agropecuária se tornam suscetíveis à degradação ambiental.

A agricultura do tipo itinerante, considerada uma atividade comum em Roraima (VALE JÚNIOR, 2000), é um dos fatores importante nesse processo. Nesta prática, após período de três ou quatro anos de plantio ocorre o esgotamento dos solos, então as áreas de plantio são abandonadas e novas áreas de floresta são desflorestadas.

Neste cenário, as regiões de florestas estão sendo convertidas rapidamente em usos diversos da terra. Entretanto, pouco se sabe sobre qual tipo de atividade humana é desenvolvida no processo de conversão da floresta. Por vezes, o forte efeito do histórico de uso da terra mascara a intensidade e duração dos impactos (CARDILLE e FOLEY, 2002).

Segundo Rosa (1996) para que ocorra o uso permanente, sustentado e eficiente das paisagens produtivas no processo de sua ocupação, é necessário que haja entendimento dos processos físicos, biológicos e espaciais da região. Além disso, devem ser identificadas as possíveis sensibilidades dos ecossistemas ao impacto tecnológico.

Na busca do entendimento, muitos estudos utilizaram a perspectiva da paisagem associado às técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento como ferramentas para sistematizar e compreender as transformações na Amazônia. Com a junção dessas ferramentas, a paisagem passou a ser analisada de forma mais integrada, sistêmica e em diversas escalas.

No contexto amazônico uma paisagem que vem sofrendo intensamente com a conversão de áreas naturais é a Serra de Pacaraima, localizada no município de Pacaraima, extremo norte do Estado de Roraima. Esta região representa uma fronteira política e ambiental na Amazônia Legal. Trata-se de uma área de fronteira entre o Brasil e Venezuela, onde encontramos uma paisagem formada por um mosaico de vegetação, que tem destaque a “Floresta Ombrófila Densa” e a “Savana Estépica”, as quais se desenvolvem em relevo movimentado, temperatura amena e elevado índice pluviométrico.

Entender as mudanças nesta paisagem é crucial para seu aproveitamento sustentado e manutenção, que vem passando por um processo de ocupação desordenada, onde os desmatamentos e as queimadas expõem o solo aos processos erosivos que são fortemente condicionados pelos aspectos naturais regionais (COSTA, FALCÃO e COSTA, 2006; VALE JÚNIOR, 2000).

Sobretudo, o conhecimento da paisagem baseado nas interrelações existentes entre os diversos fatores atuantes em sua dinâmica fornece subsídios importantes para a tomada de decisões. Desta forma, pode-se fazer melhor proveito das potencialidades, preservando as sensibilidades da paisagem com vista à sua sustentabilidade.

Portanto, para entender as mudanças ocorridas na Serra de Pacaraima, este estudo empregou o conceito de paisagem, com o suporte de técnicas de sensoriamento remoto e da integração dos dados por sistemas de informação geográfica. Assim, primou-se pela descrição das características da paisagem regional mais relevante, de maneira dinâmica, valorizando a síntese e integração das informações obtidas.

1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conceito de paisagem já permeou por diversas áreas do conhecimento, mas, sobretudo faz parte de um senso comum que mesmo diferente das indagações científicas inerentes ao termo apresentam semelhanças mantidas nas suas definições. Já, os princípios e aplicações da tecnologia conhecida como sensoriamento remoto são mais recentes e estão diretamente ligados ao desenvolvimento do conhecimento em diversos campos da ciência.

Como os temas mencionados são de fundamental importância na análise da paisagem proposta neste trabalho, sentiu-se que uma introdução aos conceitos e princípios relativos à concepção da paisagem e sua integração com a tecnologia do sensoriamento remoto seria necessária, portanto, uma abordagem destes temas é apresentada a seguir.

1.2.1 Concepção da Paisagem

A noção de paisagem sempre esteve presente na memória do ser humano, está idéia, nos primórdios, baseava-se na observação do meio. As expressões desta memória e das observações são encontradas nas artes e nas ciências das diversas culturas. Todavia, a concepção atual de paisagem é fruto de um processo de construção, que envolveu diversos pontos de vistas e correntes de pensamentos.

Para Guerra (2006), o conceito de paisagem variou de acordo com as perspectivas de análise, da abordagem e das orientações teórico-metodológicas das diversas disciplinas e escolas preocupadas com sua compreensão. Desta maneira, o conceito de paisagem pode ter duas formas principais de abordagem: uma estético-descritiva, que está mais relacionada com sua gênese, e a outra científica, que se remete ao desenvolvimento e estabelecimento do conceito de paisagem e da Ciência da Paisagem. Ainda salienta-se que, as variações de conceitos sobre o termo paisagem também estão atrelados à sua etimologia e origem, que deram a palavra significados diferentes de acordo com as escolas relacionadas à Geografia.

Desta maneira, as orientações teórico-metodológicas das escolas de Geografia Física desenvolveram e aplicaram o conceito de paisagem de maneira diferenciada, apoiando-se em diferentes horizontes epistemológicos, o que gerou uma diversidade de abordagens. No entanto, independentemente dos pontos de vista das escolas, a abordagem sobre o conceito de

paisagem, teve fases que quando relacionada com o período de desenvolvimento podem ser mais bem entendidas.

Antes do século XIX, a palavra paisagem teve seu desenvolvimento relacionado com o paisagismo e a arte dos jardins. A partir de meados do século XIX através da conjugação de fenômenos sociais, tecnológicos e com o surgimento dos trabalhos de análises descritivas e regionais da paisagem, seu estudo começa a ganhar popularidade e conotação científica, expressando a característica de lugar ou de território (CHRISTOFOLETTI, 1999).

No início do século XIX, a abordagem descritiva e morfológica, observa a natureza de um ponto de vista da sua fisionomia e funcionalidade. Segundo Guerra (2006) nesta fase recebem destaque os trabalhos desenvolvidos por: Alexander von Humboldt, em 1812, e Richthofen, em 1886, da escola alemã, que apresentam aspectos descritivos da vegetação e do território; na escola francesa, La Blache, considerou como elementos básicos na organização e desenvolvimento dos estudos geográficos, os componentes da natureza e os originários das atividades humanas; na antiga União Soviética, em 1912, Dokoutchaev, aborda os fatos ligados com a natureza, definindo o “Complexo Natural Territorial” (CNT), considerou para isso, processos físicos, químicos e bióticos da paisagem; na escola anglo-americana, Grove Karl Gilbert e William Morris Davis, que analisam a paisagem sob a perspectiva da evolução do relevo, apresentam a noção de equilíbrio na natureza e consideram que a evolução do relevo possui um começo, meio e fim, no qual pode recomeçar com um processo de rejuvenescimento.

Até aproximadamente os anos 20 do século XX, o conceito de paisagem estava relacionado à fase estético-descritiva. Daí em diante, se abriu espaço para uma reflexão mais abrangente e científica do termo, destacando-se os aspectos fisionômicos da paisagem, sem, no entanto, apropriar-se de uma definição mais integradora e abrangente dos sistemas físicos e sociais. Neste momento, prevaleceu os princípios estabelecidos pela Teoria Geral dos Sistemas Dinâmicos, publicada em 1948 por Ludwing von Bertalanffy (GUERRA, 2006).

No olhar sistêmico o conceito de paisagem passa a ser entendida de maneira integrada e estabelece um novo horizonte epistemológico. Assim, a natureza é composta por elementos interligados que denota a dinâmica de relação existente num sistema. Então, surge no cenário acadêmico, grande diversidade de abordagens do conceito de paisagem. Dentre os quais, se destacam, as abordagens que entendem a paisagem como: a relação homem-natureza, sistemas naturais e unidades classificadas, sobre as quais está estruturada. Desta forma, ocorreu o desenvolvimento de conceitos como o de ecossistema apresentado pelo inglês A. G.

Tansley, 1935, e o de geossistema mostrado pelo soviético V.B. Sotchava, em 1963, que influenciaram o termo e a compreensão da paisagem (GUERRA, 2006).

A ciência ecológica juntamente com a teoria do “holismo”, tinha o “Ecossistema” como seu objeto de estudo. Segundo estes conceitos a natureza é como um sistema que denota a dinâmica de relação existente entre uma comunidade biótica e seu ambiente. Então, o sistema é definido por uma estrutura de fluxo de energia, matéria e informação.

Entretanto, algumas premissas da ecologia definida por Tansley (1935) limitavam o entendimento da paisagem, pois não considerava sua estrutura espacial. No entanto, a partir dos anos 70 do século XX, a ecologia redireciona sua análise de investigação e os seus fundamentos teóricos à necessidade de integrar as correntes espacial (geográfica) e funcional (ecológica), ao estudar a paisagem (ODUM, 1988).

Na concepção geossistêmica, a paisagem é vislumbrada como um complexo sistema físico formado por elementos interligados. Para Troppmair (2004), quando Sotchava criou o termo “Geossistema”, ele baseou-se em vivências na pesquisa e na interpretação da paisagem do seu país, a Ex-União Soviética, sob uma visão da Teoria Geral dos Sistemas. Desta forma, a paisagem é vista como uma unidade complexa, um espaço amplo que se caracteriza por certa homogeneidade de seus componentes, estruturas, fluxo e relações que integrados formam o ambiente físico onde há exploração biológica.

Para explicar o geossistema Bertrand (1971) se pauta em aspectos naturais como o potencial ecológico (geomorfologia, hidrologia e clima), que são o grupo de elementos mais estáveis na paisagem, bem como, na exploração biológica (vegetação, fauna e solo), e na ação antrópica. Os três aspectos estão interligados, entretanto o homem é considerado como o mais eficiente transformador do conjunto dos elementos naturais (figura 1).

Na busca pela compreensão das complexas relações, a paisagem passou a ser entendida como constituída por unidades taxonômicas interligadas. A delimitação das “unidades taxonômicas da paisagem” pode ser realizada por intermédio da análise de parâmetros como as descontinuidades naturais da paisagem, as relações existentes no seu conjunto de elementos, o seu caráter dinâmico e a escala adotada (BERTRAND, 1971).

De acordo com Ross (1990), as unidades de paisagem naturais se diferenciam pelo relevo, clima, cobertura vegetal, solo ou até mesmo pelo arranjo estrutural, tipo de litologia ou por apenas um desses componentes. Entretanto, ele considera que a complexidade dos ambientes naturais, como também dos alterados pelo homem, é de tal ordem que não é possível estabelecer seus limites territoriais com precisão.

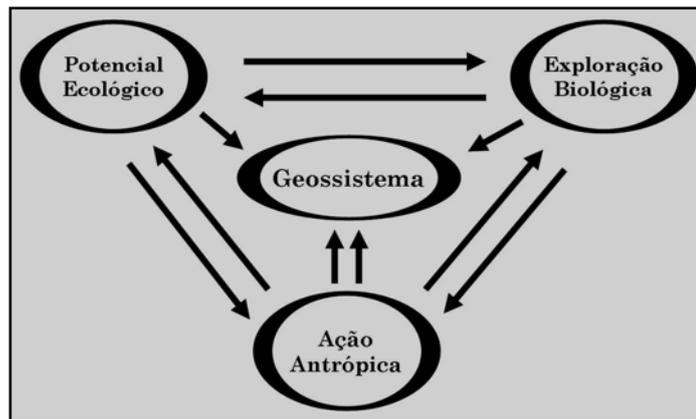


Figura 1. Modelo teórico do geossistema, proposto por Bertrand (1971).

Baseado num referencial holístico da paisagem, Carls Troll, em 1950, une as duas ciências (Geografia e Ecologia) que mais abordam o estudo da paisagem por meio do conceito de Ecologia da Paisagem (GUERRA, 2006). Esta nova visão da paisagem incorpora a abordagem funcional, interativa (holística), ecossistêmica e espacial, de forma transdisciplinar.

A Ecologia da Paisagem passa a ter grande preocupação com a esfera antrópica e com as alterações realizadas pela mesma (TORRES, 2003). Ressalta-se a importância da heterogeneidade, identificação dos elementos que formam o mosaico do território estudado e sua organização espacial na intenção de integrar a paisagem com seus determinantes e seus efeitos sobre os processos estudados (figura 2).

Assim, as paisagens refletem uma dinâmica natural e das atividades humanas, e são fruto das habilidades, desenvolvimento de técnicas e necessidades humanas. Ainda acrescenta-se a relação temporal já que os fatos e fenômenos, numa análise da paisagem, é espaço-temporal.

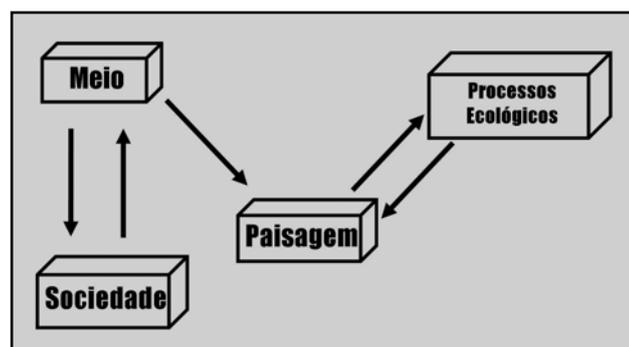


Figura 2. Relação paisagística na ecologia da paisagem, modificado de Torres (2003).

Utilizando também os conceitos de ecologia e adotando a análise sistêmica, Tricart (1977) criou uma metodologia de análise da paisagem. Esta foi denominada de “ecodinâmica”, que está integrado ao conceito de ecossistema e baseia-se no instrumento lógico dos sistemas. A ecodinâmica considera a cobertura vegetal como base de todo ecossistema e a morfodinâmica como fator limitante dos ecossistemas.

O problema da espacialidade encontrada na concepção ecossistêmica foi solucionado com a definição da “unidade ecodinâmica”. Nesse contexto, a unidade ecodinâmica se caracteriza pela dinâmica do ambiente físico e dos ecossistemas com repercussões mais ou menos imperativas sobre as comunidades. Assim, a morfodinâmica é o elemento determinante da paisagem e dependente do clima, topografia e material rochoso, enquanto, a ecodinâmica funciona como elemento de integração desses vários parâmetros.

Atualmente, a paisagem é vista de duas maneiras, um como objeto de interesse de pesquisa, e o outro como método de estudo (MAXIMINIANO, 2004). Sobretudo, independentemente do ponto de vista, os aspectos mais relevantes da paisagem merecem sempre ser mencionados.

Dentre os vários aspectos, Maximiniano (2004) destaca: o visual; a complexidade de interrelações entre os elementos físicos e destes com os elementos culturais, a possibilidade de cartografar a paisagem; a diversidade da escala da paisagem; a possibilidade de classificar a paisagens em unidades diferenciadas ou homogêneas; a possibilidade de classificar a paisagem com ênfase em um elemento da sua composição; o caráter dinâmico das paisagens; a possibilidade de análise por meio dos elementos, estrutura e/ou funcionamento da paisagem.

Para Schier (2003), hoje, a idéia de paisagem merece mais atenção pela avaliação ambiental e estética. Neste sentido, o estudo da paisagem exige um enfoque, do qual se pretende fazer uma avaliação definindo o conjunto dos elementos envolvidos, a escala a ser considerada, e a temporalidade da paisagem. Trata-se da apresentação do objeto em seu contexto que leva em conta a configuração social e os processos naturais e humanos.

De modo geral, percebe-se que a visão de paisagem sempre teve um aspecto utilitarista para praticamente todos os povos e em todas as épocas. Assim, o conceito de paisagem foi ampliado, sempre com base no que existiu e existe de útil e mais ou menos compreensível no entorno da existência humana. Contudo, é indispensável na adoção de enfoques paisagísticos a inclusão dos principais componentes do meio, considerando-os igualmente de maneira interatuantes e indissociáveis, e interpretá-los com base em evidências científicas, interrelacionando os diferentes componentes físicos e biológicos.

Então, para se chegar a uma avaliação mais próxima sobre as relações existentes numa paisagem, Nucci (2007) reporta a necessidade de haver integração de informações em diversas áreas do conhecimento. Neste trabalho, o entendimento da complexa relação dos fatores condicionantes da paisagem foi considerado como dependente de uma análise sintética e interligada dos aspectos ambientais e processos mais relevantes.

1.2.2 Sensoriamento Remoto e a Percepção da Paisagem

Na perspectiva da paisagem, o sensoriamento remoto e seus produtos são uma ferramenta poderosa para a delimitação, classificação e avaliação das unidades paisagísticas. De forma ampla esta ferramenta é definida como uma tecnologia que permite a aquisição de informações sobre objetos sem contato físico.

Restritamente sua definição compreende a utilização conjunta de sensores e equipamentos para processamento e transmissão de dados, com o objetivo de estudar fenômenos da superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõe em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2008).

No processo de evolução desta tecnologia, as fotografias aéreas foram os primeiros produtos a serem utilizados na obtenção de informações relacionadas à superfície da Terra. Com os avanços do conhecimento nos campos da aerofotogrametria, fotointerpretação e pesquisas espaciais surgiram os primeiros sensores a bordo de satélites e suas imagens.

As imagens de satélites ressaltam o comportamento da paisagem em diversas partes do espectro eletromagnético e em diferentes escalas de espaço e tempo. Elas são formadas a partir do registro da radiação eletromagnética emitida e/ou refletida por objetos da superfície terrestre nos sensores instalados em plataformas orbitais (FLORENZANO, 2002).

A radiação eletromagnética pode ser registrada por sensores de maneira contínua em função de seu comprimento de onda ou de sua frequência, sendo esta disposição denominada de espectro eletromagnético. Este apresenta subdivisões de acordo com as características de cada região (figura 3).

Segundo Clark (1999), a linha que estuda a radiação eletromagnética como função do comprimento de onda que está sendo emitida, refletida ou espalhada por um gás, um líquido ou um sólido é chamado de espectroscopia.

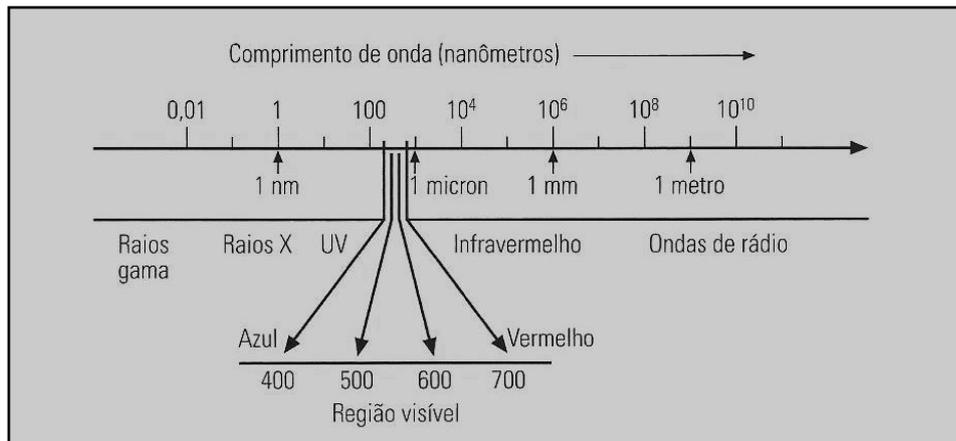


Figura 3. Regiões do espectro eletromagnético, modificado de Novo (2008).

Logo, a energia captada pelos sensores remotos depende da radiância dos objetos da superfície terrestre. Entretanto, a energia antes de alcançar os sensores é perturbada por processos atmosféricos. Apenas uma fração dos fótons que vêm dos alvos alcança o sensor de maneira que os objetos parecem refletir menos.

Neste processo alguns fótons são absorvidos, outros são espalhados. A interação com moléculas ou aerossóis não absorvedores da atmosfera é elástica, e os fótons são reemitidos imediatamente em uma direção diferente da direção de incidência (VERMOTE *et al.*, 1995 e 1997 apud BAPTISTA, 2006). Depois de um ou mais processos de espalhamento, esses fótons deixam a atmosfera e são contabilizados no total de fótons que alcançam o sensor na plataforma, mas suas trajetórias são mais complexas que as trajetórias diretas (figura 4).

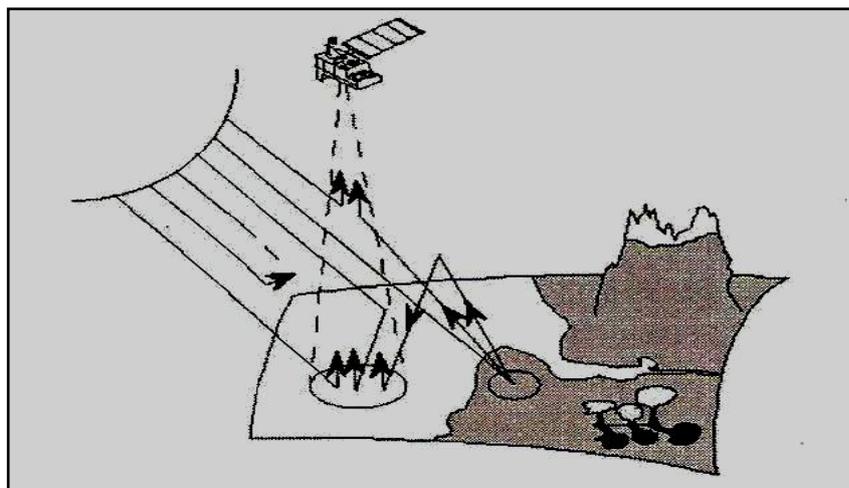


Figura 4. Componentes do sinal recebido por um sensor instalado em um satélite, modificado de (VERMOTE *et al.*, 1995 e 1997 apud BAPTISTA, 2006).

Depois da captação e registro da energia eletromagnética, pode-se dizer que, esta constitui a base de dados para todo o processo de identificação dos recursos sobre a superfície da Terra e as imagens de satélites são produtos nos quais estão contidos os dados derivados deste processo. No entanto, as primeiras imagens de satélites destinavam-se para fins militares não sendo disponibilizado para o meio civil, fato que limitava seu acesso e conseqüentemente seu emprego nos estudos sobre a paisagem.

Com o desenvolvimento do programa LANDSAT, ocorreu a disponibilização das primeiras imagens para o meio civil. Os satélites desta série são considerados a primeira geração de satélites de recursos da Terra desenvolvidos pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), que depois de minuciosos trabalhos de pesquisas lançaram em 1972, o primeiro satélite da série (NOVO, 2008).

Assim, as imagens de satélites tornaram-se mais acessíveis, possibilitando uma visão da paisagem mais ampla e integrada. De posse deste entendimento, Jean Tricart em 1979, no artigo “Paysage et Ecologie” foi o primeiro a visualizar as imagens de satélites nos estudos da paisagem (TORRES, 2003). Outros trabalhos receberam destaque por integrar imagens de sensoriamento remoto à dados de campo e realizar extensos levantamentos sobre recursos naturais em diversos países.

Dentre os quais podemos citar o sistema de Terra desenvolvido pelo CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Organisation*), que levantou os recursos naturais da Austrália, baseado no uso sistemático de fotografias aéreas e/ou, mais recentemente, de imagens orbitais de sensoriamento remoto (BOHRER, 2000).

No Brasil, destaca-se o Projeto RADAMBRASIL, como um importante marco nos estudos sobre recursos naturais do país. Neste trabalho, foram utilizados mosaicos semicontrolados de imagens de radar integradas a informações de campo e referencial teórico de todo território nacional para gerar informações sobre geologia, geomorfologia, vegetação, pedologia entre outros aspectos das paisagens regionais.

Já Rosa (1996), desenvolveu uma metodologia para o zoneamento de bacias hidrográficas, cujo princípio baseia-se numa abordagem holístico-sistêmica, ele procura compreender as interrelações estruturais da paisagem. Na aplicação desta metodologia utilizou imagens orbitais para a seleção das classes de uso da terra e cobertura vegetal.

Para esse autor, o zoneamento constitui em um ordenamento territorial, baseado na identificação e caracterização de sistemas de ocupação, que visa o aproveitamento racional das paisagens produtivas. Ele permite identificar os manejos inadequados e orientar adequadamente a ocupação de paisagens produtivas ociosas.

Crepani *et al.*, (1996), também propôs uma metodologia que se baseia nos conceitos da Ecodinâmica de Tricart (1977). Para isto utiliza o princípio do uso sistemático de imagens de satélite e visa à elaboração da carta de vulnerabilidade natural à erosão. A metodologia foi inicialmente aplicada aos estados que compõem a Amazônia Legal com o intuito de realizar a primeira fase do Zoneamento Ecológico-Econômico.

De acordo com Sousa (1998), a carta de vulnerabilidade à erosão constitui um dos produtos síntese intermediários e representa a contribuição oferecida pelo meio físico-biótico à ocupação racional do território e o uso sustentável dos recursos naturais.

As técnicas do sensoriamento remoto também são utilizadas para fazer interpretações da paisagem em escalas maiores, implicando em avaliações mais detalhadas dos espaços territoriais. Outra possibilidade é a utilização de séries multitemporais de imagens de satélites para interpretação do caráter dinâmico da paisagem.

Assim, a tecnologia do sensoriamento remoto é utilizada nos trabalhos sobre a paisagem como uma ferramenta de obtenção e análise de dados sobre um determinado território. Isto possibilita que a paisagem seja visualizada sobre diferentes perspectivas, que, depende das características dos dados contidos nas imagens de sensoriamento remoto.

1.2.3 Características dos Dados de Sensoriamento Remoto

Segundo Mustard e Sunshine (1999), uma importante característica dos dados digitais é o intervalo de comprimento de onda “bandas” que a imagem representa. A seleção de bandas específicas para exibição em planos de imagem vermelha (“Red”), verde (“Green”) e azul (“Blue”) pode ser usada em primeira ordem para a análise das propriedades espectrais da cena. Assim podem ser geradas composições de bandas que facilitam a identificação dos alvos de interesse do usuário (figura 5).

Outra característica dos dados das imagens de sensoriamento remoto se refere a sua composição digital. Especialmente elas são formadas por discretos elementos “pixels”, e radiometricamente são quantificados em níveis de cinza. Desta forma, o tamanho da área de cobertura da imagem, juntamente com a resolução espectral, espacial e radiométrica determinam o volume de dados providos por um sensor e a quantidade de dados a ser processados na imagem (RICHARDS, 1993).

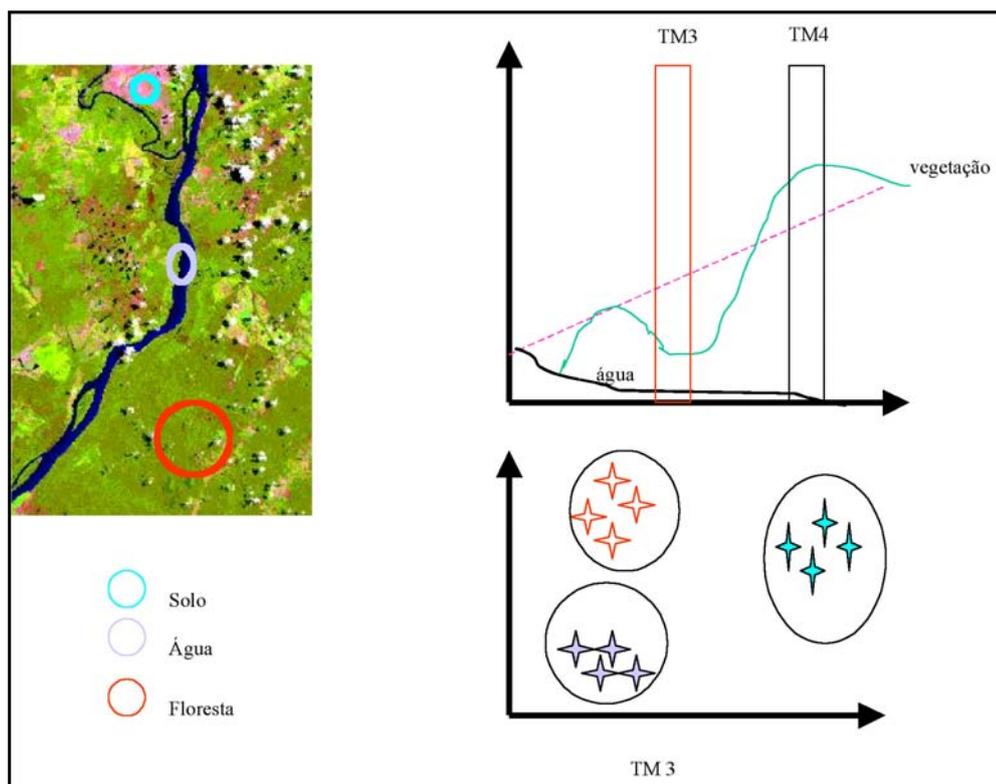


Figura 5. Imagem em composição RGB, ressaltando as propriedades espectrais dos alvos solo, água e floresta na cena e nas bandas TM3 e TM4, (NOVO, 2008).

De acordo com Mather (1999) as resoluções são definidas da seguinte forma:

Resolução Espectral: corresponde ao número e ao intervalo das bandas espectrais medidas pelo sistema sensor. Possibilita o estudo de objetos da superfície terrestre em função de suas propriedades espectrais.

Resolução Espacial: corresponde a capacidade dos sensores detectarem objetos terrestres. A forma mais comum de medida baseia-se na área da superfície que na teoria é vista por um instrumento em uma dada altitude em algum dado instante do tempo. É representado pela dimensão do pixel, equivalente a metros na superfície terrestre.

Resolução Radiométrica: corresponde ao número de níveis digitais (níveis de cinza) usados para expressar os dados coletados por um sensor. Os níveis de cinza são comumente expressos em termos de número binário de dígitos (bits) necessário para alcançar o valor máximo de níveis de cinza. O número de “bits” representa o intervalo de reflectância disponível na cena imageada.

Resolução Temporal: refere-se ao intervalo em número de dias para se repetir o imageamento de uma determinada área por um sensor. Este tipo de resolução é de utilidade para os trabalhos de monitoramento de mudanças nos aspectos da paisagem.

Essas propriedades das imagens de satélites se apresentam como uma fonte de dados registrados, mas para sua devida utilização como informação, precisam antes ser extraídas destes produtos. Esta exploração dos dados registrados nas imagens de satélites e outros produtos do sensoriamento remoto só se tornaram possível com o desenvolvimento da tecnologia da informática.

1.2.4 Processamento Digital de Imagens de Satélite

A evolução dos sensores remotos e o surgimento de avançados equipamentos e programas possibilitaram avaliar de forma sistêmica e integrada, os padrões espectrais contidos nas imagens de satélites. Estas técnicas de processamento digital facilitaram a interpretação dos dados contidos nas imagens. Normalmente essas técnicas são subdivididas em pré-processamento, realce visual e classificação digital dos dados.

As técnicas de pré-processamento são aplicadas sobre os dados brutos recebidos pelos sensores, que geralmente apresentam falhas ou deficiências. A correção das deficiências e remoção das falhas é realizada antes da utilização das imagens, qualquer que seja o propósito. Deste modo, o pré-processamento, transforma os dados, removendo características da imagem que não seja de interesse (MATHER, 1999).

Dentre as várias técnicas de pré-processamento que podem ser aplicadas as imagens, se destacam a correção atmosférica e a correção geométrica. A primeira por minimizar os efeitos da interferência atmosférica sobre o registro da radiação eletromagnética, o que resulta numa resposta espectral mais fiel dos alvos terrestres. A segunda por integrar as imagens a sistemas de coordenadas geográficas por meio da aquisição de pontos de controle, o que possibilita a análise espacial e a correlação entre cenas de uma mesma área (NOVO, 2008).

A imagem como adquirida pelo sensor também aparece visualmente com baixo contraste, devido à atuação de vários fatores como presença de bruma atmosférica, má iluminação e às próprias características da cena. Diferenças específicas dos alvos terrestres podem ser retiradas, bem como, diferenças no valor do brilho podem ser realçadas, apenas alterando o contraste de uma imagem (RICHARDS, 1993).

Assim, as técnicas de realce são aplicadas, de forma a aumentar a natureza radiométrica das imagens e melhorar seu impacto visual, facilitando a fotointerpretação. Vale ressaltar que estas manipulações do espaço espectral, consideradas como técnicas de realce de

dados, não geram informações novas apenas tornam explícitas as informações de interesse (NOVO, 2008).

Já a classificação digital é o processo de extração de informações contida nas imagens, para reconhecer padrões e objetos homogêneos. São utilizados em sensoriamento remoto para mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse. Procura-se rotular cada “pixel” da imagem segundo a ocupação do solo, e este processo é feito mediante a aplicação de algoritmos estatísticos (*classificadores*) que reconhecem padrões espectrais sobre as imagens (MOREIRA, 2005).

Os algoritmos utilizam a informação de cada “pixel” da imagem para achar regiões homogêneas, para tanto, é necessário a execução da assinatura espectral das classes (*treinamento*). Quando o treinamento considera que o usuário possui informações sobre as áreas de interesse na imagem, a classificação é dita “*supervisionada*”. Entretanto, quando o usuário utiliza algoritmos para reconhecer as classes presentes na imagem o classificador é dito “*não-supervisionado*”.

Alguns classificadores também levam em consideração a informação espacial dos “pixels” vizinhos e por isso são conhecidos como classificadores por regiões ou simplesmente “*segmentadores*”. Estas técnicas são designadas de segmentação de imagem, que pressupõem a geração de objetos internamente homogêneos e estatisticamente distintos de seus vizinhos, que serão gerados segundo critérios de descontinuidade ou de similaridade (BINS *et al.*, 1996).

Desta maneira, os dados avaliados digitalmente passaram a apresentar a grande vantagem de poder ser processados por computadores, o que facilita a extração de informações automaticamente. Antes a informação só era extraída por intermédio da fotointerpretação, que depende exclusivamente da perícia do analista para se ter fidelidade sobre a verdade terrestre.

1.2.5 Modelo Numérico do Terreno (MNT)

O MNT em particular, trata-se de um caso especial de representação gráfica de uma superfície contínua que é gerado através da interpolação de dados digitais. Para Câmara e Monteiro (2001) um MNT pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y) , em um referencial qualquer, com atributos denotados de z , que descrevem a variação contínua da superfície.

Portanto, a criação de um modelo numérico de terreno corresponde a uma nova maneira de focar o problema da elaboração e implantação de projetos. A partir dos modelos pode-se calcular diretamente volumes, áreas, desenhar perfis e secções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e aspecto, gerar fatiamentos nos intervalos desejados e perspectivas tridimensionais (FELGUEIRAS, 2001).

O processo de geração do MNT consiste nas etapas de aquisição das amostras (amostragem), geração do modelo propriamente dito (modelagem) e por fim aplicação do modelo (FELGUEIRAS, 2001). Na modelagem são criadas estruturas de dados que definem uma superfície de ajuste para aplicar algoritmos de análise sobre as superfícies geradas. Os modelos mais utilizados são os de grade regular (matriz de altitude) e os de grade irregular triangular (TINs). Os dois são inter-conversíveis, entretanto a escolha entre um ou outro depende do tipo de dado da amostragem (BURROUGH e MCDONNELL, 1998).

A grade regular é bastante empregada na modelagem, segundo CÂMARA *et al.* (2004), esta se caracteriza por ser uma matriz na qual cada elemento está associado a uma região da superfície terrestre, a partir de coordenada inicial e de espaçamentos regulares nas direções horizontal e vertical. O processo de geração de uma grade regular consiste em estimar os valores de cota de cada ponto da grade a partir do conjunto de amostras de entrada. Depois disto define-se a superfície de ajuste que irá determinar o comportamento do fenômeno modelado dentro de cada retângulo do modelo.

1.2.6 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

O ambiente computacional abriu espaço para aplicação de técnicas matemáticas no tratamento das informações geográficas. Atualmente estes procedimentos são conhecidos como “Geoprocessamento”, e suas ferramentas computacionais são chamadas de “*Sistemas de Informação Geográfica*” (CÂMARA e MONTEIRO, 2001). Estas ferramentas permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes, ao criar bancos de dados geo-referenciados e ainda ao automatizar a produção de documentos cartográficos.

Portanto, os SIGs são uma poderosa ferramenta para coletar, armazenar, recuperar, manipular e exibir dados espaciais do mundo real. Assim, a informação geográfica pode representar um fenômeno real em termos de: (a) sua posição em relação a um sistema de coordenadas conhecido; (b) seus atributos não relacionados a sua posição; e (c) suas

interrelações espaciais com outros fenômenos que descrevem o espaço e as propriedades que não são afetadas por distorções contínuas (BURROUGH e MCDONNELL, 1998).

Dentro de um SIG, as unidades de paisagem são reconhecidas como feições topológicas, que se distinguem, por sua localização (coordenadas espaciais ou geometria) ou pelo relacionamento interno ou externo da sua feição. Numa visão estática da paisagem, como nas imagens de satélites, as topologias assumem homogeneidade e são representadas por uma superfície matemática através da construção de entidades como linhas, pontos e polígonos.

Entretanto, o tratamento dessas entidades/dados geográficos num SIG, depende dos componentes computacionais do sistema (DAVIS e CÂMARA, 2001). De forma abrangente, esses componentes são representados por, uma interface com o usuário; entrada e integração de dados; funções de processamento de gráficos e imagens; visualização e plotagem; e um banco de dados geográficos que se relacionam de maneira hierárquica (figura 6).

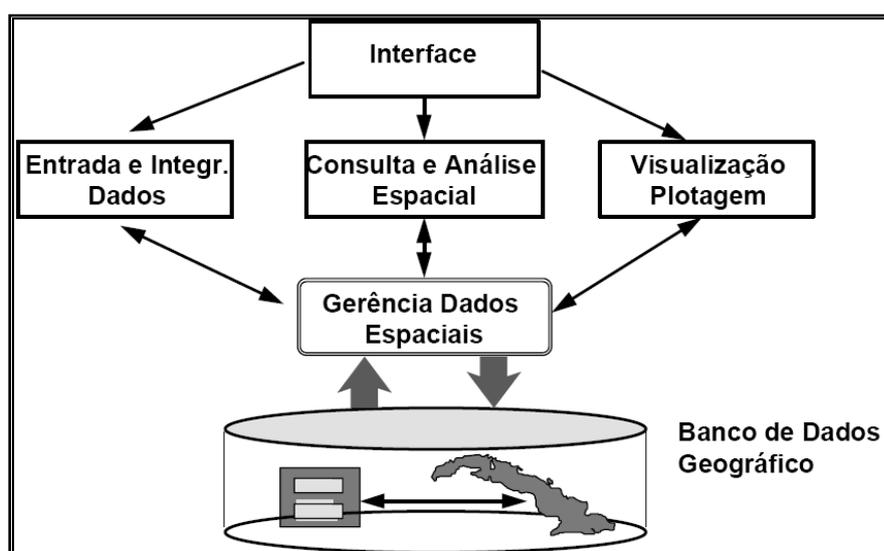


Figura 6. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica, (DAVIS e CÂMARA, 2001).

Desta maneira, os SIGs melhoram a capacidade de extração de informações das imagens digitais, por meio da incorporação de dados ambientais espaciais relacionados, como na análise de padrões espaciais de comunidades vegetais e outros elementos da paisagem, cujos resultados podem ser incorporados a base de dados (BOHRER, 2000). Com a realização de associações de dados de diversas áreas do conhecimento, nos SIGs podem ser desenvolvidos diversos estudos e trabalhos antes inimagináveis. Dentre tantos podemos destacar os estudos espaciais e temporais da paisagem e a geração de Modelos Numéricos do Terreno (MNT).

1.2.7 Integração da Paisagem

Para Torres (2003), com a utilização das técnicas de sensoriamento remoto integrado a sistemas de informação geográfico, a paisagem passou a ser analisada como uma categoria que abarca fenômenos e elementos naturais e também sociais e econômicos, sendo, os mesmos, esculpidos ao longo de um dado período na fisionomia da paisagem.

Mas, deve-se compreender a organização espacial e o funcionamento de uma paisagem que depende de uma apreensão integrada dos elementos, estejam eles perceptíveis ou não aos olhos. Neste sentido, a visualização da paisagem é facilitada e sua interpretação otimizada, o que possibilita uma compreensão mais integrada e sistêmica da complexa dinâmica das paisagens.

Neste trabalho, o entendimento da complexa relação dos fatores condicionantes da paisagem é analisado de forma sintética e interligado, levando em consideração a dinâmica temporal dos aspectos mais relevantes da paisagem na Serra de Pacaraima. Para tanto, foram processados dados de sensoriamento remoto através de aplicativos, na intenção de produzir representações gráficas da distribuição de fenômenos sobre a área de estudo.

Tais aspectos relevantes estão separados em unidades de paisagem que foram cartografados e representados pelos temas: floresta, savana, desflorestamento e ocupação humana. As mudanças na paisagem foram analisadas por intermédio de uma série de imagens do satélite LANDSAT – 5/TM, com cobertura nos anos de 1990, 1995, 1999 e 2004. Já os aspectos do relevo foram demonstrados através da confecção dos mapas hipsométrico e de declividade.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Reconhecer as unidades de paisagem na serra de Pacaraima e avaliar as mudanças que ocorreram durante o período de 1990 à 2004.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconhecer as unidades paisagísticas por meio da aplicação da técnica de segmentação de imagem, sobre cenas do satélite LANDSAT-5/TM, em associação ao reconhecimento de campo.
- Caracterizar as mudanças na paisagem através de uma série multitemporal de quatro imagens de satélite LANDSAT-5/TM, referente aos anos de 1990, 1995, 1999 e 2004;
- Aplicar técnicas de classificação digital às imagens da série multitemporal para estimar a representatividade das unidades paisagísticas reconhecidas;
- Interpretar a evolução da paisagem local a partir do comportamento das unidades paisagísticas associado aos aspectos fisiográficos;
- Gerar mapa hipsométrico e de declividade a partir do MNT – SRTM, para servir de suporte a interpretação da evolução da paisagem;

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico é feito primeiramente a localização e caracterização dos aspectos socioeconômicos e fisiográficos da área de estudo. Em seguida, são descritos os dados empregados e os procedimentos metodológicos adotados, na intenção de facilitar a compreensão e interpretação dos resultados, assim como possibilitar a reprodução do estudo e/ou método por outros pesquisadores.

3.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada no extremo norte do Estado de Roraima. Abrange parte do município de Pacaraima e encontra-se inserida no Planalto das Guianas. Compreende uma área de 165,6 km², com limites estabelecidos pelas coordenadas UTM 701715 E, 499635 N e 715515 E, 487635 N, onde recebe destaque a sede do município de Pacaraima, as comunidades rurais do seu entorno (Maloca Samã e Sítio União), a BR-174 e a fronteira entre Brasil e Venezuela (figura 7).

O município de Pacaraima foi criado a partir do desmembramento de terras do município de Boa Vista, através da Lei nº 096, de 17 de outubro de 1995. Seus limites são estabelecidos ao norte com República da Venezuela e município do Uiramutã, a leste com o município de Normandia, a oeste com o município de Amajari e ao sul com a capital Boa Vista. A área da unidade territorial é de 8.028 km², dos quais 98,81% pertencem à Terra Indígena São Marcos, território dos povos Macuxi, Wapixana e Taurepang (VALE JÚNIOR, 2000).

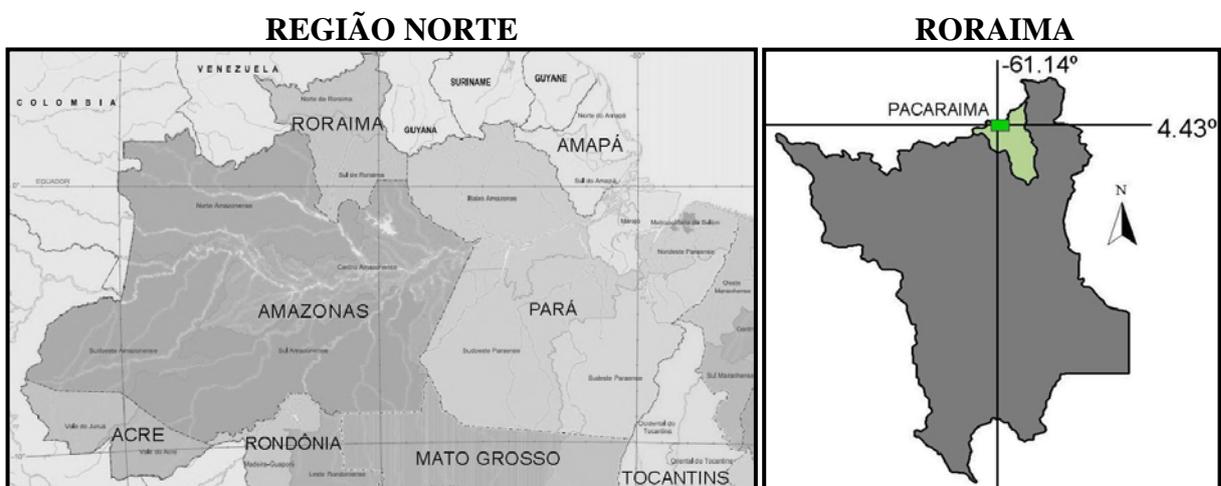
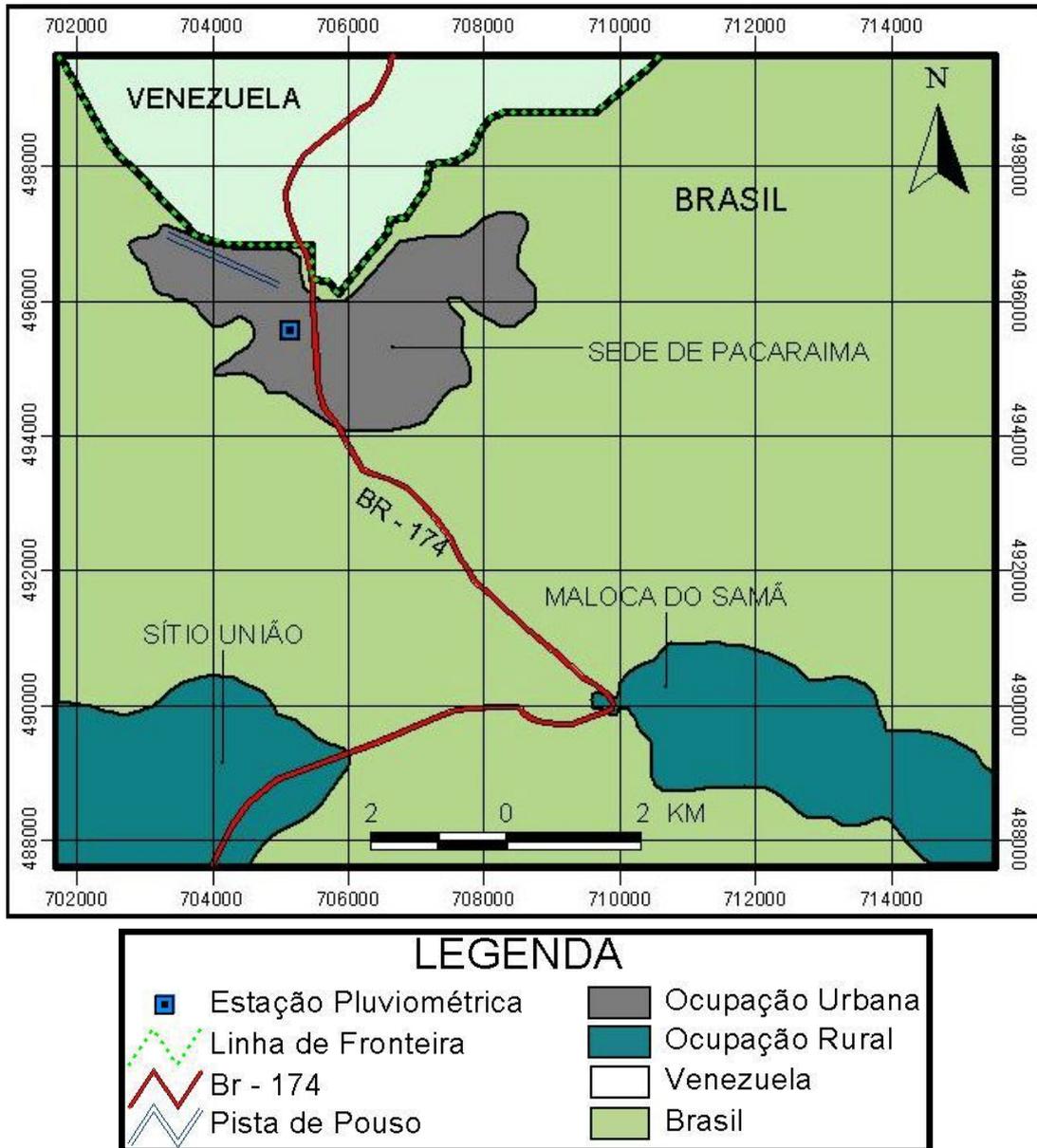


Figura 7. Mapa de localização da área de estudo.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.2.1 Aspectos Socioeconômicos

Apesar da pouca informação histórica sobre a população residente no município, os dados apresentados nas duas últimas contagens populacionais demonstram o aumento populacional significativo em Pacaraima. No ano de 2000 residiam no município 6.990 habitantes, em 2007 a população aumentou 24% e chegou a 8.640 habitantes residentes (IBGE, 2008).

Esta taxa de crescimento populacional é percebida para todo o Estado de Roraima e proporcionalmente equivale a duas vezes mais que a taxa de crescimento da população brasileira do mesmo período. Enquanto a população brasileira passa por um período de transição em seu crescimento, na qual percebemos uma clara tendência para sua estabilização, Roraima ainda passa por um processo de ocupação territorial e, conseqüentemente, elevada taxa de crescimento populacional (figura 8). Veja também, as informações gerais sobre o município de Pacaraima descritas na **tabela 1**.



Figura 8. Gráfico de evolução populacional do município de Pacaraima, Estado de Roraima e do Brasil (IBGE, 2008).

Tabela 1. Informações gerais sobre o município de Pacaraima.

INFORMAÇÕES BÁSICAS	2007
Total da População Residente	8640
Densidade Demográfica (hab/km ²)	1,07
Estabelecimentos de Ensino Pré-escolar	4
Estabelecimentos de Ensino Fundamental	37
Estabelecimentos de Ensino Médio	9
Hospitais	1
Agencias Bancárias	1

Fonte: IBGE (2008)

O crescimento populacional no Estado de Roraima é reportado como resultado das políticas de incentivo à migração como forma de acelerar o desenvolvimento local. Neste sentido, a explosão migratória no Estado é dividida em três grandes fases. A primeira ao final da década de 1970, com apoio do Governo Federal, dentro do Programa de Pólos da Amazônia. Em seguida, quando da transformação do território em Estado através do “boom” mineral em Terras Indígenas Yanomami. E por último, na década de 1990, dentro dos programas estaduais de recrutamento de migrantes em outras regiões do país com problemas fundiários (BARBOSA, 1993).

Na região Norte do Estado, particularmente na Serra de Pacaraima, a construção da rodovia BR-174 foi fundamental para o processo de sua ocupação. A rodovia é a única via terrestre de ligação, e funciona como porta de entrada do norte do país, estabelece ligação da sede do município de Pacaraima com a Venezuela e Boa Vista, esta última está a 220 km de distância daquela sede.

Além da construção da rodovia, a perspectiva de criação da Zona de Livre Comércio de Pacaraima, na década de 1990, provocou um aumento no número de pessoas voltadas para a atividade comercial na Vila. O fato também da sede municipal estar localizada na fronteira com a Venezuela promove um constante fluxo migratório de pessoas voltadas para este tipo de atividade (BRASIL, 2002 a).

Desta maneira, a sede do município tornou-se atrativa e a expansão da área urbana por pressão popular foi inevitável. Porém, o processo de ocupação vem ocorrendo de forma desordenada sem a participação de políticas públicas voltadas para o uso racional do território. A ocupação na área apresenta uma seqüência típica que é definida pela derrubada de floresta nativa seguida de queimadas, extinção da fauna e flora local, aceleração de processos erosivos, assoreamento dos sulcos coletores de água de escoamento superficial e vales de drenagens que compromete o sistema hídrico local (COSTA; FALCÃO; COSTA, 2006).

Ainda ocorre que a sede do município é considerada como área de litígio da Terra Indígena São Marcos. A Associação Programa São Marcos já aforou contra a Lei de criação municipal “Ação Direta de Inconstitucionalidade” (Ação Nº 1512-5). A Fundação Nacional do Índio (FUNAI) em defesa dos interesses da população indígena, também requereu ação ao Ministério Público Federal (Ação Nº 95.0000683-9), em relação ao município de Pacaraima.

Estas ações refletem a intenção de estancar o processo de crescimento dos limites da ocupação não-indígena na área indígena e propor também as medidas cabíveis para a composição de danos ambientais já realizados e prevenção de novos danos. Estes fatos têm demonstrado que a ocupação desordenada gera mal estar entre os índios e os não-índios na região.

Além destes fatos, o setor agropecuário também exerce uma forte influência negativa no processo de uso e ocupação das terras na região. Segundo Vale Junior (2000), apesar do microclima da Serra de Pacaraima ser favorável ao plantio de culturas típicas das regiões sudeste e sul do país, a principal prática agrícola exercida é a do tipo itinerante. Esta se caracteriza pela derrubada da floresta e pelo uso do fogo para o posterior plantio, com incorporação mínima de fertilizantes ou corretivos.

A influência da população indígena no setor agropecuário de Pacaraima se traduz em maior parte na agricultura com base no cultivo misto e pecuária extensiva. O arroz é a única cultura produzida em grande escala e ocupa uma área plantada de 4.050 hectares. Entretanto, a área cultivada com arroz se encontra na porção sul do município, fora do contexto paisagístico da Serra de Pacaraima.

De acordo com o censo agropecuário (IBGE, 2008) as culturas agrícolas que mais se destacam em relação à área plantada além do arroz são: milho com 500 ha; mandioca com 150 ha; feijão com 80 ha e banana com 60 ha. Enquanto que as criações mais relevantes em relação ao número de animais por grupo de criado são a de bovinos com 16.000 cabeças e aves com 10.000 cabeças.

Mesmo sem ser expressivo em relação ao Produto Interno Bruto (PIB) nacional, a agropecuária e os serviços são os setores que mais se destacam em Pacaraima. Em relação aos outros municípios do Estado de Roraima, Pacaraima ocupa a oitava posição no “ranking” dos PIB’s municipais (GOVERNO DE RORAIMA, 2008). A sede municipal responde pela maior parcela do PIB por ser o pólo centralizador da economia na Serra de Pacaraima, onde os produtos são comercializados e os eventuais excedentes enviados para os mercados mais próximos.

3.2.2 Aspectos Fisiográficos

3.2.2.1 Clima e Hidrografia

Por se tratar de uma região montanhosa, com altitudes que chegam a 1000 m, a região onde se encontra a sede de Pacaraima apresenta características climáticas distintas das demais encontradas em Roraima. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo “Am”, que para Barbosa; Ferreira; Castellón (1997) é um clima intermediário entre Aw e Af.

As temperaturas são amenas com a média anual em torno de 26° C. A precipitação pluviométrica é elevada e os meses de maio a agosto congregam em média, cerca de 60% do total precipitado em todo o ano (figura 9 - A). A análise de 15 anos de dados pluviométricos, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2008) demonstrou que a quantidade de chuva precipitada em média na região é de 2.285 mm/ano (figura 9 - B).

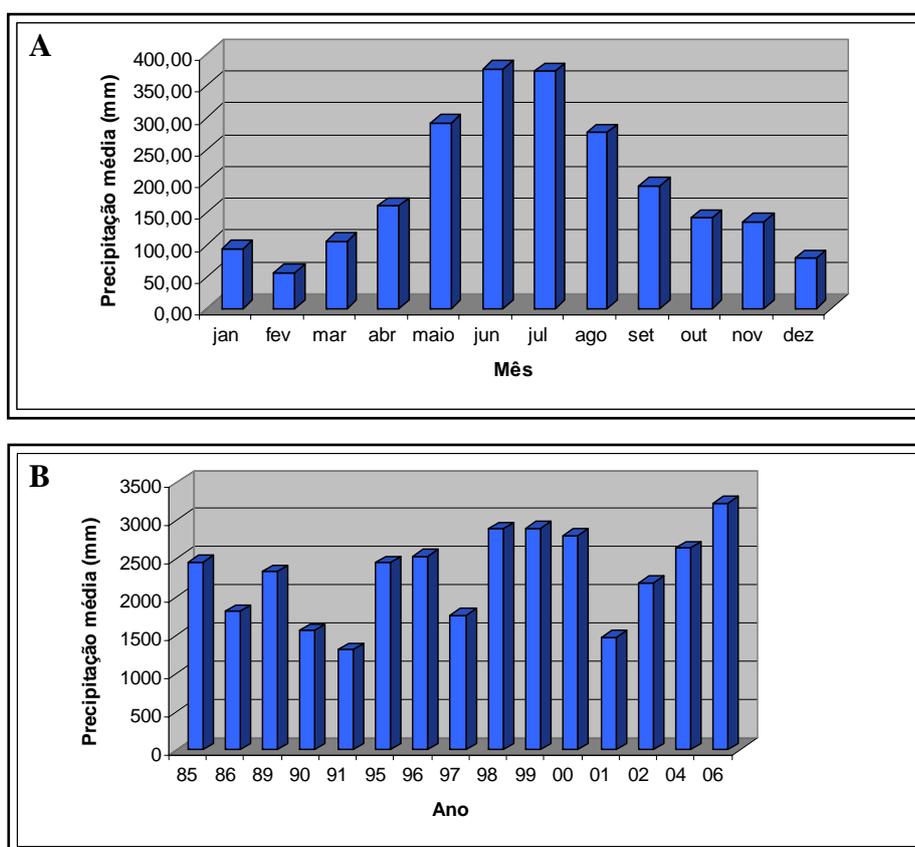


Figura 9. A) Precipitação média mensal; B) Precipitação média anual. Dados da Estação Marco BV-8, código 8461000 (ANA, 2008). Série pluviométrica referente aos anos de 1985 à 2006. Os anos com dados pluviométricos incompletos foram excluídos da análise.

De acordo com o mapa de erosividade da chuva proposto por Silva (2004), na região de estudo, os meses de maio, junho e julho apresentam valores do índice de erosividade (EI_{30}) elevados, com valores atingindo $5.400 \text{ MJ mm ano}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Por isso, as chuvas desta região são consideradas de forte poder de erosão.

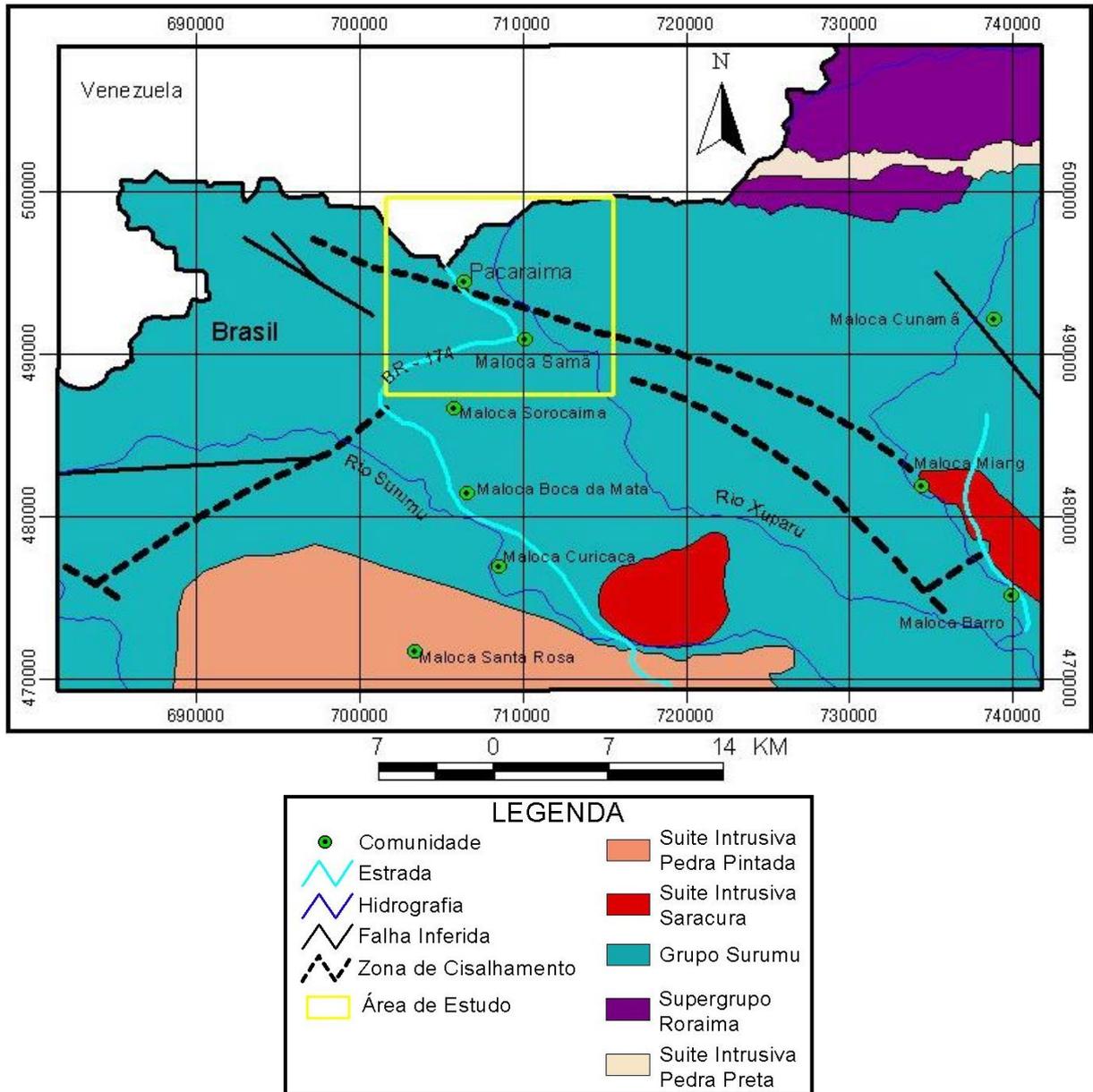
Em relação à hidrografia, a área está inserida na Macro-Região Hidrográfica do Alto Rio Branco, Região-Hidrográfica do Tacutu, e têm os rios Surumu e Xuparu como drenagens principais, onde desembocam igarapés de menor porte que descem das serras e escarpas erosivas da região (GOVERNO DE RORAIMA, 2007).

3.2.2.2 Geologia

A área de estudo está sobre a formação identificada como Grupo Surumu que pertencente ao domínio Estrutural Urariqüera (figura 10). Este Grupo é formado por derrames vulcânicos ácidos associados à plutonismo e está distribuído em extensas áreas em várias porções do Escudo das Guianas. As rochas pertencentes a esta formação são consideradas como representantes de um magmatismo vinculado aos estágios finais do ciclo transamazônico, aproximadamente 1,96 Ga, e constituem o maior derrame vulcânico ácido conhecido no Brasil (BRASIL, 1999).

O Grupo Surumu é formado por rochas vulcânicas efusivas ácidas e de composição intermediária a ácida. São resultantes de processos deformacionais e ocorrem principalmente nas regiões norte e nordeste de Roraima. Segundo Costa (1999) as rochas ácidas e intermediárias mais expressivas são: riolitos, dacitos, riolacitos e andesitos já as rochas piroclásticas são: tufos, ignimbritos e brechas (figura 11).

Essas rochas compõem um relevo de degradação em torno de 500 metros, sustentando um relevo colinoso encoberto por vegetação. Afloramentos na forma de pináculos são característicos (figura 11) e extensas áreas com diversos tipos de rochas vulcânicas na região norte de Roraima, apresentam orientação preferencial nas direções E-W e WNW-ESSE (COSTA e COSTA, 1996; COSTA e COSTA, 1996). A forte estruturação regional (enxames de falhas normais e inversas) e as condições climáticas, por vezes vão gerar bolsões de caulim como resultado do intenso intemperismo sobre essas rochas (COSTA; FALCÃO e COSTA, 2006).



REGIÃO NORTE



RORAIMA

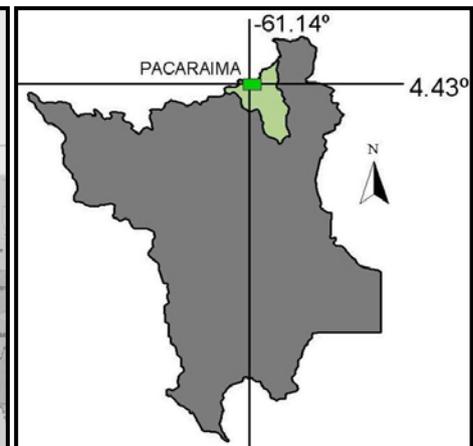


Figura 10. Mapa de Geologia, modificado de Governo de Roraima (2007).

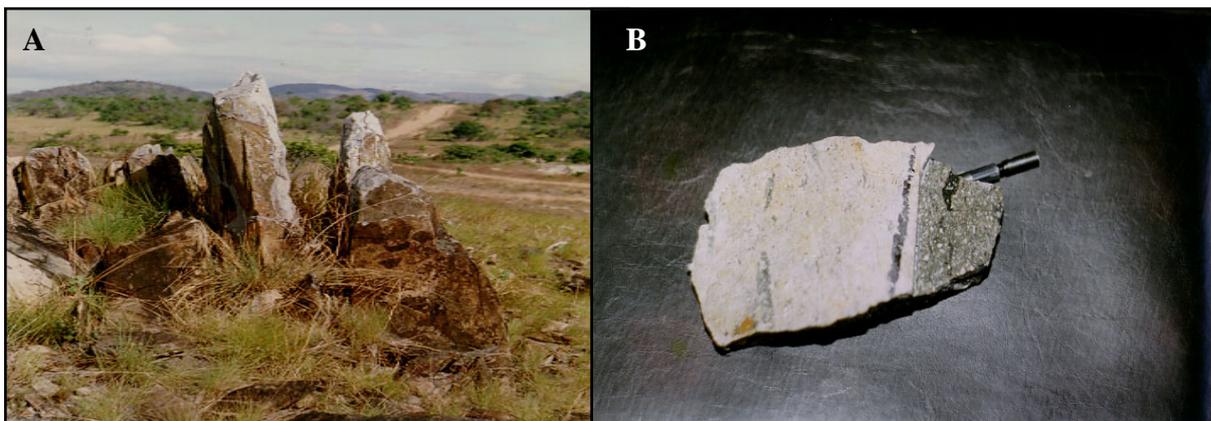


Figura 11. Rochas do Grupo Surumu; A) afloramentos de rochas piroclásticas ácidas em pináculos; B) aspecto macroscópico de ignibrito (COSTA, 1999).

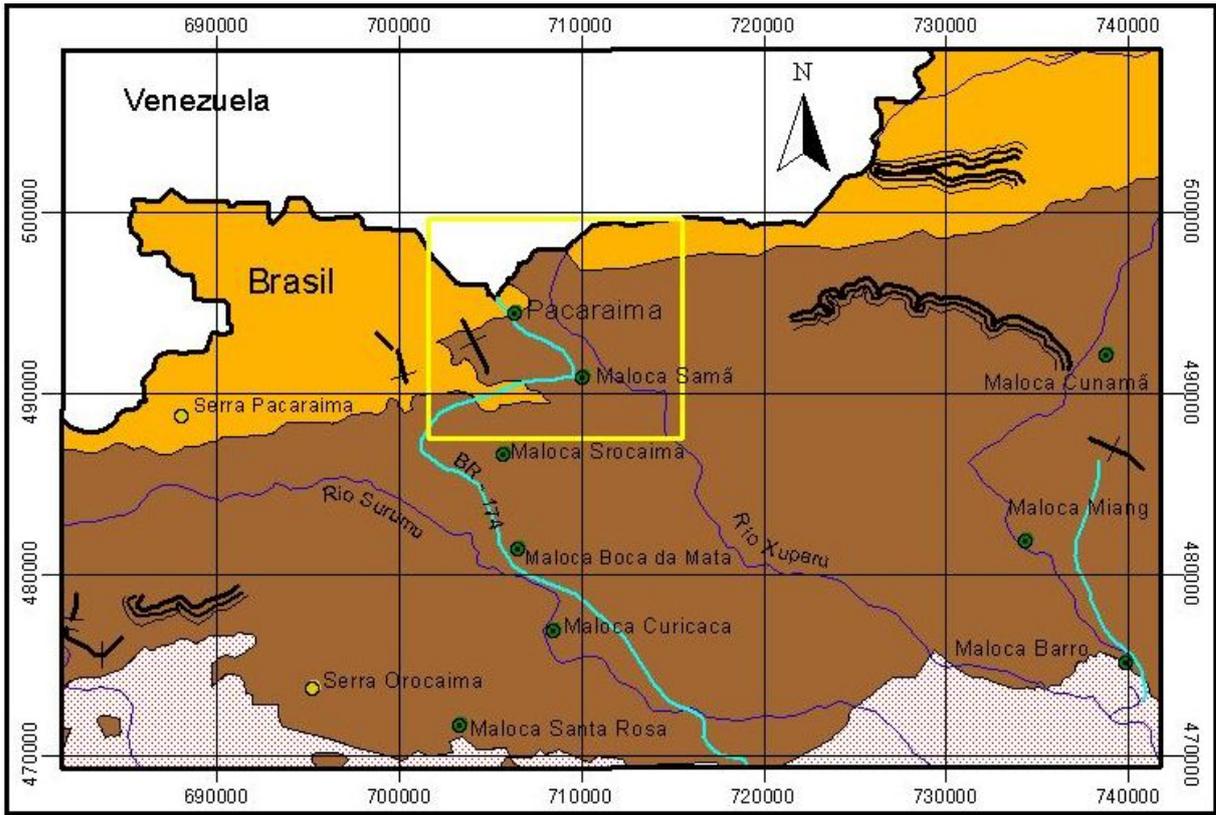
3.2.2.3 Geomorfologia

A área de estudo está compartimentalizada por duas unidades geomorfológicas de características marcantes e que influenciam fortemente os aspectos da paisagem regional (figura 12). No sentido norte – sul, ocorre a unidade geomorfológica Planalto Sedimentar Roraima, logo em seguida, o Planalto do Interflúvio Amazonas – Orinoco (GOVERNO DE RORAIMA, 2007).

O Planalto Sedimentar Roraima caracteriza-se pelas maiores elevações de origem sedimentar do Estado, onde se destacam o Monte Roraima com 2.734 m (figura 13) e a serra do Sol com 2.110 m. Essa unidade morfoestruturalmente é representada por faixas de dobramento e coberturas metassedimentares. Apresentam formas de relevo de topo estreitos e alongados, com cristas simétricas e encostas erosivas (IBGE, 2005).

Para Costa (1999), neste domínio geomorfológico, ocorre uma grande densidade de incisões como resultado da atuação do processo de erosão pluvial. As feições lineares de relevo e drenagem existentes sugerem um forte controle estrutural nos elementos da paisagem, indicando processos de desnudação em presença de atividade neotectônica.

Os sedimentos do Supergrupo Roraima, que constituem o Planalto Sedimentar Roraima exercem uma forte influencia sobre a área de estudo. De acordo com Shaefer e Vale Júnior (1997) esta formação geomorfológica tem a importância de gerar um enorme volume de sedimentos e detritos como também servir de substrato para ciclos contínuos de erosão. Logo, esta formação influenciou marcadamente as paisagens pretéritas, desde a sua deposição, até os tempos atuais, e influenciará o cenário regional ainda por muito tempo.



REGIÃO NORTE



RORAIMA

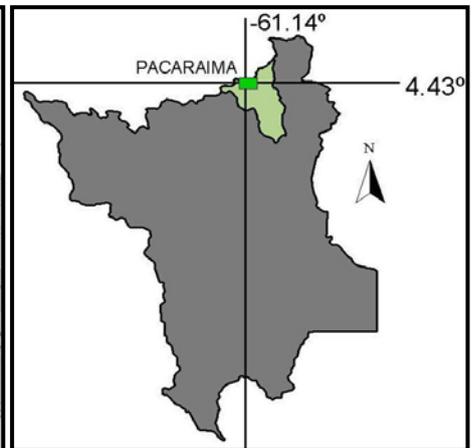


Figura 12. Mapa de Geomorfologia, modificado de Governo de Roraima (2007).

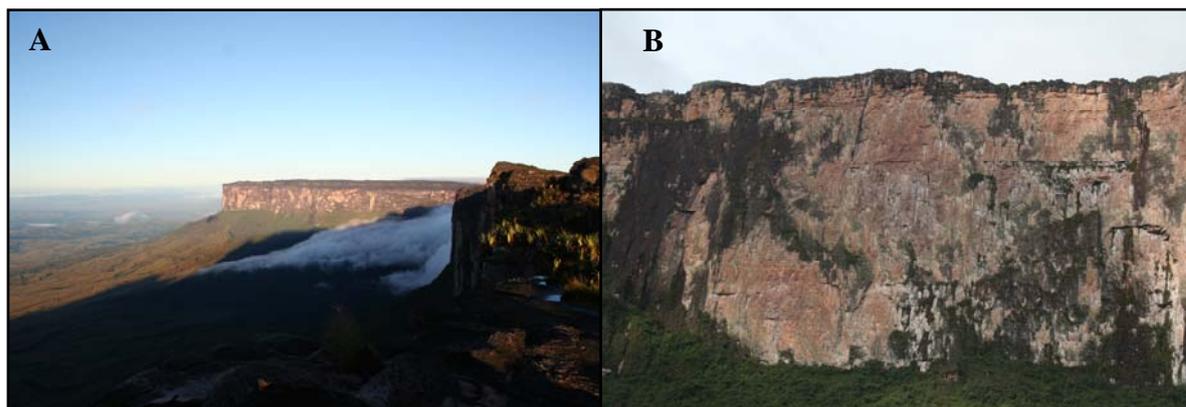


Figura 13. Monte Roraima, feição de relevo característico da unidade geomorfológica do Planalto Sedimentar Roraima; A) vista geral; B) vista ampliada (foto: STEVEN NICODEN, 2006).

O Planalto do Interflúvio Amazonas – Orinoco, por sua vez, é caracterizado por terrenos de forte a muito forte dissecação, cujas cotas apresentam-se superiores a 1000 m (BRASIL, 2002 b). De maneira geral, esta unidade geomorfológica se desenvolve em rochas graníticas e vulcânicas do Escudo das Guianas, onde a área de estudo, encontra-se especificamente sobre rochas vulcânicas.

No domínio vulcânico, as altitudes variam entre 250 a 750 m e as formas de dissecação mais frequentes estão representadas por colinas e ravinas que se desenvolvem em diferentes litotipos vulcânicos (GOVERNO DE RORAIMA, 2007). A dissecação é controlada por drenagem densa de talvegues mediamente aprofundados em presença de relevo colinoso e vertentes de declividade alta, como mostra a figura 14.



Figura 14. Serra de Pacaraima, parte constituinte do Planalto do Interflúvio Amazonas - Orinoco.

As formas de relevo de topos encontradas de maneira mais representativas são: “*topos estreitos e alongados*”, em geral denotando controle estrutural, definidas por vales encaixados; “*topos convexos*”, às vezes indicando controle estrutural, definidas por vales pouco profundos, apresentando vertentes de declividade mediana a suave entalhada por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem; “*topos tabulares*”, abarcam feições de rampas suavemente inclinadas e lombadas, caracterizando controle estrutural, e definidas em geral por vales rasos e vertentes de baixa a média declividade (GOVERNO DE RORAIMA, 2007).

Cabe ressaltar que esses extensos e elevados compartimentos geomorfológicos (Planalto Sedimentar Roraima e Planalto do Interflúvio Amazonas - Orinoco) são as principais fontes de sedimentos para as regiões rebaixadas de Roraima.

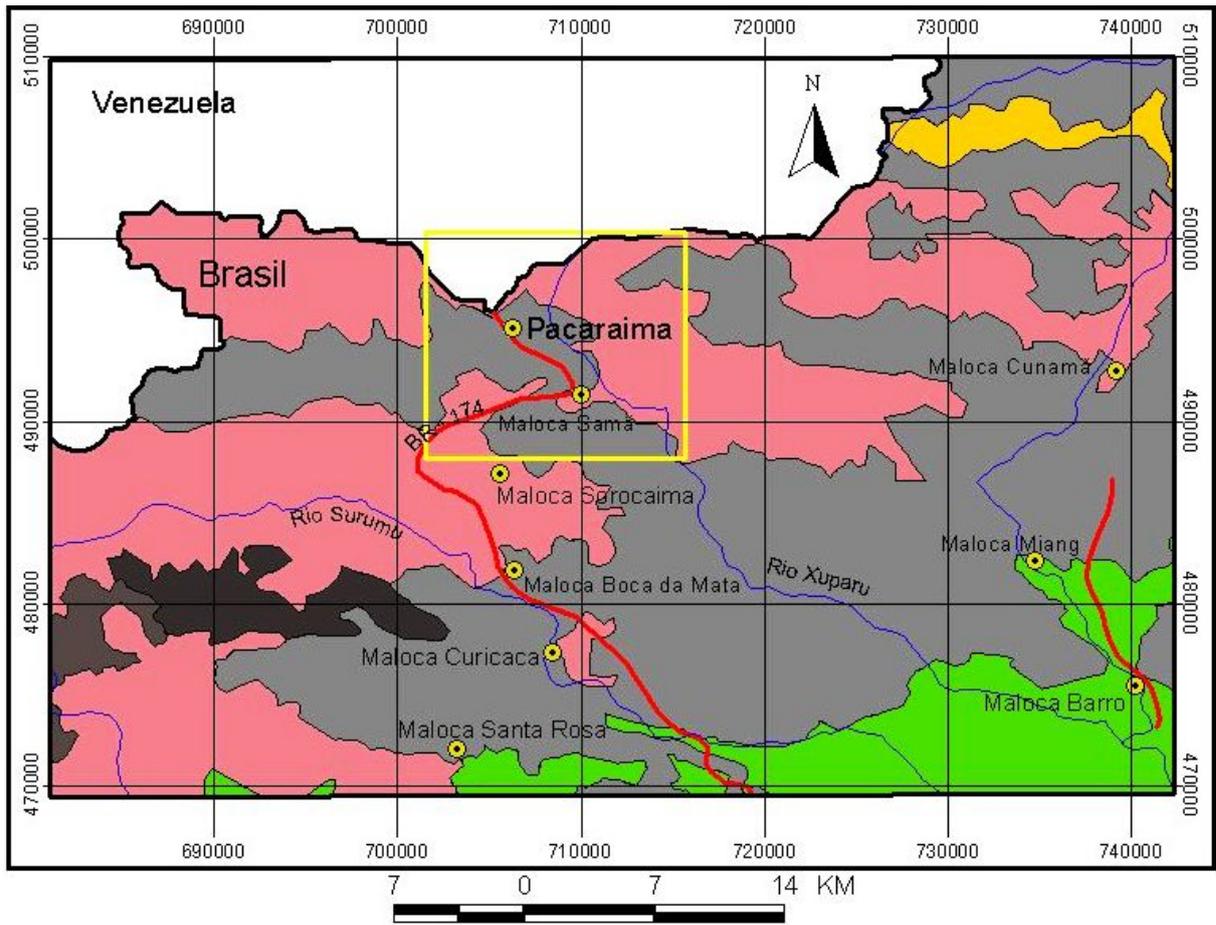
3.2.2.4 Pedologia

De acordo com o mapa exploratório de solos de BRASIL (1975), a pedologia predominante na paisagem local é representada por: solos litólicos distróficos e podzólicos vermelho-amarelo. Esses, por sua vez, podem estar associados à cambissolo litólico e afloramento rochoso, respectivamente.

Na atualização cartográfica realizada pelo Governo de Roraima (2007), as unidades pedológicas são descritas no sistema de classificação de solos mais recente. Logo, as principais unidades pedológicas são identificadas como: Argissolo Vermelho-amarelo distrófico e Neossolo Litólico distrófico (figura 15).

Essas unidades pedológicas encontram-se na região associadas entre si e também a Cambissolo Háplico distrófico e em menor expressão a afloramento de rochas e a Latossolo Amarelo distrófico (figura 16). Podem ser encontradas desenvolvidas sobre relevo montanhoso e vegetação do tipo floresta e/ou savanas.

Para Vale Junior (2000), estes solos são derivados da decomposição das rochas vulcânicas do Grupo Surumu e por estarem localizados em um relevo montanhoso, estão sujeitos a intenso processo morfogenético. Por isso, geralmente possuem baixa fertilidade, são predominantemente caulíníticos e apresentam perfis truncados.



REGIÃO NORTE



RORAIMA

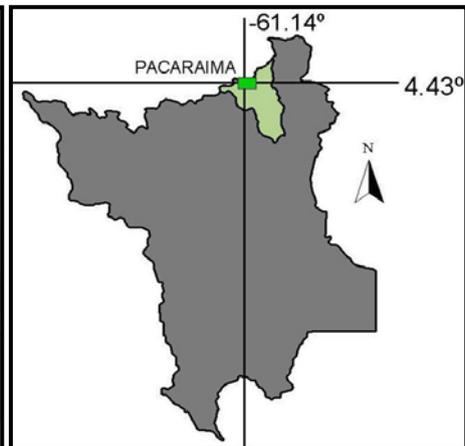


Figura 15. Mapa de Solos, modificado de Governo de Roraima (2007).

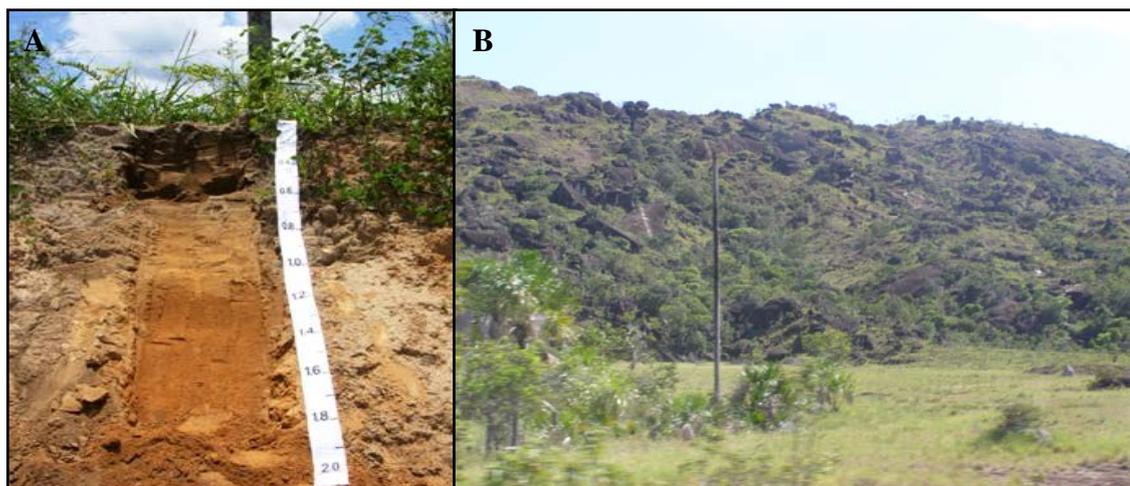


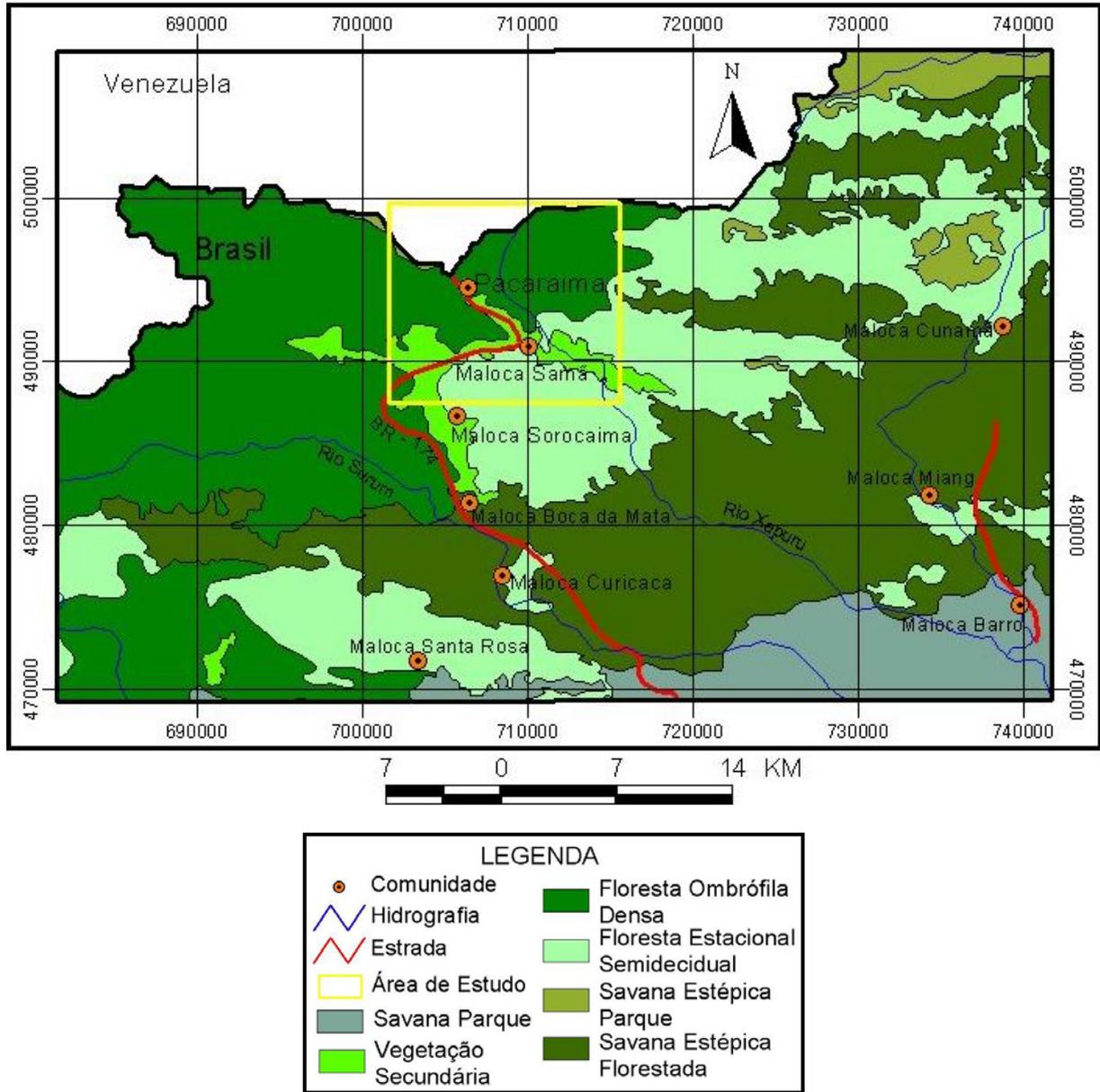
Figura 16. A) Perfil de Argissolo Vermelho-amarelo distrófico, em B) afloramento rochoso (Foto: A - VALE JÚNIOR, 2007).

3.2.2.5 Fitofisionomia

A vegetação característica da região está representada pela Floresta Ombrófila Montana com a presença de árvores robustas e altas e Savana Estépica que se caracterizam por perder suas folhas durante o período mais seco do ano (SILVA, 1997), que geralmente ocorre entre outubro e março. No mapa fitoecológico do IBGE (2005) a Floresta Ombrófila Densa Submontana e a Floresta Estacional Semidecidual Submontana são apresentadas como as unidades fitoecológicas mais expressivas. Entretanto, a Vegetação Secundária aparece em destaque assim como a Savana Estépica Parque que estabelece um abrupto contato com a região de Floresta próxima a fronteira com a Venezuela (figura 17).

A presença de vegetação secundária denuncia o processo de desmatamento e queimadas associado ao processo de ocupação humana da área. De acordo com Fearnside (2006), o aumento no desmatamento na Amazônia resulta em consequente perda de oportunidade de uso sustentável da floresta, diminuição da biodiversidade, alterações no ciclo hidrológico e do carbono, além de influenciar as mudanças climáticas a nível global.

Segundo estimativas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2008 e), o Estado de Roraima vem ampliando as áreas desflorestadas. Só no município de Pacaraima, estima-se que em 2006 foram desflorestados 64,5 km², além dos incrementos anuais no que são percebidos neste município desde 2000.



REGIÃO NORTE



RORAIMA

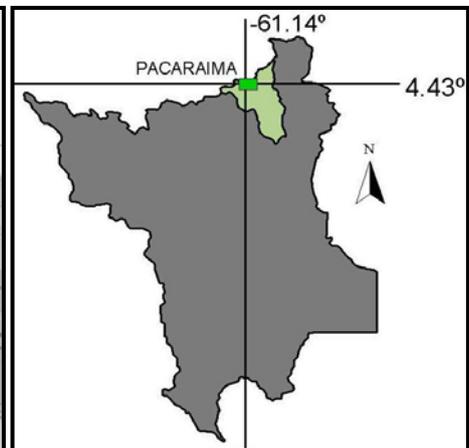


Figura 17. Mapa de Fitofisionomias, modificado de IBGE (2005).

3.3 CONFIGURAÇÃO DOS DADOS

3.3.1 Dados Cartográficos

Os dados cartográficos utilizados neste trabalho compreenderam a carta topográfica do IBGE, Rio Ereú – Folha NB-20-Z-D-IV/I, escala de 1:100.000; e os mapas temáticos de pedologia, geologia, geomorfologia e vegetação de Brasil (1975), IBGE (2005) e Governo de Roraima (2007) na escala de 1:1.000.000. Estes dados serviram de informação básica sobre a área de estudo e contribuíram tanto para os trabalhos de campo quanto para os de gabinete.

O enfoque adotado no mapeamento das unidades da paisagem priorizou a produção automatizada dos mapas através dos recursos de apresentação gráfica, contidos no programa ArcView. Os mapas gerados resultaram da interpretação visual dos recortes das imagens LANDSAT-5/TM, das imagens classificadas e dos produtos das análises sobre a imagem de radar SRTM.

Os mapas produzidos a partir das análises das imagens LANDSAT-5/TM são apresentados na escala de 1:100.000. Já os mapas produzidos a partir das análises sobre as Imagens de radar SRTM são apresentados na escala de 1:500.000.

3.3.2 Dados de Sensoriamento Remoto

3.3.2.1 Imagens do Satélite LANDSAT-5/TM

Na perspectiva de analisar as mudanças na paisagem da serra de Pacaraima fez-se uso de uma série temporal de imagens LANDSAT-5/TM. Este satélite se caracteriza por apresentar órbita circular, heliosíncrona, quase polar. Encontra-se a uma altitude de 705 km em relação à superfície terrestre no equador e inclinação de 98,2°. Os dados coletados pelo sensor TM a bordo do satélite LANDSAT-5 recobre uma área de 185 km², sendo uma mesma área recoberta em intervalos de 16 dias. Estas imagens se caracterizam por operar em 7 faixas do espectro eletromagnético, com 3 bandas na faixa do visível, 3 bandas na região do infravermelho refletido e 1 banda na região do termal (**tabela 2**). Apresentam resolução espacial de 30 m X 30 m, exceto para a banda 6, da região do termal, que possui resolução de

120 m X 120 m, e possuem resolução radiométrica de 8 bits ou 256 níveis de cinza (NOVO, 2008).

Tabela 2. Características radiométricas e espaciais das imagens do sensor TM.

Banda	Comprimento de Onda (µm)	Região do Espectro	Resolução Espacial (m X m)
1	0,45 - 0,52	Azul	30
2	0,52 - 0,60	Verde	30
3	0,63 - 0,69	Vermelho	30
4	0,76 - 0,90	IV/Próximo	30
5	1,55 - 1,75	IV/Médio	30
6	10,4 - 12,5	IV/Termal	120
7	2,08 - 2,35	IV/Médio	30

Fonte: Modificado de Novo (2008).

3.3.2.2 Características das Cenas LANDSAT-5/TM Utilizadas

As imagens LANDSAT-5/TM são disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em meio eletrônico no formato TIFF. No processo de seleção das cenas foi levado em consideração: a disponibilidade, pouca cobertura de nuvens e alta visibilidade. Para isto, foram realizadas análises visuais sobre as cenas, em composição RGB (5, 4, 3), na intenção de identificar os critérios adotados e os aspectos paisagísticos da sede do município de Pacaraima e seu entorno. A **tabela 3** descreve as características das imagens do Satélite LANDSAT-5/TM adquiridas e a figura 18, mostra a distribuição das cenas TM no Estado de Roraima, destacando a área de estudo.

Tabela 3. Principais características das imagens do satélite LANDSAT-5/TM adquiridas.

Órbita/ Ponto	Data de Aquisição	Bandas	Resolução Espacial (m)	Resolução Radiométrica	Elevação Solar	Azimute Solar
232/57	17/02/1990	1,2,3,4,5,7	30 x 30	256 níveis	47,9109°	113,508°
232/57	04/04/1995	1,2,3,4,5,7	30 x 30	256 níveis	50,9275°	86,7278°
232/57	17/05/1999	1,2,3,4,5,7	30 x 30	256 níveis	56,9982°	60,794°
232/57	06/05/2004	1,2,3,4,5,7	30 x 30	256 níveis	-----	-----

Fonte: INPE (2008 f).

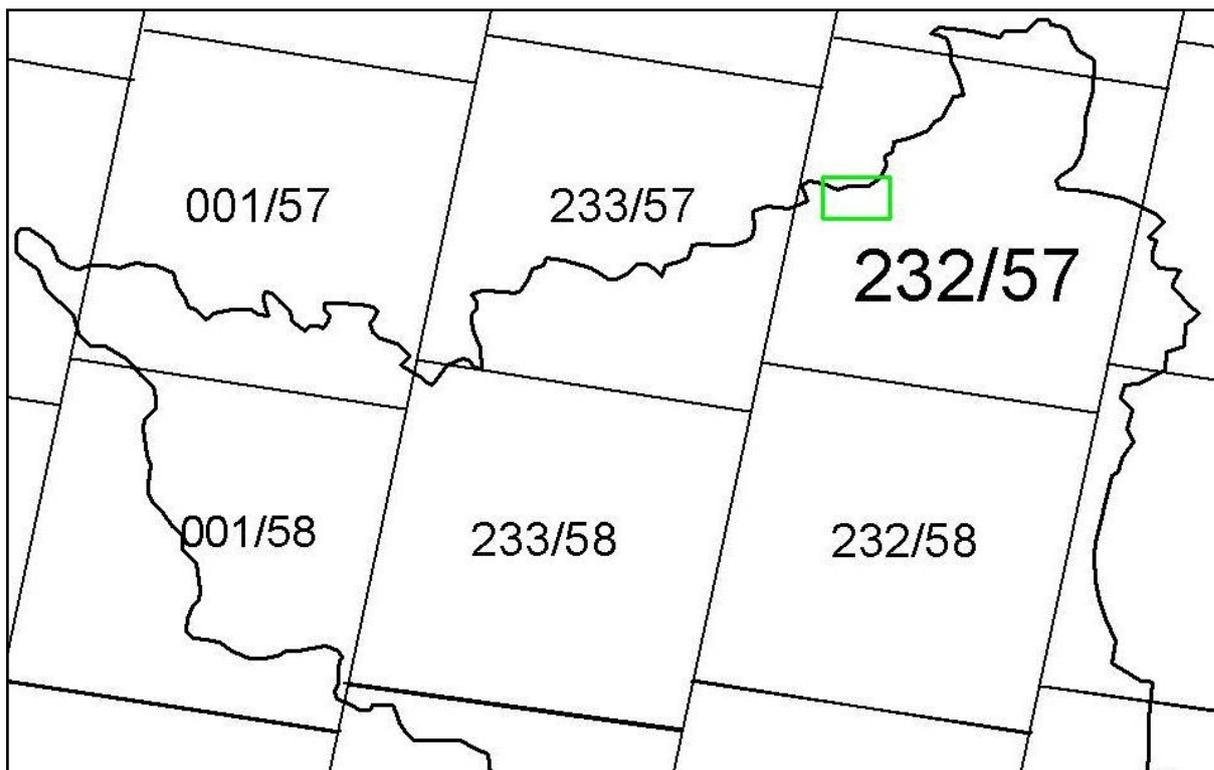


Figura 18. Distribuição das cenas TM no norte do Estado de Roraima, destaque para os limites da área de estudo.

3.3.2.3 Imagens do Radar SRTM

As imagens de radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) resultam da missão liderada pela NASA, com parceria das agências espaciais da Alemanha (DLR) e Itália (ASI), realizada durante 11 dias do mês de fevereiro de 2000, visando gerar um modelo numérico do terreno quase global. A missão consistiu no lançamento do ônibus espacial “*Endeavour*”, que operou numa altitude média de 233 km e com uma inclinação de 57° e através de um moderno sistema SAR interferométrico (InSAR) adquiriu dados de aproximadamente 80% da superfície terrestre, entre 60 ° N e 57 ° S de latitude, nas bandas C e X com polarização HH e VV. O sistema InSAR contava com dois pares de antena de recepção, um na banda C outro na banda X, separados por um mastro de 60 metros, que possibilitou a obtenção de dados em uma mesma órbita. Os dados adquiridos, posteriormente foram disponibilizados na forma de MNT, com resolução espacial horizontal de 30 m para a banda X e 90 m para a banda C. A acurácia vertical absoluta é de ± 16 m e a acurácia vertical relativa é de ± 6 m (RABUS *et al.*, 2002; KELLNDORFER *et al.*, 2004).

3.3.2.4 Característica da Cena SRTM Utilizada

A imagem SRTM foi adquirida com a da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária que disponibiliza gratuitamente os MNT's relativos à banda C sobre todo o território nacional (EMBRAPA, 2007). A imagem SRTM adquirida equivale à carta NB-20-Z-D (figura 19), possui resolução espacial de 90 metros, acurácia vertical absoluta de ± 16 m e foi fornecida na forma de modelo numérico do terreno (MNT) em coordenadas geográficas, Datum WGS-84 e no formato TIFF (**tabela 4**). A partir da análise do MNT foram gerados produtos cartográficos para reconhecer as feições do relevo regional.

Tabela 4. Características da cena SRTM utilizada.

Plataforma/ Sensor	Data de Aquisição	Resolução Espacial	Tamanho do Pixel	Carta Correspondente
Endeavour/ InSAR	Fev de 2000	90	90	NB - 20 - Z - D

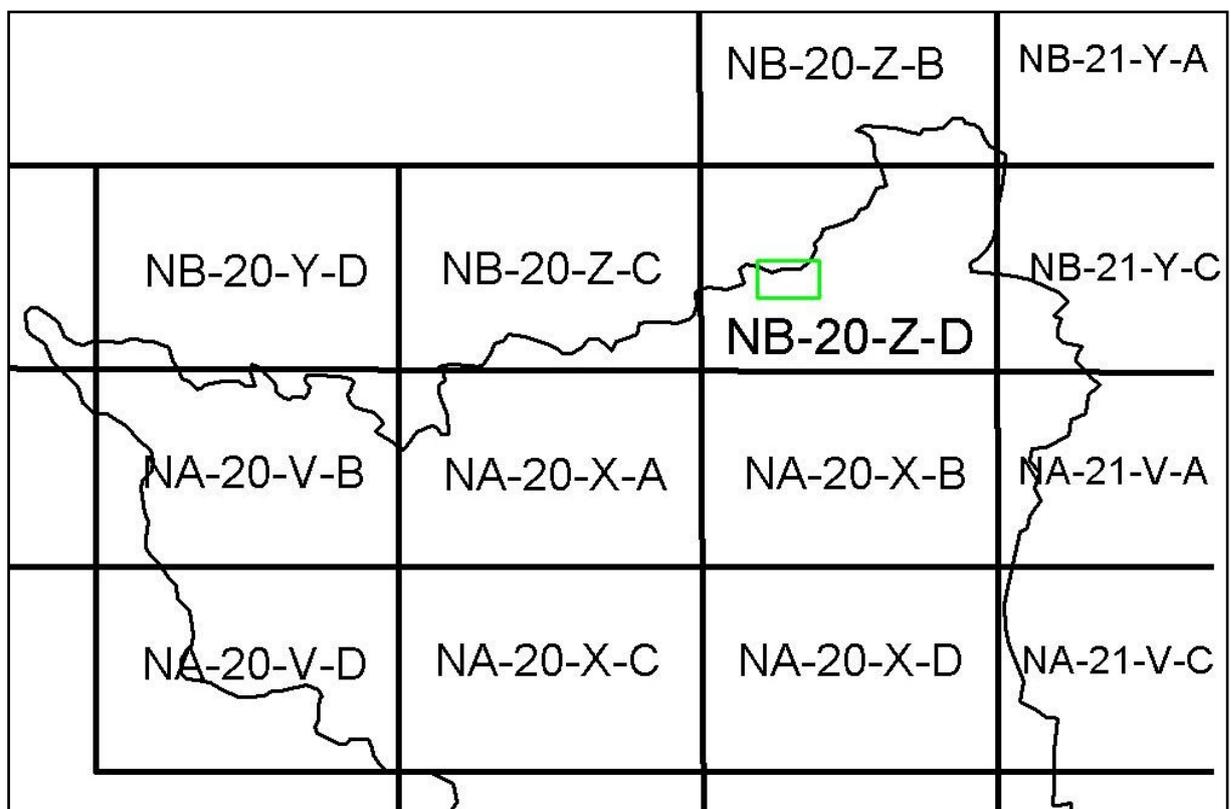


Figura 19. Distribuição das imagens SRTM no norte do Estado de Roraima, destaque para a área de estudo.

3.3.3 Aplicativos e Equipamentos

Na realização do processamento das imagens LANDSAT-5 e SRTM foram aplicados diversos procedimentos de análise visual e digital. Para tanto, foram utilizados, equipamentos básicos como computadores, ploter itálico e impressora jato de tinta, como também, um sistema analisador de imagens (PCI Geomatics), três Sistemas de Informações Geográfica (ArcView, ArcGis e SPRING) e programas de apoio como Google Earth, Geocod, Microsoft Office Excel e Publisher.

Os diferentes aplicativos empregados no trabalho propiciaram o aproveitamento das vantagens apresentadas por cada um deles, de maneira que os procedimentos metodológicos propostos fossem alcançados. Na **tabela 5** estão descritas as características e finalidades dos aplicativos utilizados neste trabalho.

Nos trabalhos de campo, um aparelho de GPS de navegação (Sistema de Posicionamento Global) “Garmim”, auxiliou na localização de pontos de interesse nos mapas gerados sobre a área de estudo. Então, em cada ponto marcado no GPS realizava-se uma comparação com as coordenadas do mapa, para estimar no local o erro dos pontos adquiridos. Também foi empregada uma câmera fotográfica digital para registrar as feições mais relevantes do terreno.

Tabela 5. Descrição dos principais aplicativos empregados e suas finalidades dentro dos procedimentos metodológicos.

APLICATIVOS	DESCRIÇÃO / FINALIDADE
ArcView Versão 3.2	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicativo desenvolvido pela ESRI (Environmental Systems Research Institute) para trabalhar em ambiente Windows. • Edição vetorial e formatação dos mapas temáticos.
Arc Gis Versão 9	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicativo desenvolvido pela ESRI (Environmental Systems Research Institute) para trabalhar em ambiente Windows. • Análise das imagens SRTM (mapa de declividade, aspecto e sombreamento).
PCI Geomatics Versão 8.1	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicativo desenvolvido pela EASI (Engineering Analysis and Scientific Interface) para trabalhar em ambiente UNIX e Windows. • Pré-processamento e processamento das imagens orbitais LANDSAT-5/TM.
SPRING Versão 4.3	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicativo desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para trabalhar em ambiente UNIX e Windows. • Segmentação das imagens LANDSAT-5/TM, edição vetorial dos mapas de unidade de paisagem e análise das imagens SRTM (mapa hipsométrico).

3.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A seqüência de ações realizadas para atingir os objetivos do trabalho consistiu primeiramente na obtenção de informações básicas sobre a área de estudo e de informações específicas relacionadas às técnicas e conceitos aplicados ao trabalho. Nesta busca por informações sobre a Serra de Pacaraima, assim como, de conceitos sobre a paisagem e técnicas de sensoriamento remoto foram consultados instituições e órgãos governamentais, por meio de pesquisa “*in situ*” e eletrônica. Todo material de suporte disponibilizado e/ou vivenciado durante esta fase refletiram no embasamento do trabalho e na forma como ele foi discutido. A partir desse momento, iniciou-se a aquisição das imagens LANDSAT-5/TM e SRTM, para então, criar uma rotina de tratamento e interpretação dos dados digitais visando à análise da paisagem e de aspectos do relevo. Na figura 20 estão descritos, de forma esquemática, as fases deste procedimento.

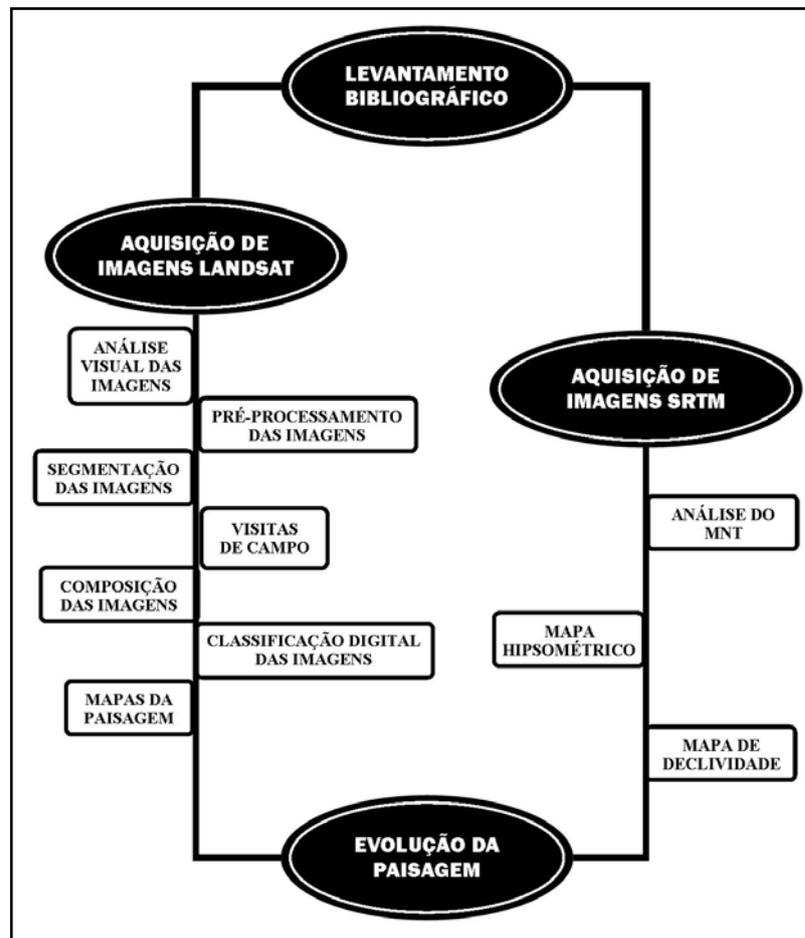


Figura 20. Fluxograma da seqüência estabelecida no procedimento metodológico do trabalho.

3.5 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT-5/TM PARA RECONHECIMENTO E AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DA PAISAGEM NA SERRA DE PACARAÍMA

3.5.1 Correção Atmosférica

As técnicas de correção atmosférica em geral, baseiam-se no pressuposto de que, devido às interferências atmosféricas, como absorção e espalhamento, é adicionado um valor de radiância constante nos “pixels” da imagem. Alguns métodos como o do histograma mínimo e o da regressão, assumem esse pressuposto (MATHER, 1999).

No entanto, neste trabalho optou-se pela aplicação de uma técnica mais prática como o método de Subtração do Pixel Escuro (CRANE, 1971 apud TAVARES, 2003). Esta técnica considera a média dos valores digitais (ND – Número Digital) de alvos selecionados, como água limpa, sombras topográficas e de nuvens, que teoricamente teriam níveis de cinza igual a zero, mas em razão da interferência atmosférica, os referidos alvos possuem valor do ND diferente de zero.

Porém, somente é considerado o ND de alvos que proporcionem no gráfico da média do ND x comprimento de onda médio das bandas uma curva decrescente assintótica. Em seguida, subtraem-se os NDs médios, obtidos para cada banda, dos níveis de cinza de todos os pixels da imagem da respectiva banda, obtendo-se assim as imagens com efeito atmosférico atenuado (CRANE, 1971 apud TAVARES, 2003).

Desta maneira, foram selecionados 5 “pixels” de alvos que deveriam apresentar radiância igual a zero, como corpos d’água e sombra de nuvens, espalhados pela cena. Os mesmos “pixels” foram selecionados nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e seus NDs foram anotados em uma tabela eletrônica do aplicativo Excel, para se estabelecer as médias de cada banda e gerar o gráfico entre média do ND x comprimento de onda médio por banda (**tabela 6**). Em seguida os gráficos foram ajustados e os valores médios corrigidos serviram a atenuação dos efeitos atmosféricos.

Os dados obtidos foram processados através da função “*ARI*” disponível no programa “*Xpace*” do pacote PCI Geomatics. Pode-se notar que apenas os valores médios dos níveis digitais (ND) das bandas 3, 4 e 5, das quatro cenas, foram corrigidos. Este fato se deve aos comprimentos de ondas dessas bandas, não possuírem grande capacidade de penetração em corpos d’água e sofrem interferências quando há grande umidade no ar. A alta umidade da

região coberta pelas cenas, provavelmente provoca um aumento dos valores de níveis digitais a alvos de alta absorção de energia eletromagnética nessas bandas.

Também se observou que as cenas de 17/05/1999 e 06/05/2004 apresentaram as maiores diferenças entre as médias obtidas e as médias corrigidas. Este fato é atribuído ao período de passagem dessas cenas, que se referem ao início do inverno, no qual há maior umidade no ar. Os gráficos gerados a partir dos valores médios dos comprimentos de onda das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, com os valores de ND corrigidos das 4 cenas demonstram o comportamento assintótico assumido pelas curvas (figura 21 à 24).

Tabela 6. Valores de níveis digitais (ND) obtidos no processo de atenuação dos efeitos atmosféricos nas cenas de 17/02/1990, 04/04/1995, 15/05/1999 e 06/05/2004.

Cena/ Ano	Banda	Comprimento de Onda (μm)	Alvo 1	Alvo 2	Alvo 3	Alvo 4	Alvo 5	Media	Média Corrigida
232/57 17/02/1990	1	0,45 - 0,52	83	80	91	86	85	85	85
	2	0,52 - 0,60	33	34	39	30	35	34,2	34,2
	3	0,63 - 0,69	27	36	43	24	36	33,2	26,5
	4	0,76 - 0,90	17	19	43	48	26	30,6	19
	5	1,55 - 1,75	11	21	47	59	36	34,8	15
	7	2,08 - 2,35	4	10	23	16	20	14,6	14,6
232/57 04/04/1995	1	0,45 - 0,52	90	76	74	95	78	82,6	82,6
	2	0,52 - 0,60	45	27	31	52	25	36	36
	3	0,63 - 0,69	52	23	28	61	21	37	22
	4	0,76 - 0,90	31	20	48	19	18	27,2	13,2
	5	1,55 - 1,75	12	19	42	10	18	20,2	11
	7	2,08 - 2,35	9	9	15	8	8	9,8	9,8
232/57 17/05/1999	1	0,45 - 0,52	85	86	87	67	97	84,4	84,4
	2	0,52 - 0,60	38	32	39	24	45	35,6	35,6
	3	0,63 - 0,69	40	30	41	20	43	34,8	25,1
	4	0,76 - 0,90	28	38	56	23	22	33,4	20
	5	1,55 - 1,75	20	21	98	9	20	33,6	16,8
	7	2,08 - 2,35	9	11	48	4	9	16,2	16,2
232/57 06/05/2004	1	0,45 - 0,52	69	81	68	76	70	72,8	72,8
	2	0,52 - 0,60	26	34	22	35	31	29,6	29,6
	3	0,63 - 0,69	23	33	19	39	36	30	23,5
	4	0,76 - 0,90	21	25	29	36	54	33	20,4
	5	1,55 - 1,75	22	30	23	45	78	39,6	19,2
	7	2,08 - 2,35	11	14	9	24	32	18	18

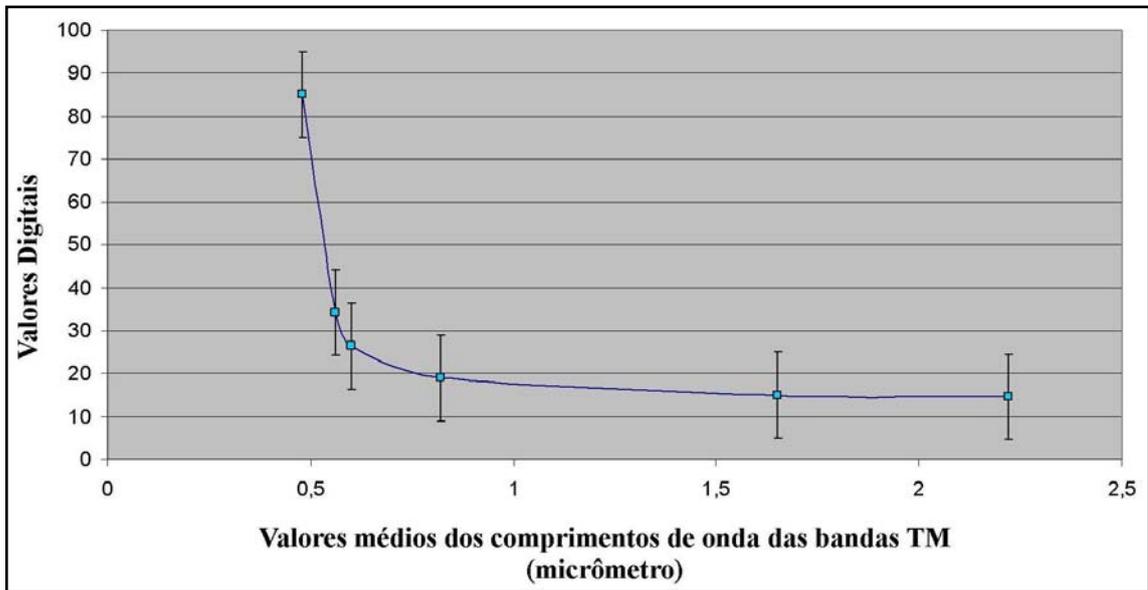


Figura 21. Curva formada entre os valores digitais médios (ND) corrigidos de alvos selecionados com os comprimentos de onda médios das bandas TM (1, 2, 3, 4, 5 e 7) da cena 17/02/1990.

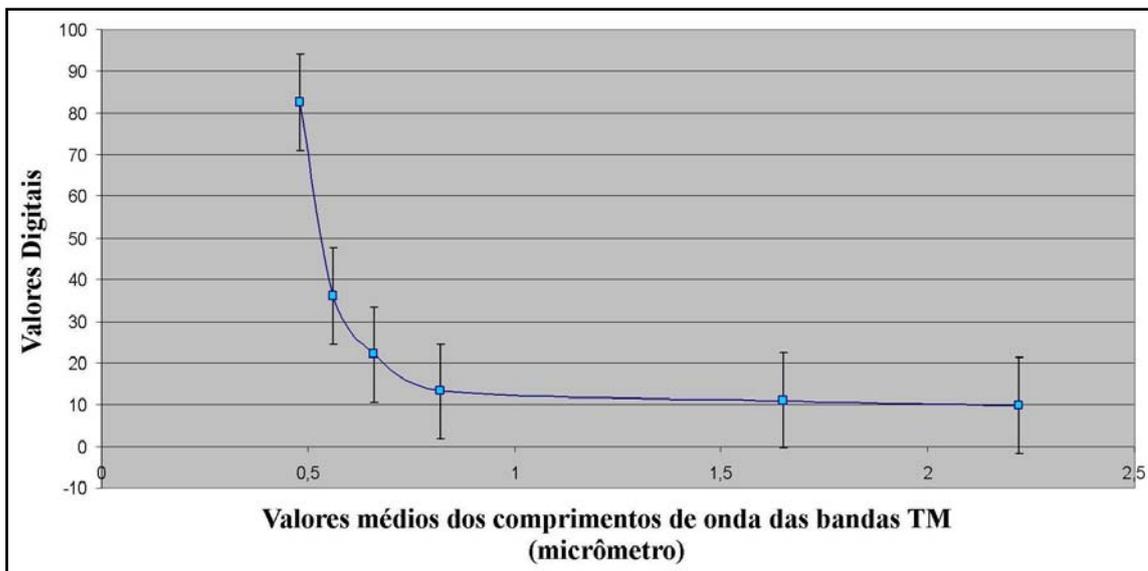


Figura 22. Curva formada entre os valores digitais médios (ND) corrigidos de alvos selecionados com os comprimentos de onda médios das bandas TM (1, 2, 3, 4, 5 e 7) da cena 04/04/1995.

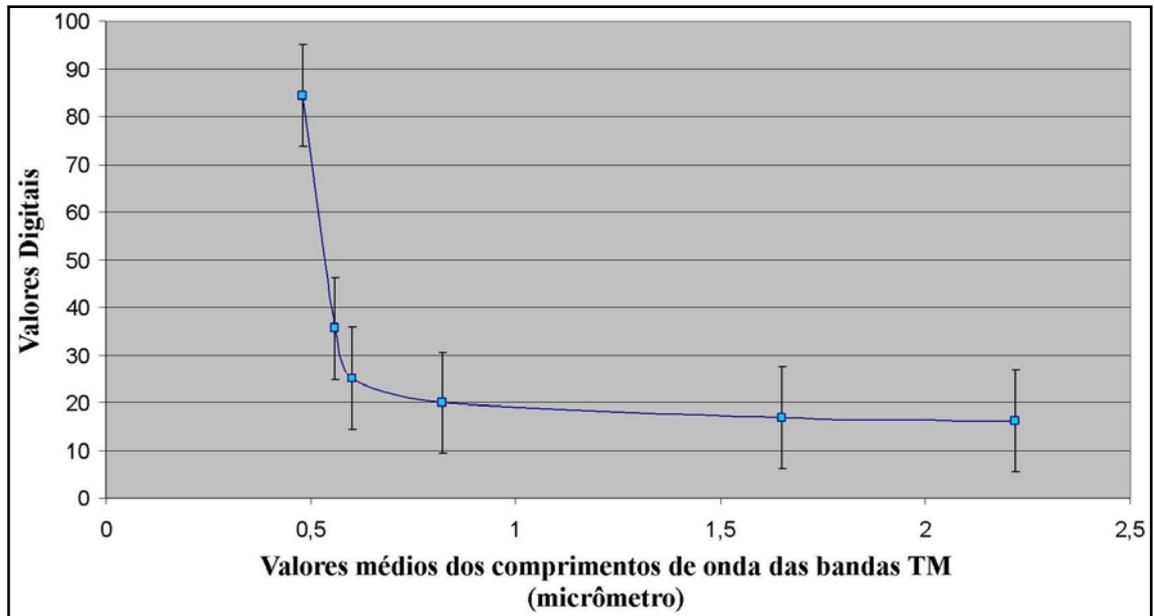


Figura 23. Curva formada entre os valores digitais médios (ND) corrigidos de alvos selecionados com os comprimentos de onda médios das bandas TM (1, 2, 3, 4, 5 e 7) da cena 17/05/1999.

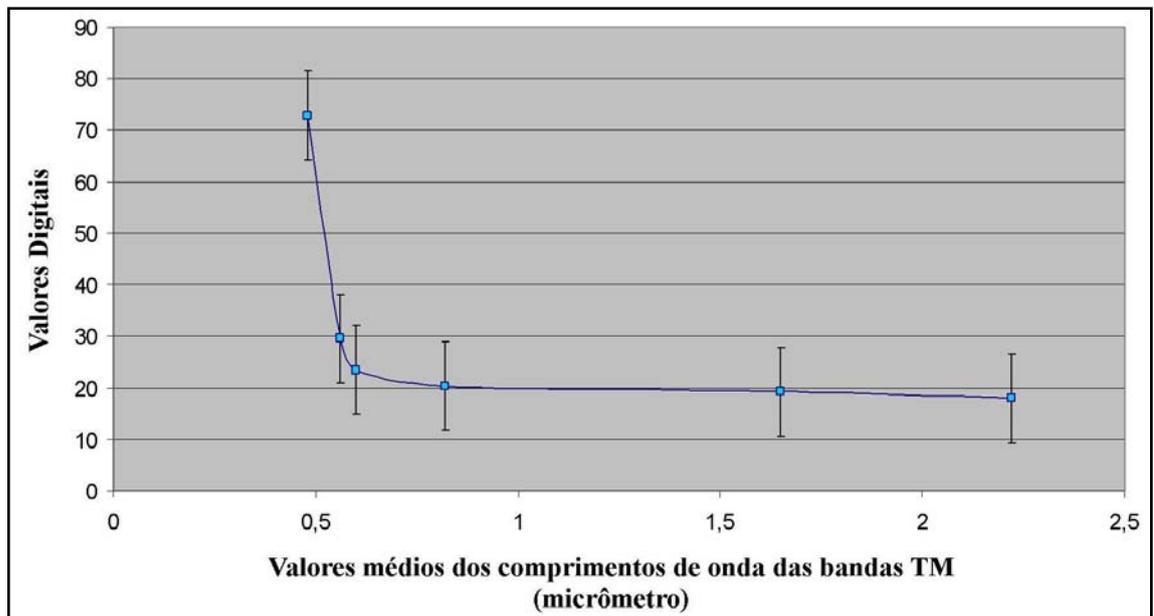


Figura 24. Curva formada entre os valores digitais médios (ND) corrigidos de alvos selecionados com os comprimentos de onda médios das bandas TM (1, 2, 3, 4, 5 e 7) da cena 06/05/2004.

3.5.2 Correção Geométrica

Na correção geométrica das imagens, empregou-se o modelo matemático polinomial, porque não se obteve dados de órbita das imagens LANDSAT-5/TM. Os dados de elevação do terreno e as distorções introduzidas durante a aquisição das imagens, não são considerados pelo modelo polinomial, que na realização da correção geométrica das imagens baseia-se apenas na aquisição de GPC's (Ground Control Points), mais conhecidos como “*pontos de controle*”. Os pontos de controle são caracterizados por coordenadas (x, y) de feições bem definidas e facilmente reconhecíveis, que podem ser precisamente localizados em mapas, imagens e em campo (DE LEEUW, VEUGEN e VAN STOKKOM, 1988).

A correção geométrica tomou como base a extração de 20 pontos de controle distribuídos de forma homogênea por toda a área coberta pela cena 232/57, através das imagens georreferenciadas disponíveis no programa Google Earth. Todavia, este programa fornece as coordenadas no sistema geográfico e datum WGS-84 e no estudo optou-se por trabalhar com o sistema de coordenadas UTM e datum SAD-69, de forma que o aplicativo Geocod foi empregado para a transformação das coordenadas.

A coleção de pontos de controle foi transformada em par de coordenada da imagem através do emprego do polinômio de correção geométrica de terceiro grau. Primeiro foi realizado o registro dos pontos de controle na cena referente à cobertura de 17/02/1990, por meio da função “*GCP Collection*” do programa “*OrthoEngine*” contido no pacote PCI Geomatics. Após isso, se aplicou o método de reamostragem por convolução cúbica por intermédio da função “*Geometric Correction*” do mesmo programa, que visa preservar as características radiométricas da cena através da interpolação de pontos da imagem distorcida.

A partir de então, a cena corrigida (17/02/1990) serviu como referência para o registro imagem-imagem das outras passagens. Para tanto, empregaram-se os mesmos métodos aplicados anteriormente, utilizando para cada uma das cenas 20 pontos de controle coletados da cena já referenciada.

Desta forma as cenas 17/02/1990 e 04/04/1995 apresentaram valores de resíduo em X = 0,20 e em Y = 0,05. Já a cena de 17/05/1999 apresentou valor de resíduo em X = 0,14 e em Y = 0,01 e a cena de 06/05/2004 os valores foram em X = 0,17 e em Y = 0,16. A **tabela 7** mostra as coordenadas dos pontos de controle utilizados para a correção geométrica da cena 17/02/1990 com os valores de resíduos obtidos em X e Y para cada ponto e para as quatro cenas corrigidas geometricamente.

Tabela 7. Coordenadas dos 20 pontos de controle obtidos por meio do programa Google Earth e transformados no GEOCOD e resultado das correções geométricas para as cenas 232/57 de 17/02/1990, 04/04/1995, 17/05/1999 e 06/05/2004.

PONTOS	RESÍDUO	RES X	RES Y	PIXEL DA IMAGEM		COORDENADAS	
				X	Y	E	N
1	0,32	-0,30	-0,06	4091	4899	777540,12	432719,88
2	0,14	-0,14	0,00	723	5206	676620,12	423539,88
3	0,12	0,11	-0,05	939	5370	683099,77	418620,23
4	0,23	-0,21	-0,07	5484	2333	819359,88	509700,12
5	0,24	-0,24	-0,06	2876	3652	741180,12	470129,88
6	0,19	0,19	0,00	4078	5546	777149,88	413310,12
7	0,08	-0,07	0,03	1290	1066	693749,88	547709,88
8	0,22	-0,22	0,01	2014	1911	71410,47	522360,47
9	0,02	0,00	0,02	3437	1204	758069,88	543570,35
10	0,09	-0,04	0,08	2715	5234	736319,88	422669,65
11	0,41	0,40	0,09	4866	2672	800850,12	499529,65
12	0,46	0,46	-0,05	1931	3535	712889,88	473640,12
13	0,12	0,11	-0,03	2460	4578	728700,12	442349,88
14	0,15	0,15	-0,04	1750	693	707549,88	558900,12
15	0,14	-0,08	0,12	1558	4411	701669,65	447359,88
16	0,03	0,02	0,02	3937	3460	772980,12	475889,88
17	0,04	-0,04	0,01	2865	954	740939,88	551069,65
18	0,03	0,01	0,03	5717	3966	86290,12	460709,88
19	0,13	-0,13	-0,04	2577	3176	732239,88	488409,65
20	0,04	0,04	0,00	1670	2527	705089,88	503879,88
CENA 232/57	RMS	X RMS	Y RMS				
17/02/1990	0,21	0,20	0,05				
04/04/1995	0,21	0,20	0,05				
17/05/1999	0,14	0,14	0,01				
06/05/2004	0,23	0,17	0,16				

As imagens com as correções atmosféricas e geométricas passaram por uma interpretação visual, em composição RGB (5,4,3) para se definir as coordenadas que delimitam a área de estudo. Nesse processo se levou em consideração: a) a área urbana da Serra de Pacaraima; b) áreas com alterações dos aspectos naturais da paisagem; e c) áreas de inclusão das unidades da paisagem reconhecidas e de maior expressão nas cenas.

Para isso, os valores de linha e coluna dos “pixels” que delimitam a área selecionada foram colhidos através do programa “ImageWorks” e depois foram recortados e exportados em formato TIFF por meio da função “FEXPORT” do programa “XPace”, todos do pacote PCI Geomatics. Assim, recortes referentes à mesma área foram gerados para as quatro cenas e se referindo as coordenadas 701715 E, 499635 N e 715515 E, 487635 N que delimitam a área de estudo, que se encontra representada na figura 25.

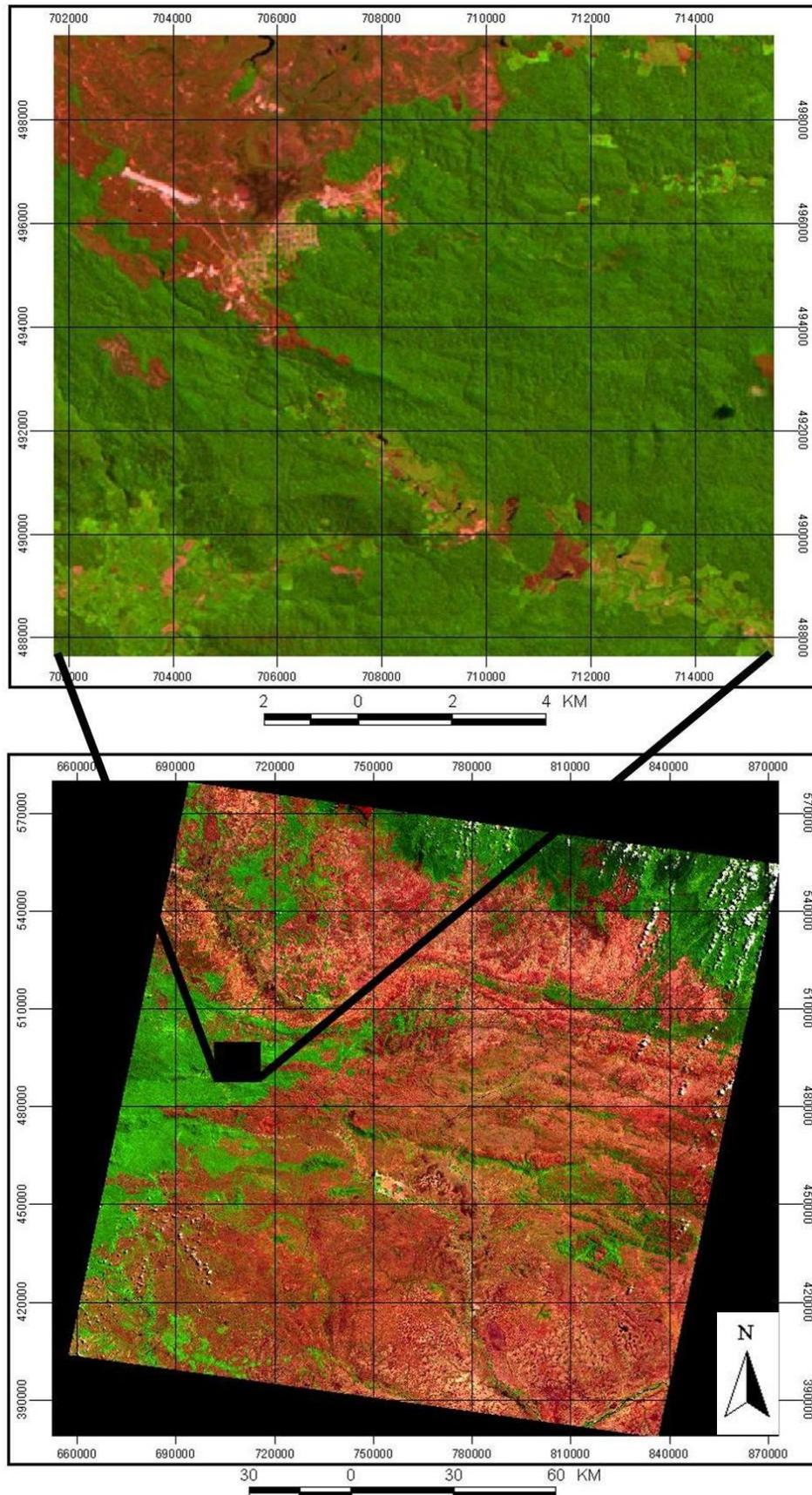


Figura 25. Recorte da área de estudo gerado a partir da cena 232/57 de 17/05/1999 georreferenciada.

3.5.3 Técnica de Realce Visual

A técnica de realce visual empregada nesta dissertação teve a intenção de aumentar o contraste e melhorar o aspecto visual para facilitar a interpretação visual das imagens antes da aplicação das técnicas de processamento de dados. Neste contexto, empregou-se a técnica de aumento linear de contraste, que se encontra descrita em Mather (1999).

O efeito desse processamento depende da forma como a manipulação do contraste está sendo executada para que as feições de interesse sejam mais ou menos realçadas. Assim, a manipulação de contraste linear permite que seja alterado o histograma original, de modo a gerar uma nova imagem com o realce dos objetos de interesse.

A manipulação se dá através do ajuste de uma função de transferência, que é uma reta. Apenas dois parâmetros são controlados: a inclinação da reta e o ponto de intercessão com o eixo “x”. Não há mudança na forma do histograma, quanto a sua simetria, somente quanto ao valor médio e ao seu espaçamento (CRÓSTA, 1992).

O efeito geral desta técnica é de iluminar uma imagem e sobrepôr à imagem mais escura. De maneira que pode ser aplicada nas bandas isoladamente (figura 26), ou nas imagens em composição (figura 27), sempre na intenção de realçar temas de interesse para o estudo. Desta forma, utilizou-se o aumento linear do contraste tanto por meio do aplicativo SPRING, na função contraste, quanto no programa “*ImageWorks*” do pacote PCI Geomatics.

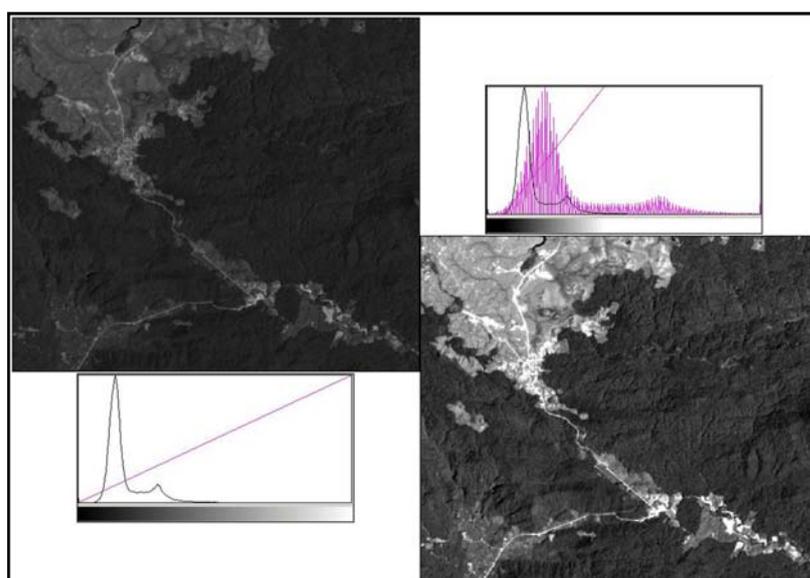


Figura 26. Resultado da aplicação da técnica de aumento linear do contraste na banda TM-5, do recorte referente à cena 232/57 de 17/02/1990.

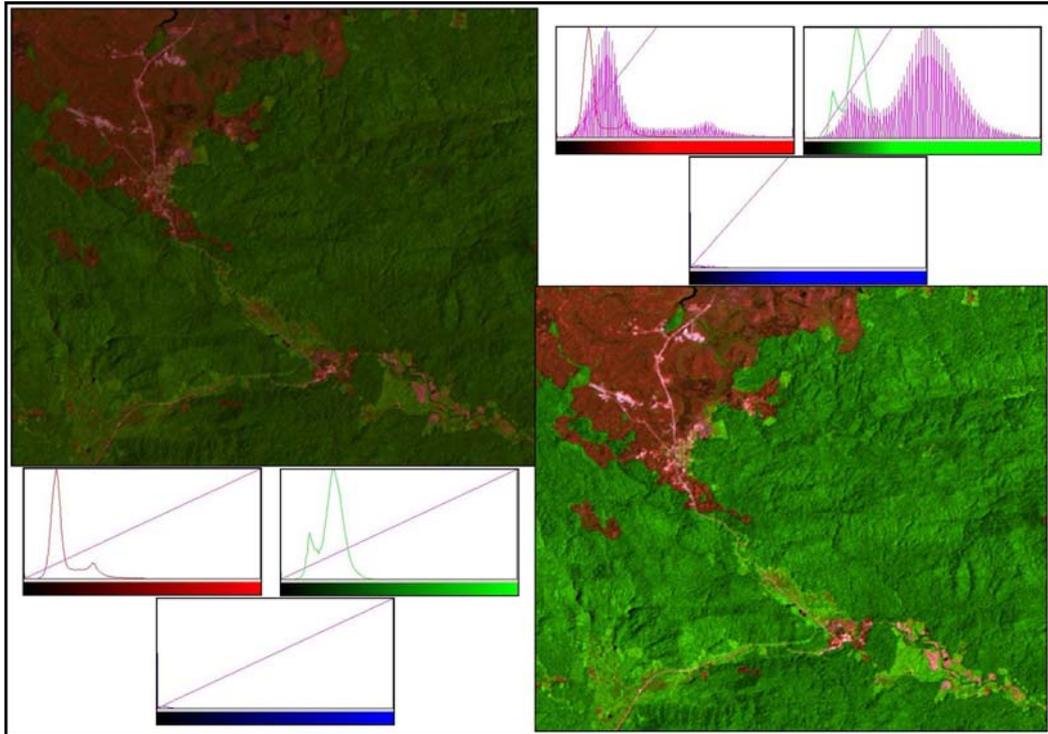


Figura 27. Resultado da aplicação da técnica de aumento linear do contraste, na imagem em composição RGB (5, 4, 3) do recorte referente à cena 232/57 de 17/02/1990.

3.5.4 Segmentação das Imagens

As técnicas de segmentação permitem subdividir uma imagem em partes distintas de acordo com os valores radiométricos da imagem. Assim, os recortes de imagens gerados foram segmentados na intenção de facilitar o reconhecimento das unidades paisagísticas mais relevantes e direcionar a visita de campo. Para isso, optou-se pela aplicação do “segmentador” por *crescimento de regiões* (BINS *et al.*, 1996), técnica considerada como importante ferramenta para otimizar a interpretação visual sobre as imagens utilizadas em trabalhos que abordam às mudanças na utilização da terra na Amazônia (ALVES *et al.*, 1996).

Este segmentador se desenvolve, a partir de um “pixel-semente”, agrupando os “pixels” adjacentes que possuem características similares e que satisfazem o critério de similaridade pré-estabelecido. O crescimento continua até que são encontrados “pixels” que não se adaptam ao critério de similaridade, e então, o processo pára. Uma nova região inicia-se, cuja média inicial é o valor do novo “pixel-semente”.

Este algoritmo exige a informação de dois valores, que correspondem aos limiares de similaridade e de área. O primeiro é o limiar abaixo dos quais duas regiões são consideradas

similares e estão agrupadas e o segundo limiar é o valor da área mínima dado em número de “pixels”, para que uma região seja individualizada (NASCIMENTO; ALMEIDA-FILHO, 1996).

De acordo com o exposto, primeiramente realizou-se o teste com o segmentador sobre os recortes em composições RGB (5, 4, 3), entretanto, os resultados obtidos não foram satisfatórios, ocorrendo variações nas subdivisões das imagens. Então, optou-se por segmentar as bandas 3, 4 e 5 do recorte de 17/02/1990, para a escolha da mais representativa a ser utilizada na segmentação dos outros recortes. Desta forma, a banda TM-5 apresentou o resultado mais satisfatório e confirmou o observado por Bins *et al.*, (1996).

Assim, ficam perceptíveis as diferenças nos resultados da segmentação. Na banda TM-3, as divisões ocorrem em maior quantidade na área urbana e na região de savana, mas, não ocorrem divisões nas áreas florestadas e desmatadas (figura 28). Já na banda TM-4, ocorre grande separação dentro da área de floresta, o que torna muito complexa a avaliação das imagens (figura 29).

Porém, na Banda TM-5 as separações são mais coerentes e menos complexas que as anteriores. A segmentação dividiu bem as classes tanto na região de floresta como nas áreas de savana e urbana (figura 30). Por isso, esta banda foi escolhida para ser utilizada no processo de segmentação dos recortes das imagens dos anos subsequentes.

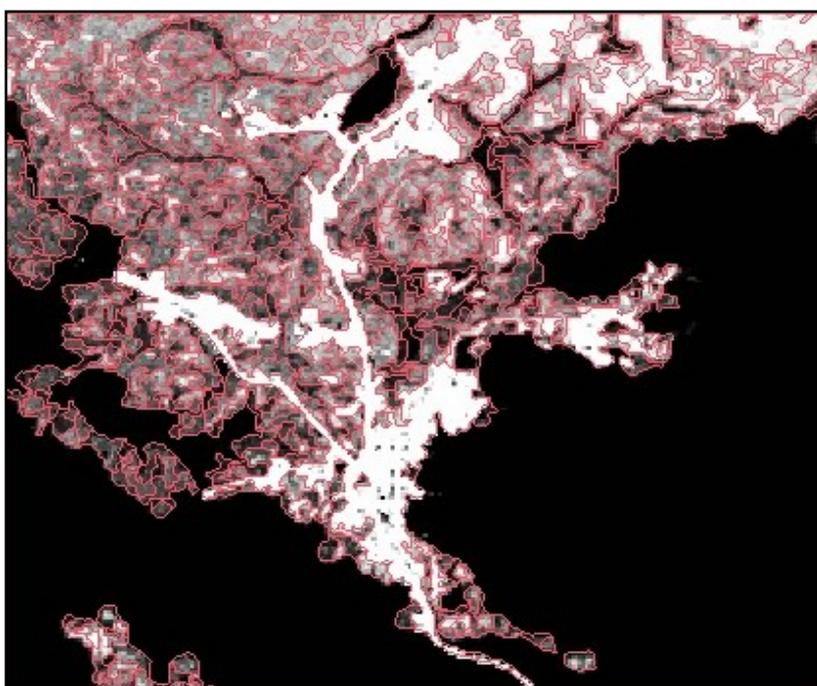


Figura 28. Segmentação do recorte da banda TM-3 de 17/02/1990.

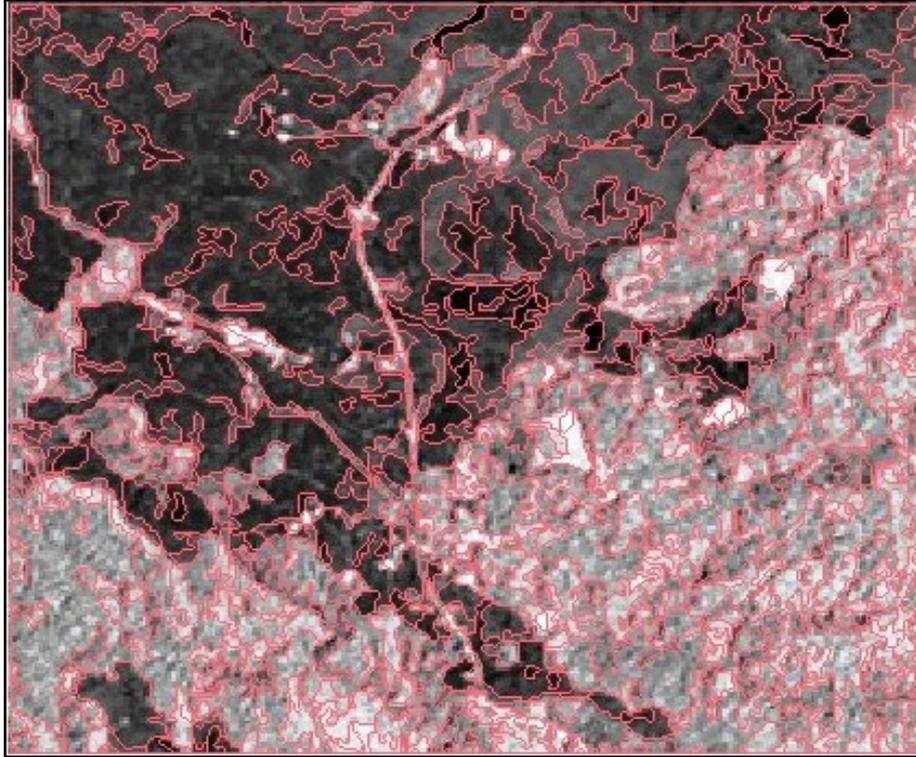


Figura 29. Segmentação do recorte da banda TM-4 de 17/02/1990.

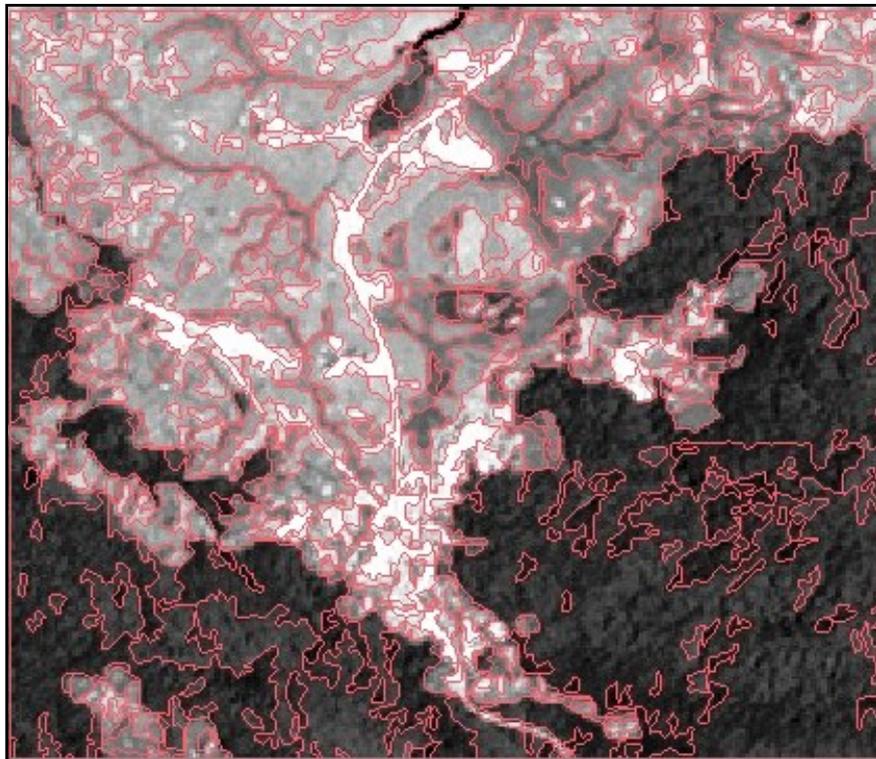


Figura 30. Segmentação do recorte da banda TM-5 de 17/02/1990.

Para se estabelecer os valores de limiares que separassem de maneira mais representativa os diferentes aspectos da paisagem, nos 4 recortes, testes foram aplicados sobre as bandas TM-5. Então, ficou estabelecido o valor de 10, para o limiar de similaridade, e de 12, para o limiar de área, que foram aplicados em todos os quatro recortes. Os procedimentos de segmentação das imagens foram realizados por intermédio da função “segmentação” do programa SPRING.

Com os recortes de imagens segmentados confeccionaram-se 4 cartas-imagem, por meio do módulo SCARTA do programa SPRING. As cartas-imagem impressas em tamanho A1 (594 mm x 841 mm) serviram para guiar a visita de campo e com o auxílio do GPS foi possível identificar e definir as classes espectrais nas imagens LANDSAT-5/TM além de registrar a verdade terrestre.

3.5.5 Composição das Imagens

De posse das informações sobre o terreno, iniciaram-se os tratamentos voltados para a classificação das imagens. Inicialmente, foi realizado um teste estatístico para selecionar o triplete de bandas das imagens TM, a fim de formar uma composição colorida RGB que discriminasse o maior número de informações úteis.

Para tanto, foi aplicado o método OIF (*Optimum Index Factor*), descrito por Chavez, Berlin Junior e Sowers, (1982), que se baseia nas propriedades estatísticas da imagem e emprega os valores dos desvios padrões e coeficientes de correlação entre 6 bandas espectrais, que hierarquiza 20 combinações de três bandas. O valor do OIF obtido para cada triplete proporciona a escolha da composição que apresenta alta variância e baixa covariância, o que reflete num maior número de informação na composição. A equação empregada no cálculo do OIF é a seguinte:

$$\text{OIF} = \frac{\sum_{k=1}^3 \text{DP}_k}{\sum_{j=1}^3 \text{CC}(r_j)}$$

Onde,

DP = desvio padrão,

k = faixa espectral (banda),

CC (r_j) = valor absoluto do coeficiente de correlação entre duas bandas, do conjunto de três bandas avaliadas.

O coeficiente de correlação (CC) mede a similaridade entre duas bandas e resulta num valor que pode variar de -1 à +1. Para calcular o CC é necessário dividir o valor de covariância pelo produto dos desvios padrões de duas bandas, para cada conjunto de três bandas do triplete, expresso pela equação:

$$CC = \frac{\text{COVARIÂNCIA (rj)}}{DP_r \times DP_j}$$

Os dados de estatística das imagens obtidos por meio da aplicação da função “PCA” (Principal Component Analysis) do programa “XPace” do pacote PCI Geomatics. Estes valores referem-se aos dados de matriz de covariância, média e desvio padrão, que foram obtidos para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 das 4 cenas pré-processadas (**tabela 8 e 9**). Assim, os relatórios produzidos foram tratados e submetidos ao cálculo do OIF no programa Excel, aonde, se escolheu a composição 1, 4 e 5 por apresentar o maior valor de OIF dentre as composições possíveis (**tabela10**).

Tabela 8. Matriz de covariância obtida das cenas.

CENA/ ANO	Banda	MATRIZ DE COVARIÂNCIA					
		1	2	3	4	5	7
232/57 17/02/1990	1	335,23					
	2	223,71	167,04				
	3	353,29	257,05	633,92			
	4	252,96	183,88	586,64	859,63		
	5	451,34	320,42	1125,72	1153,93	2413,64	
	7	263,39	181,11	574,50	517,94	1185,28	613,48
232/57 04/04/1995	1	968,93					
	2	698,84	577,98				
	3	1015,07	785,47	1372,53			
	4	745,78	570,53	1147,51	1298,57		
	5	1111,66	781,48	1841,01	1724,73	3194,48	
	7	651,79	444,86	999,25	861,83	1687,86	931,87
232/57 17/05/1999	1	200,59					
	2	133,43	98,71				
	3	267,09	195,81	632,27			
	4	203,18	149,14	650,94	1071,78		
	5	432,12	312,83	1263,78	1415,09	2801,74	
	7	247,96	176,85	642,59	635,18	1386,46	717,49
232/57 06/05/2004	1	1362,00					
	2	943,73	716,53				
	3	1357,49	1013,22	1673,84			
	4	1084,15	817,73	1505,47	1827,95		
	5	1435,24	1065,18	2209,42	2256,96	3836,07	
	7	805,74	580,50	1175,74	1103,56	2000,00	1088,90

Tabela 9. Dados de média e desvio padrão obtido das cenas.

Cena	232/57 - 17/2/1990		232/57 - 04/04/1995		232/57 - 17/05/1999		232/57 - 06/05/2004	
Banda	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
1	7,05	18,31	15,75	31,13	6,67	14,16	17,03	36,91
2	4,77	12,92	9,76	24,04	4,81	9,94	12,26	26,77
3	27,93	25,18	36,46	37,05	29,70	25,14	38,13	40,91
4	39,36	29,32	45,82	36,04	45,58	32,74	53,37	42,75
5	62,40	49,13	71,44	56,52	67,82	52,93	77,90	61,94
7	28,49	24,77	35,27	30,53	30,80	26,79	37,97	33,00

Tabela 10. Valores de OIF obtidos para as 4 cenas.

TRIPLETE (BANDAS)	OIF - 232/57 17/02/1990	OIF - 232/57 04/04/1995	OIF - 232/57 17/05/1999	OIF - 232/57 06/05/2004
1-2-3	22,55	34,21	19,84	37,63
1-2-4	31,84	40,41	30,81	45,16
1-2-5	41,17	52,17	36,34	56,44
1-2-7	26,77	38,50	22,45	42,51
1-3-4	35,83	43,34	36,41	49,28
1-3-5	42,52	52,15	40,53	58,26
1-3-7	30,09	40,29	28,03	45,57
1-4-5	54,54	57,70	54,52	65,33
1-4-7	41,01	45,77	40,57	52,87
1-5-7	44,83	51,47	42,52	58,13
2-3-4	32,57	40,47	33,36	44,17
2-3-5	39,57	50,34	37,80	53,13
2-3-7	27,61	38,63	25,75	41,04
2-4-5	51,02	56,04	51,13	59,50
2-4-7	37,98	44,24	37,60	47,60
2-5-7	42,47	51,44	40,07	53,42
3-4-5	41,35	50,13	43,34	56,33
3-4-7	32,63	41,01	34,29	46,41
3-5-7	35,32	45,27	36,39	49,92
4-5-7	41,48	47,18	44,65	52,69

3.5.6 Classificação Digital

Após a seleção das bandas, iniciou-se o processo de treinamento para que o algoritmo de classificação escolhido criasse os descritores das classes desejadas. As amostras dos “pixels” selecionados nas imagens, assim como o pressuposto teórico da regra de decisão adotada levaram em consideração a representatividade das unidades de paisagem para a separação das classes. Em seguida, foi selecionada uma quantidade fixa de “pixels” para cada classe no treinamento, nos 4 recortes de imagens, através da função “Session Configuration” do programa “ImageWorks” do PCI Geomatics. A **tabela 11** descreve as classes, o número de

pixels amostrados por classe e a regra de decisão adotada no treinamento para realizar a classificação nas imagens.

Tabela 11. Classes, “pixels” amostrados e regra de decisão adotada no treinamento.

Classes	Descrição	“Pixels” Amostrados	Regra de Decisão
Floresta (UPF)	Áreas de floresta ombrófila densa e estacional semidecidual.	700	4
Savana (UPS)	Áreas de savana estépica parque.	600	3
Desflorestamento (UPD)	Áreas com presença de mata secundárias e formações pioneiras.	400	2
Ocupação Humana (UPOH)	Perímetro urbano, estradas e áreas com solo exposto aos processos erosivos.	500	1
NULL	Classe gerada automaticamente representa os “pixels” que não foram incluídas no treinamento como espelhos d’água, nuvens e sombras.	-	-

Após o treinamento foi aplicado o classificador supervisionado *MAXVER* (Máxima Verossimilhança). Neste classificador a média dos valores radiométricos dos “pixels” selecionados no treinamento, determinam a localização do centro de cada classe num espaço provável. A partir desta média aplica-se uma medida sumarizada do espalhamento dos valores radiométricos ao longo de eixos em redor da média (MATHER, 1999).

As coordenadas dos pontos centrais de cada classe são as médias das amostras, já, a forma de distribuição da frequência do conjunto de classes é definida pela covariância entre as amostras e a classe, de maneira que cada classe é igualmente provável. Esta suposição torna-se segura caso tenha-se conhecimento da área vista na imagem. Vale salientar que este classificador baseia-se numa distribuição multivariada-normal das classes (MATHER, 1999).

A classificação foi realizada através da função “Classify” do programa “ImageWorks” do PCI Geomatics. De modo que foram calculadas as matrizes de confusão para cada recorte de imagem, demonstrando o percentual de “pixels” que foram mapeados de forma correta. Além disso, foi usado o índice Kappa, como indicativo do desempenho da classificação gerada. De acordo com o valor obtido pelo índice Kappa, Cohen (1960), estabelece uma classificação, veja a **tabela 12**.

Tabela 12. Coeficiente Kappa e respectivos conceitos de desempenho da classificação (COHEN, 1960).

Coeficiente Kappa	Desempenho da Classificação
< 0	Péssimo
$0 < K \leq 0,2$	Mau
$0,2 < K \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < K \leq 0,6$	Bom
$0,6 < K \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < K \leq 1,0$	Excelente

3.6 PROCESSAMENTO DA IMAGEM SRTM PARA RECONHECIMENTO DAS FEIÇÕES DO RELEVO REGIONAL

O processamento das imagens SRTM consistiu em manipulações para gerar produtos de sua análise, na intenção de reconhecer feições do relevo regional. Para isso, as imagens SRTM, que são adquiridas na forma de modelo de grade regular, foram submetidas a algoritmos de análise para gerar os mapas de declividade e hipsométrico da região do estudo.

As manipulações sobre a grade regular (figura 31) foram feitas através da função “*Image Analysis*” contido no programa ArcMap do pacote ArcGis. Primeiramente, se realizou a transformação das imagens do datum WGS-84 para o SAD-69, para depois, gerar as feições de declividade em graus com tamanho do “pixel” de 92,37 m. A análise de feições hipsométricas foi manipulada por meio da função “*Fatiamento*” do programa SPRING, onde se estabeleceu intervalos de 100 m para diferenciar as unidades hipsométricas. Depois das análises sobre a grade regular, as imagens das feições geradas foram exportadas em formato TIFF, assim, puderam ser interpretadas visualmente.



Figura 31. Imagem SRTM (NB-20-ZD).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens de sensoriamento remoto utilizadas neste estudo estão apresentadas nas figuras 32 e 33. Elas ressaltam os resultados mais relevantes obtidos, sobre as unidades de paisagem reconhecidas, a dinâmica da paisagem e os efeitos naturais que mais influem no processo de evolução da paisagem na Serra de Pacaraima.

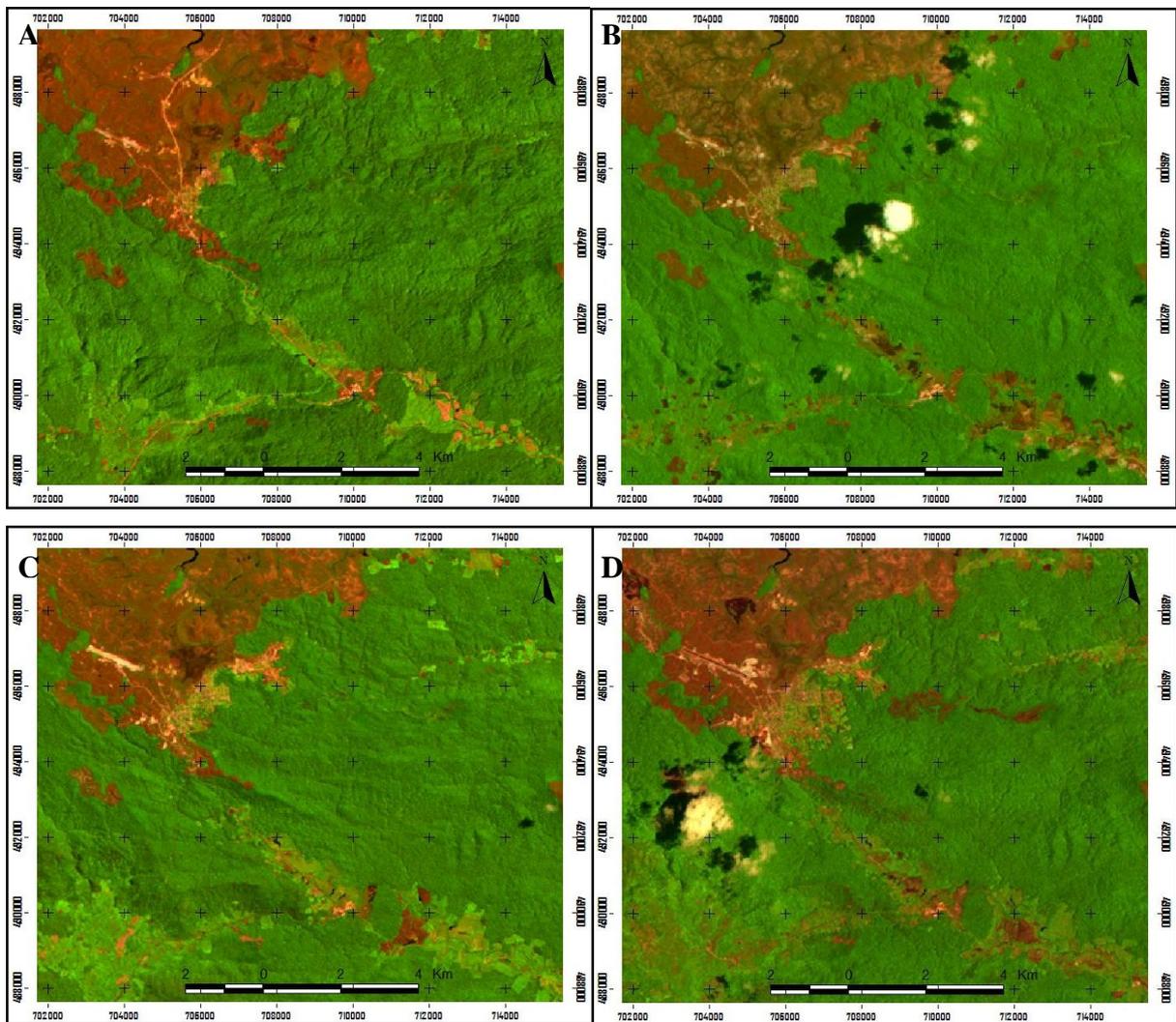


Figura 32. Recortes de imagens LANDSAT-5/TM em composição RGB; A) cena de 17/02/1990 – RGB (541); B) cena de 04/04/1995 – RGB (543); C) cena de 17/05/1999 – RGB (541); e D) cena de 06/05/2004 – RGB (543).

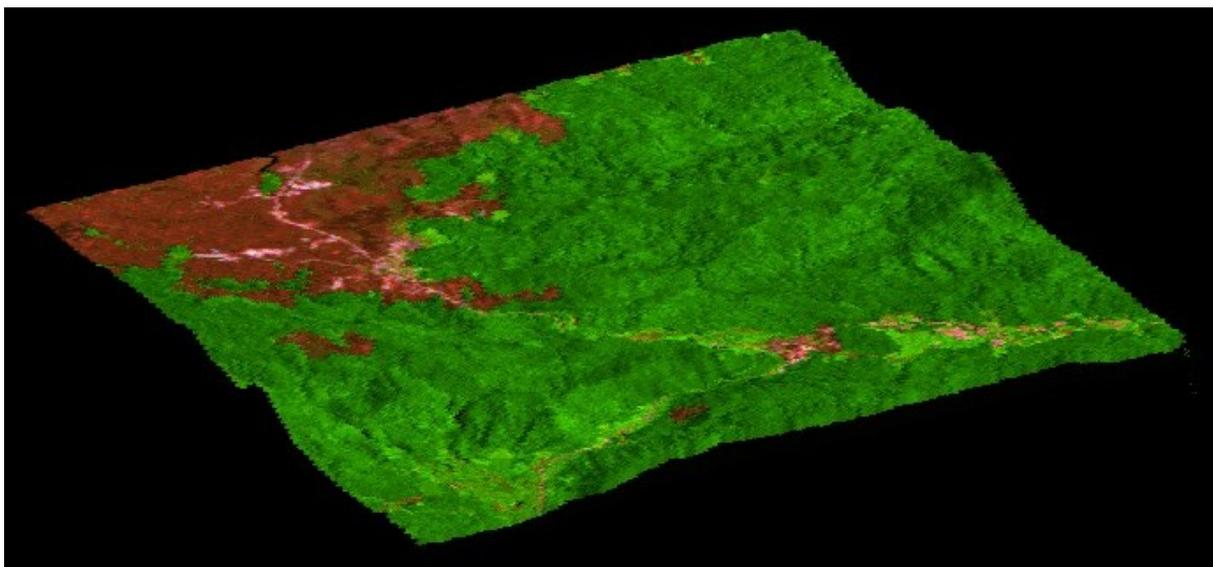


Figura 33. Visão em 3D do MNT, SRTM, sobreposto pelo recorte de imagem LANDSAT-5/TM em composição RGB (543) de 17/02/1990.

4.1 RECONHECIMENTO DA PAISAGEM

O processo de reconhecimento das unidades paisagísticas é de grande importância para subsidiar a análise ambiental. Para classificá-la em diferentes escalas e territórios, deve-se antes compreender sua estrutura evidenciando seu escalonamento dimensional (TROLL, 1997). Neste contexto, o reconhecimento da paisagem parece ser uma tarefa árdua, em que a utilização de técnicas como a segmentação, que separa os níveis de cinza distintos nas imagens de satélite, se apresenta como uma ferramenta facilitadora e pode substituir varias etapas da interpretação visual.

No entanto, efeitos indesejáveis nos resultado podem ocorrer devido à variedade de respostas espectrais e as diferentes dimensões das classes temáticas numa imagem. Nascimento e Almeida-Filho (1996) sugerem a manipulação dos limiares de similaridade e de área como uma alternativa para se obter maior coerência na segmentação, contudo, esta manipulação sempre prejudica um dos efeitos em questão.

Assim, nota-se que, somente o processo de segmentação não é suficiente para a obtenção de uma verdade terrestre confiável. Por isso, neste estudo optou-se pela aplicação da segmentação na perspectiva de interpretação visual da série multitemporal de imagens tendo em vista um trabalho de campo direcionado a pontos em áreas de difícil interpretação visual, a fim de esclarecê-los e então, reconhecer a estrutura da paisagem.

4.1.1 A Unidade da Paisagem de Floresta (UPF)

A UPF é a unidade mais representativa na paisagem em análise e se caracteriza por apresentar uma vegetação de grande porte, densa e úmida. Esta unidade permanece verde durante todo o ano devido ao clima ameno e às altas precipitações na Serra de Pacaraima. Segundo Nepstad *et al.*, (1994), cerca de metade das árvores de dossel da floresta Amazônica brasileira possuem raízes profundas (>8m), o que as possibilita alcançar a água sob o solo, mesmo nos períodos secos.

Desta maneira, esta unidade se configura de grande importância na regulação dos ciclos hidrológico. Na Serra de Pacaraima ela é encontrada principalmente em relevo declivoso, associada aos solos rasos derivados da formação Surumu e seguindo os cursos d'água locais (VALE JÚNIOR, 2000), ver figura 34.

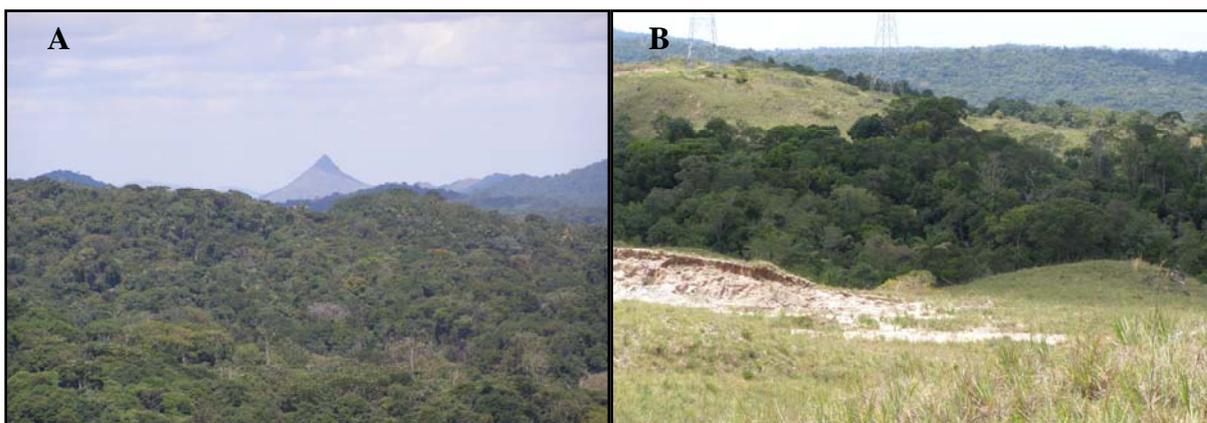


Figura 34. A) Floresta em relevo declivoso; B) floresta associada a solos rasos, seguindo um curso d'água.

Como as áreas florestadas sempre apresentam um dossel com material fotossinteticamente ativo, têm uma resposta espectral baixa na banda TM-5. De modo que, se apresentam em tons escuros quase sempre contínuos nas imagens segmentadas. As discontinuidades encontradas estão associadas ao sombreamento e textura do relevo e áreas de contato estabelecidas com a savana, desflorestamentos e zonas de ocupação humana. Já, as manchas escuras isoladas dentro das partes claras da banda TM-5, representam as matas de galeria (figura 35).

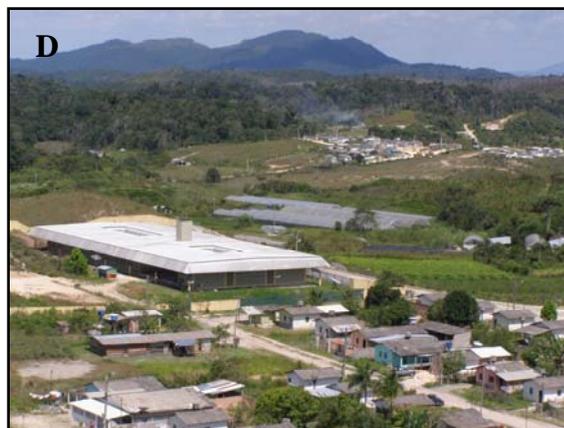
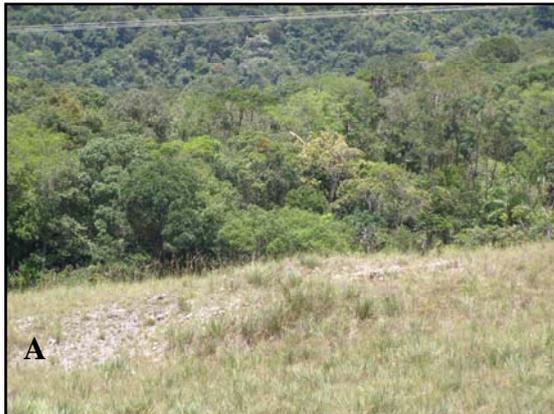
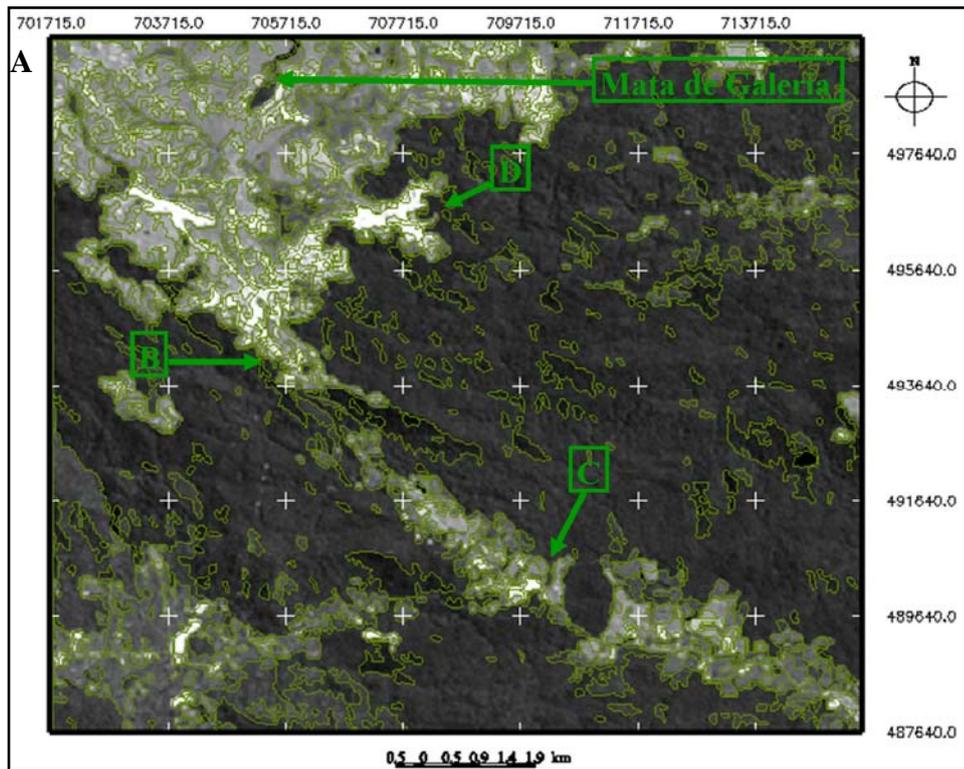


Figura 35. A) Imagem LANDSAT-5/TM-5 de 17/05/1999, segmentada; B) zona de contato estabelecida entre a Floresta e a savana; C) zona de contato entre floresta e desmatamento; e D) zona de contato entre floresta e área de ocupação humana.

4.1.2 A Unidade da Paisagem de Savana (UPS)

A savana encontrada na área de estudo, de forma geral, é caracterizada por uma formação vegetal do tipo gramínea com espécies arbóreas e arbustivas espaçadas, que se desenvolvem pouco. A vegetação rala da UPS facilita a ocupação humana, contudo, encontra-se normalmente sobre solos rasos de superfícies intemperizadas e como esta ocupação não é planejada, os processos erosivos atuantes são evidentes (figura 36).



Figura 36. A) Aspecto da savana sobre Neossolo Litólico; B) ocupação desordenada facilitada pela cobertura rala da savana.

A UPS quando analisada através da banda TM-5 apresenta características bem peculiares, pois, sua resposta espectral é intermediária. Nesta banda a UPS aparece em tom de cinza claro. Com o auxílio da segmentação foi possível detectar que as formações da UPS que se encontram próximo a planícies de inundação e cursos d'água são separadas das áreas que estão em zonas mais elevadas do terreno. Entretanto, não se notou em campo uma diferença na fisionomia vegetal, então, essas variações internas da savana foram relacionadas ao efeito da água e do solo úmido na resposta espectral, e conseqüente divisões apresentadas nas imagens segmentadas.

Em campo, percebe-se que a UPS facilita o processo de ocupação humana nas áreas de floresta, porque, possuem uma vegetação rasteira e estabelece um contato abrupto com esta unidade, o que amplia os pontos de penetração na mesma. Nas zonas de contato entre UPS e UPF, onde foi verificado o processo de ocupação com desmatamento e queimada, ocorre um aumento na quantidade de alvos com respostas espectrais diferentes, resultando em um maior número de divisões geradas pela segmentação (figura 37).

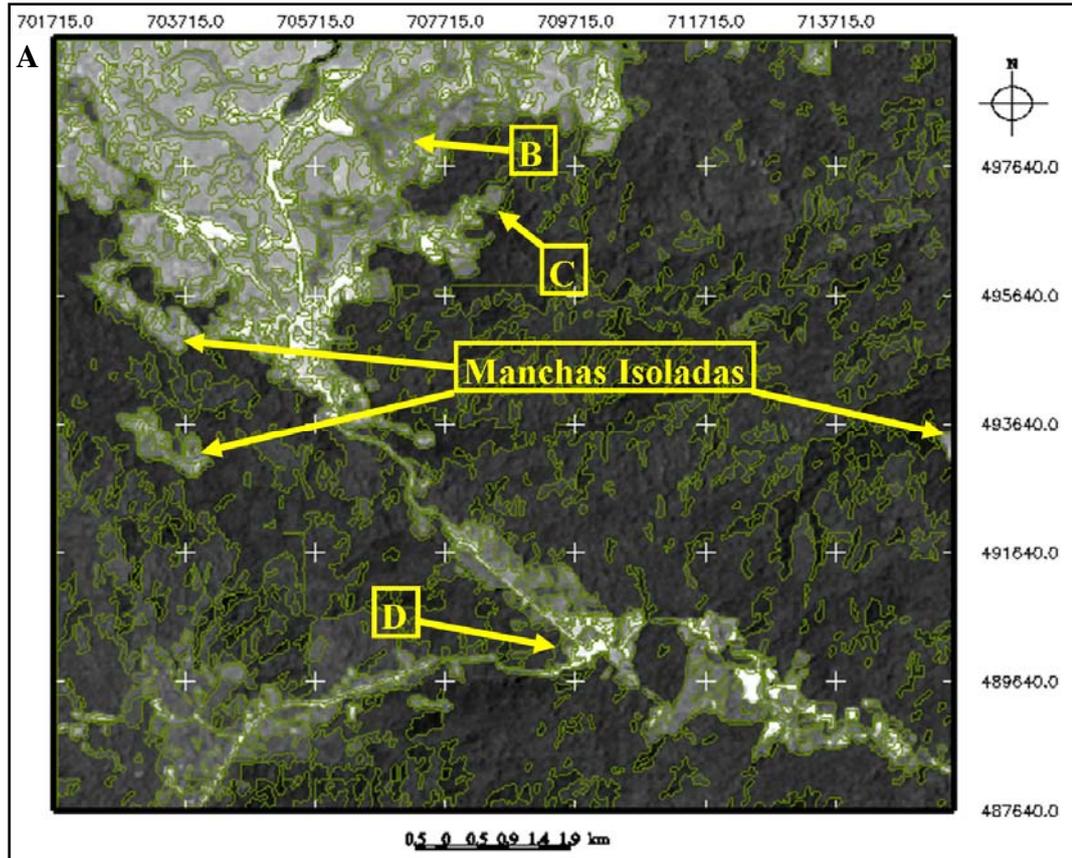


Figura 37. A) Imagem LANDSAT-5/TM-5 de 17/02/1990, segmentada; B) visão geral da savana; C) savana em área antropizada; D) savana as margens da BR-174.

4.1.3 A Unidade da Paisagem de Desflorestamento (UPD)

A unidade de desflorestamento é caracterizada por áreas que sofreram o corte da floresta primária e, ou, já passaram por ciclos de queima e requeima, de forma que é notada a presença constante de plantas pioneiras (*pteridófitas*), gramíneas introduzidas e resquícios de queimadas. O desflorestamento se desenvolve na área devido à expansão da cidade de Pacaraima, extração de madeira e à prática agrícola itinerante no entorno das comunidades indígenas (figura 38).



Figura 38. A) Visão de uma área desflorestada; B) plantas pioneiras (*Pteridófitas*) presente nas áreas desflorestadas.

Por causa do porte rasteiro da vegetação pioneira, como também, das queimadas que deixa a vegetação seca, as áreas desflorestadas aparecem na banda TM-5 em um padrão de resposta espectral que se assemelha ao da UPS. Todavia, com a avaliação das imagens segmentadas da série temporal foi possível perceber que áreas não divididas anteriormente dentro da UPF, passaram a ser nos anos posteriores da série de imagens segmentadas.

Nesta avaliação, algumas áreas separadas chamaram a atenção, e por isso, foram consideradas como zonas de expansão da UPD. Com a visita de campo direcionada para estas zonas, foi identificado que a UPD possui uma relevância bastante avançada atualmente, e está associada às áreas de expansão urbana da cidade, assim como as ocupadas pelas comunidades indígenas na Serra de Pacaraima (figura 39).

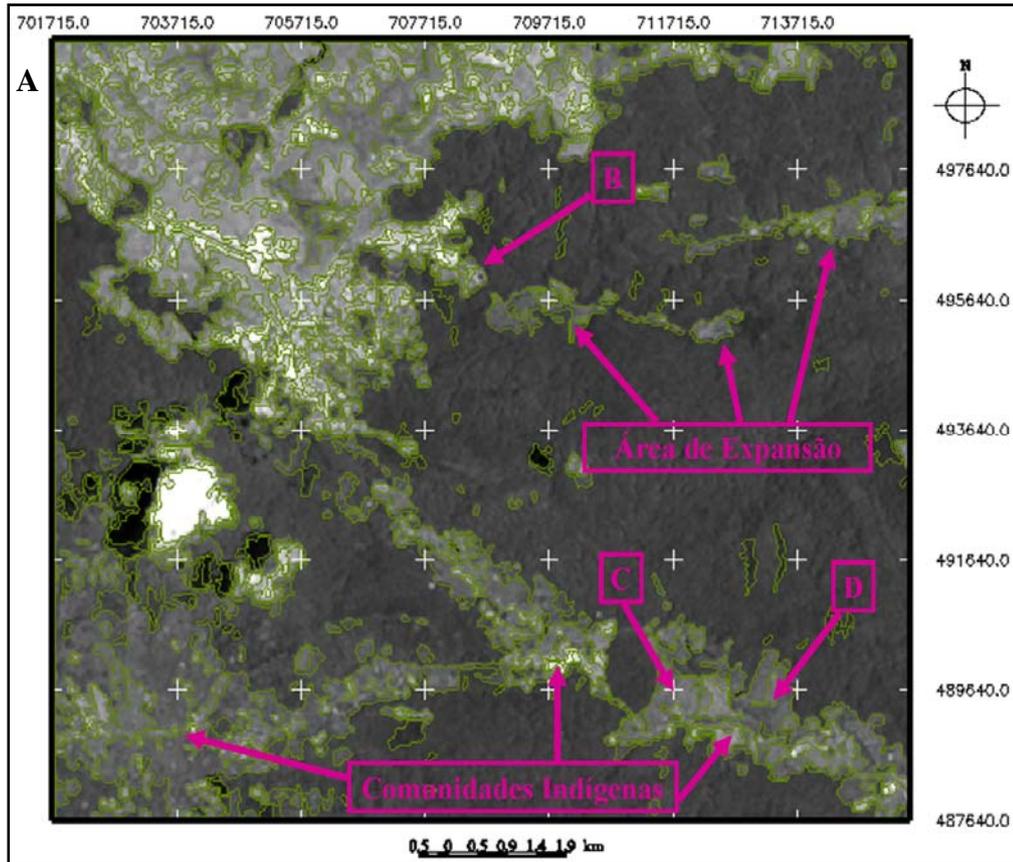


Figura 39. A) Imagem LANDSAT-5/TM-5 de 06/05/2004, segmentada; B) desflorestamento e queimadas na zona urbana; C) e D) desmatamento em áreas das comunidades indígenas.

4.1.4 A Unidade da Paisagem de Ocupação Humana (UPOH)

A UPOH é representada pela Cidade de Pacaraima, pela BR-174 e pelas comunidades indígenas presentes na área de estudo. Estes alvos apresentaram respostas espectrais semelhantes, por isso são considerados como uma única unidade paisagística, apesar das diferenças sociais e culturais existentes entre a população urbana e a das comunidades indígenas locais (figura 40).

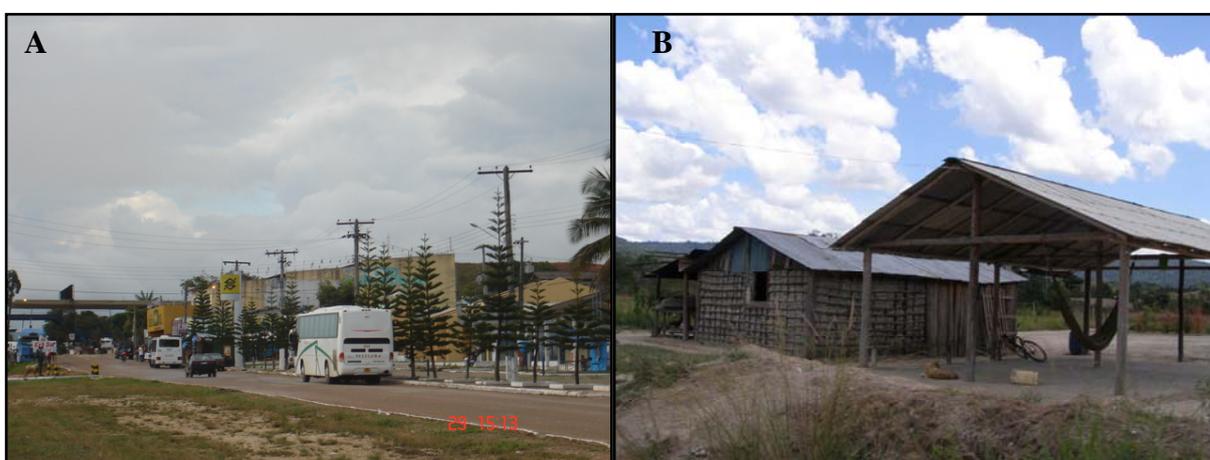


Figura 40. A) Sede do município de Pacaraima e BR-174; B) moradia em comunidade indígena.

Na UPOH percebe-se a constante presença de solos expostos, sujeitos a atuação dos processos erosivos, condicionados principalmente pelos elevados índices pluviométricos, altas declividades das encostas e potencializados pela pressão antrópica. A existência de grande quantidade de cristais de quartzo, minerais caulíníficos nos solos expostos, e também do asfalto da BR-174 e concreto na área urbanizada, gera uma alta reflexão resultando em áreas muito claras na banda TM-5.

As áreas de solos expostos ficaram bem separadas na banda TM-5 segmentadas. Entretanto, nas zonas de expansão urbana houve grande divisão de regiões. Este fato criou certa confusão na interpretação visual das imagens, pois as respostas espectrais da UPOH se confundiam com as da UPS e UPD. Mas, como as áreas de solos expostos foram facilmente reconhecidas devido a sua alta reflectância, denunciava assim as áreas pertencentes à UPOH o que permitiu seu reconhecimento em campo (figura 41).

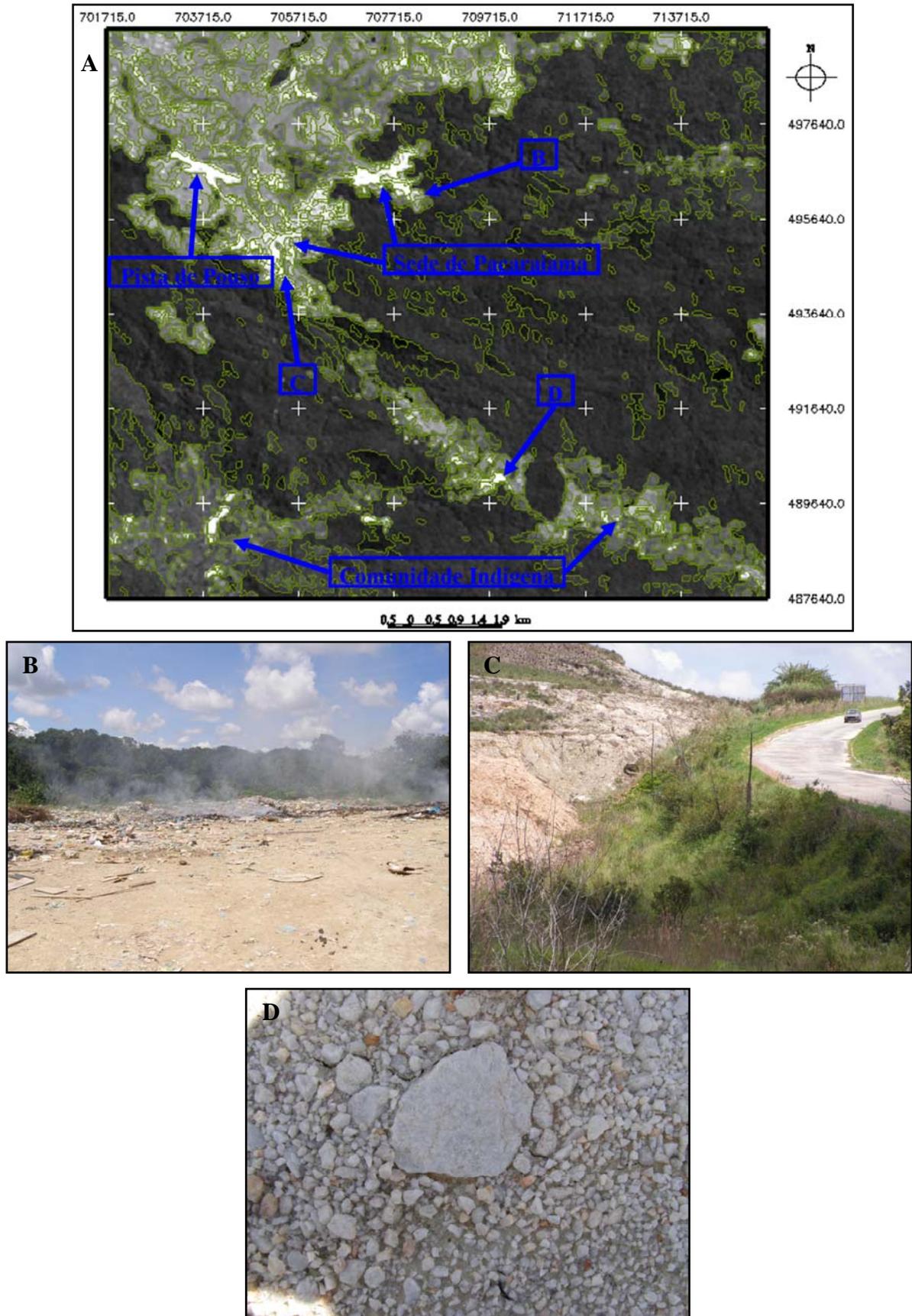


Figura 41. A) Imagem LANDSAT-5/TM-5 de 17/05/1999, segmentada; B) área de lixão com solo exposto; C) erosão associada a BR-174; D) quartzo em solo expostos.

4.2 ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA PAISAGEM

4.2.1 A Paisagem da Serra de Pacaraima em 1990

A classificação do recorte de imagem em 1990 representou todo o resultado das interferências humanas anteriores a este ano na Serra de Pacaraima. Com as imagens em composição RGB (ver figura 32 - A) as unidades paisagísticas apresentaram-se bem distinguíveis. Na **tabela 13** pode ser observada as estimativas de área ocupada pelas unidades da paisagem, obtidas pela classificação.

Tabela 13. Número de “pixels”, porcentagem de cobertura na imagem e área em km² das classes estimadas pela classificação no recorte de imagem de 17/02/1990.

DATA	CLASSE	CÓDIGO	PIXELS	IMAGEM %	ÁREA (Km ²)
17/02/1990	Floresta – (UPF)	1	135416	73,6	121,87
	Desflorestamento – (UPD)	2	9409	5,11	8,47
	Savana – (UPS)	3	25768	14	23,19
	Ocupação Humana – (UPOH)	4	11106	6,04	10,00
	NULL	0	2301	2,25	2,07
	Total	-	184000	100,00	165,60

Fica claro nos dados, que a UPF é a classe de maior representatividade dentro da área de estudo, seguida de longe pela UPS, UPOH e UPD respectivamente. A classe NULL não teve muita representatividade na imagem e normalmente, se encontrava em pontos associados com a presença de água e sombras, veja a figura 42.

Possivelmente, o histórico de modificações na Serra de Pacaraima, sofreu influencia direta da situação social e política ao qual o Estado de Roraima se encontrava na época. Algumas marcas deste período estão associadas à grande atividade política no final da década de 1980, devido à extinção do Território Federal e a criação do Estado de Roraima.

A nova conjectura política instalada no Estado necessitava de uma base eleitoral para se sustentar, e o meio adotado para se conseguir isso foi o estímulo à migração. Porém, o modelo de “desenvolvimento” adotado apenas patrocinava o crescimento desordenado da população (BARBOSA, 1993). Associado a isso, a atividade mineral “garimpo” alcançava no Estado os maiores índices de produção o que implicava em altas taxas de desmatamento registradas no fim da década de 1980.

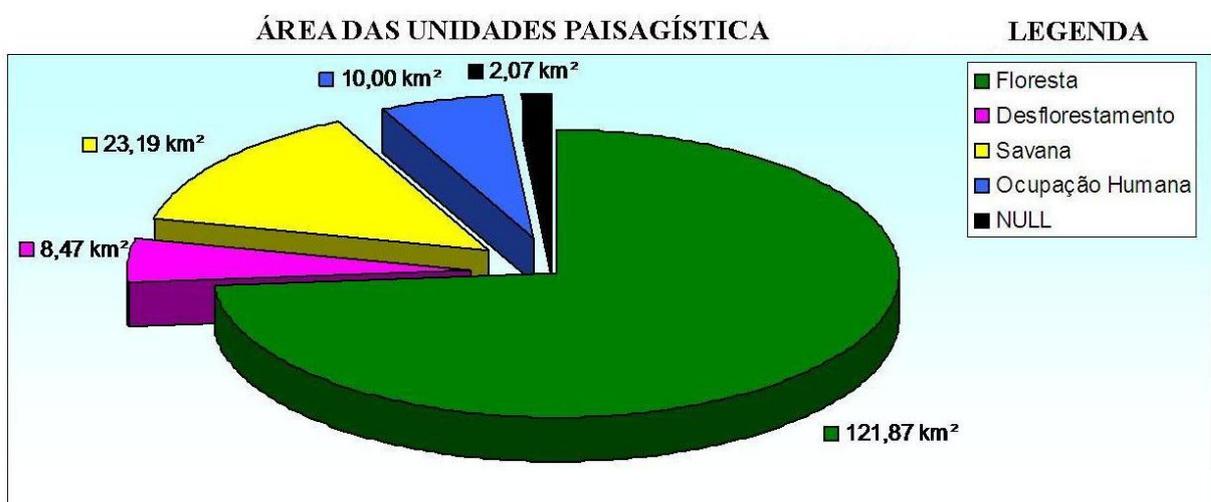
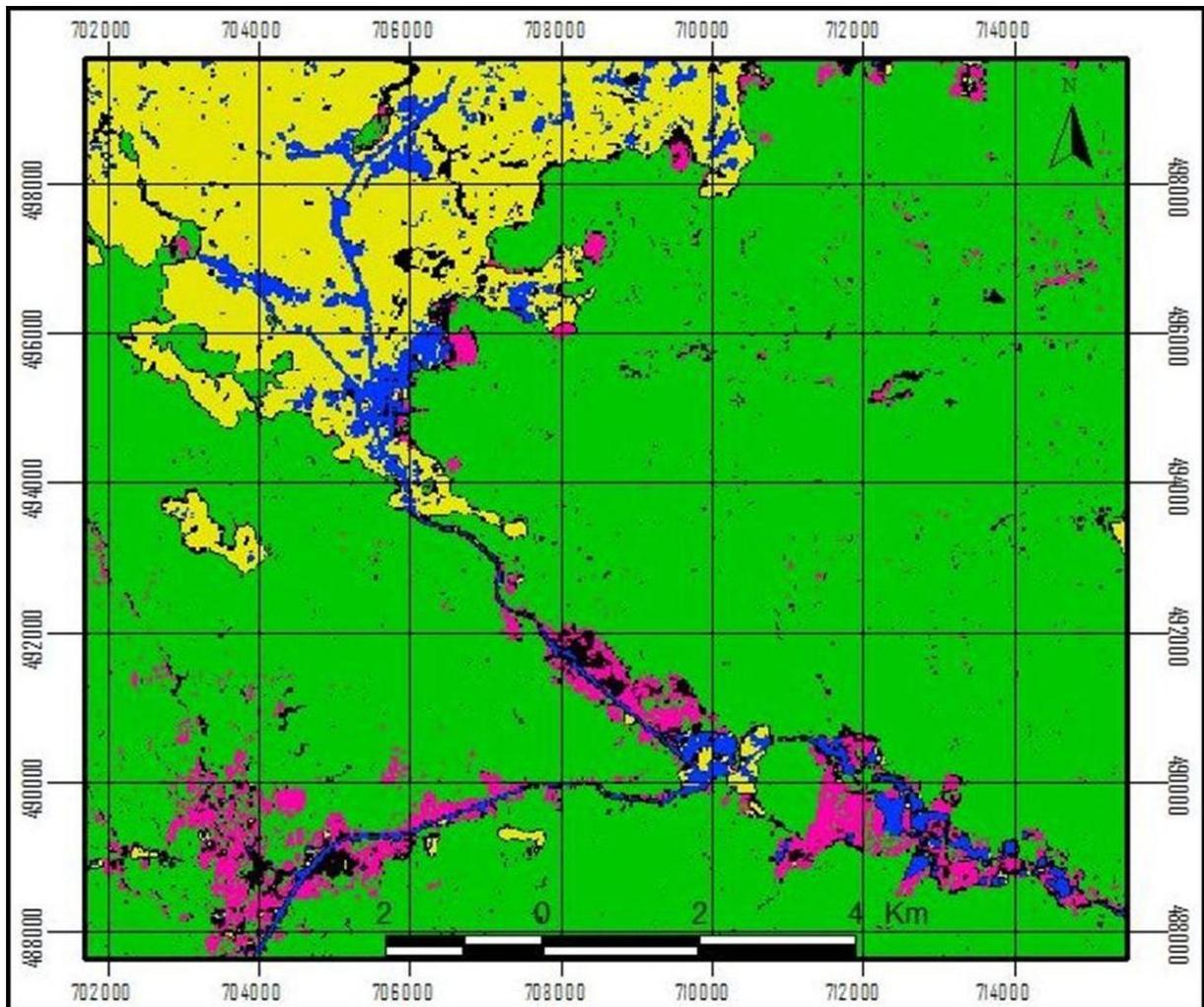


Figura 42. Mapa de classificação gerado a partir de recorte da cena 232/57, de 17/02/1990.

A matriz de confusão calculada para este recorte mostrou que ocorreram poucas misturas entre as classes. Os maiores erros (confusão) ocorreram na classe UPS, onde, 6,5% dos 600 “pixels” selecionados foram considerados como UPOH; e na classe UPOH, em que, 4,2% dos 500 “pixels” selecionados foram atribuídos à classe NULL. Segundo o conceito de desempenho da classificação de Cohen (1960), o coeficiente Kappa calculado de 0,9204 é excelente. A **tabela 14** apresenta os valores obtidos na matriz de confusão e a figura 43 representa a mistura entre as classes.

Tabela 14. Matriz de confusão e coeficiente Kappa gerados pela classificação no recorte de imagem de 17/02/1990.

NOME	PIXEL	CÓDIGO	0	1	2	3	4
Floresta – (UPF)	700	1	0,29	99,14	0,43	0	0,14
Desflorestamento – (UPD)	400	2	1	3,75	92,5	0	2,75
Savana – (UPS)	600	3	0,67	0	0	92,83	6,5
Ocupação Humana – (UPOH)	500	4	4,2	0,2	0,8	5	89,8

* Coeficiente Kappa = 0,9204

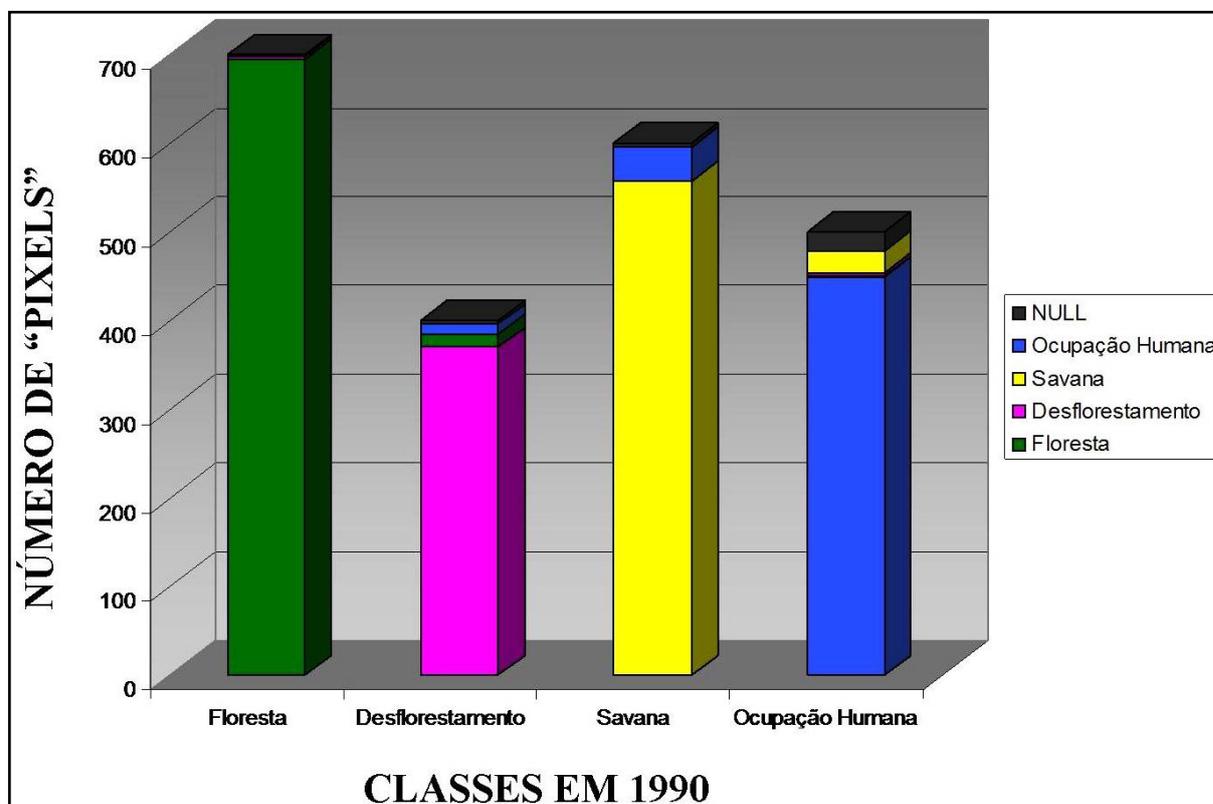


Figura 43. Gráfico demonstrativo da mistura entre as classes obtidas na matriz de confusão calculada para o recorte de imagem de 17/02/1990.

4.2.2 A Paisagem da Serra de Pacaraima em 1995

As estimativas obtidas em 1995 mostraram que houve uma diminuição da área ocupada pela UPF em relação ao ano de 1990. Esta redução da UPF resultou dos incrementos nas áreas ocupadas pela UPS, UPD e pela classe NULL, veja a **tabela 15**.

Pode-se notar que o aumento na UPS foi ocasionado por uma substituição de áreas que em 1990 tinham sido classificadas como UPD. As áreas transformadas se concentraram principalmente no entorno das comunidades indígenas e ao longo da BR-174 e nestes pontos também se encontravam os incrementos da UPD, ver figura 44.

O aumento na classe NULL, em relação a 1990, ocorreu por causa da presença de nuvens e sombras, que também foram responsáveis pela modificação da resposta espectral dos “pixels” no seu entorno. Isso fez com que o classificador identificasse os “pixels” alterados espectralmente, como pertencentes às classes UPD e UPOH (figura 44).

Tabela 15. Número de “pixels”, porcentagem de cobertura na imagem e área em km² das classes, estimadas pela classificação no recorte de imagem de 04/04/1995.

DATA	CLASSE	CÓDIGO	PIXELS	IMAGEM %	ÁREA (Km ²)
04/04/1995	Floresta – (UPF)	1	119595	65	107,64
	Desflorestamento – (UPD)	2	12839	6,98	11,56
	Savana – (UPS)	3	32356	17,58	29,12
	Ocupação Humana – (UPOH)	4	6236	3,39	5,61
	NULL	0	12974	7,05	11,68
	Total	-	184000	100,00	165,60

Na primeira metade da década de 90, houve uma expectativa de criação da zona de livre comércio de Pacaraima. Concomitantemente, ocorreu a extinção das atividades minerais no Estado que trouxeram mais imigrantes, aumentando a população da Serra de Pacaraima (BARBOSA, 1993; BRASIL, 2002 a). Esta situação gerou um fluxo migratório de pessoas para a zona urbana da então Vila de Pacaraima, que crescia desordenadamente.

Contrariando essas informações, a classificação demonstrou que a UPOH reduziu sua área. Ao analisar a figura 44, percebe-se que algumas áreas, como a BR-174, não foram bem classificadas. Tal fato pode estar associado à elevada mistura entre as classes devido à variada resposta espectral apresentada pela UPOH (**tabela 16** e figura 45), ou então, a vegetação próxima as áreas de ocupação humana, poderiam estar em estágios mais avançado de sucessão ecológica, e assim as encobriram na imagem de 1995.

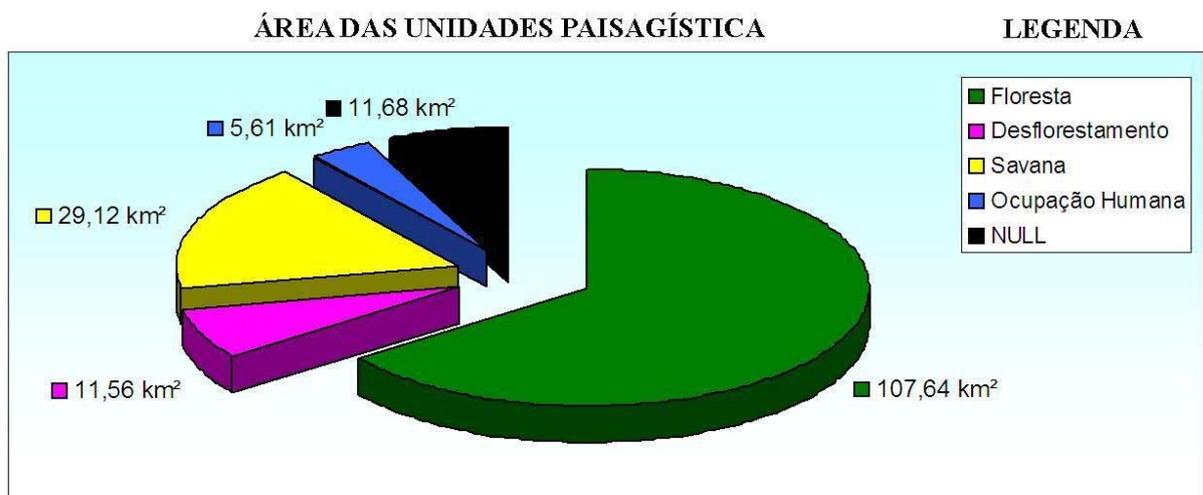
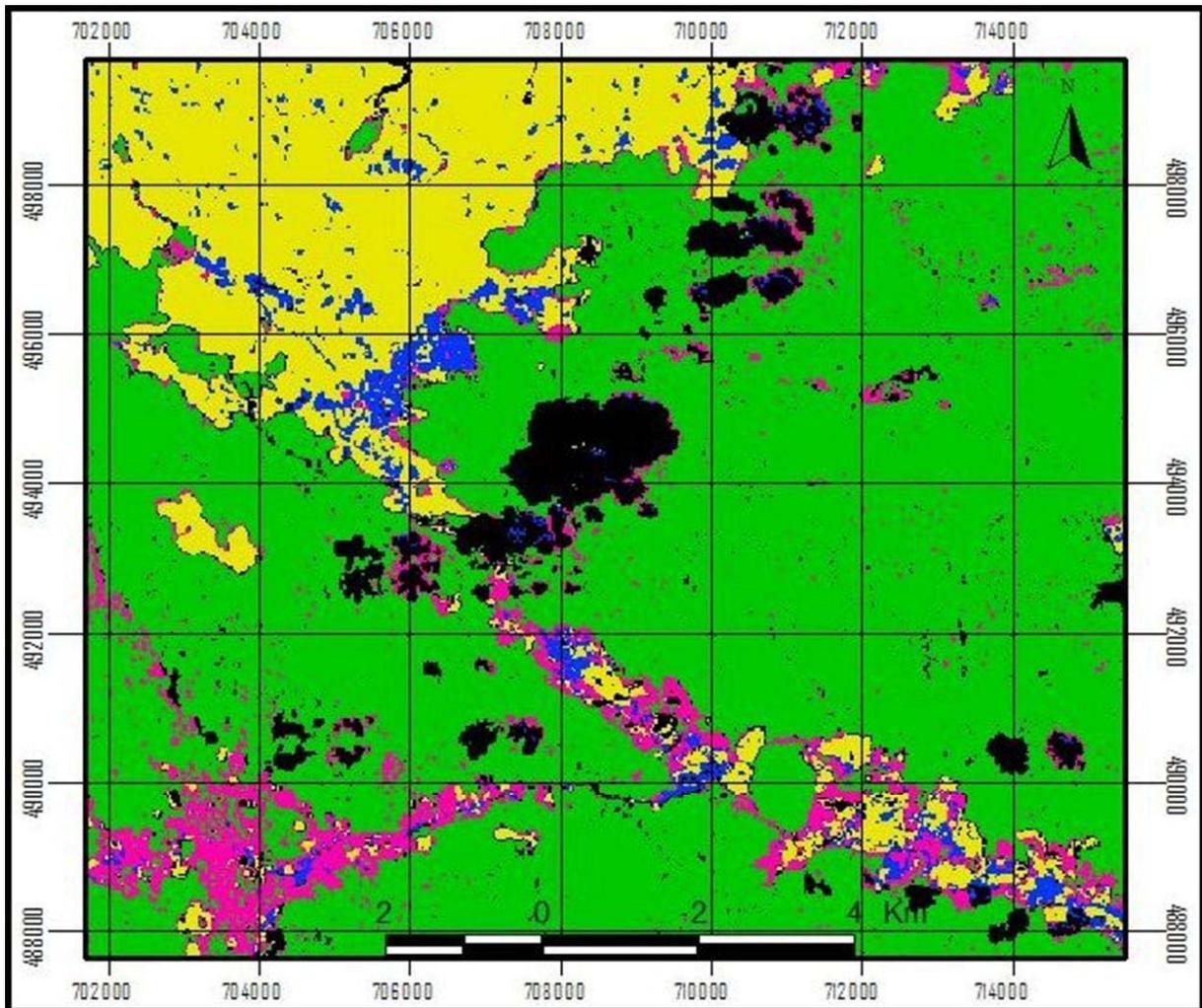


Figura 44. Mapa de classificação gerado a partir de recorte da cena 232/57, data 04/04/1995.

A matriz de confusão representada na **tabela 16**, juntamente com o índice kappa, mostra que o processo de classificação foi excelente. Os erros entre as classes demonstram maior confusão na classe, UPD, que considerou 17% dos “pixels” selecionados como classe UPF, e na classe UPOH, que classificou 8% dos “pixels” selecionados como classe UPS e 4,6% como classe NULL.

Tabela 16. Matriz de confusão e coeficiente Kappa gerados pela classificação no recorte de imagem de 04/04/1995.

NOME	PIXEL	CÓDIGO	0	1	2	3	4
Floresta – (UPF)	700	1	0,86	97,86	1,29	0	0
Desflorestamento – (UPD)	400	2	2,5	17	77,25	0,25	3
Savana – (UPS)	600	3	2,83	0	0,17	94	3
Ocupação Humana – (UPOH)	500	4	4,6	0	2,8	8	84,6

* Coeficiente Kappa = 0,8658

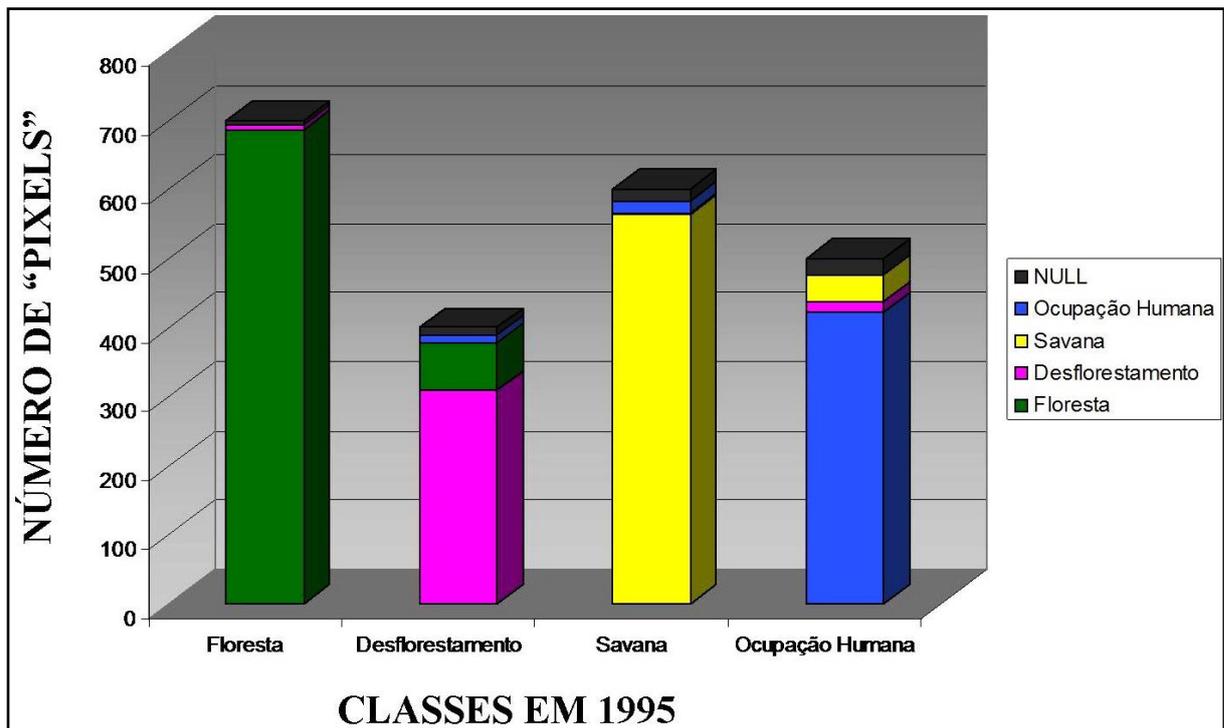


Figura 45. Gráfico demonstrativo da mistura entre as classes obtidas na matriz de confusão calculada para o recorte de imagem de 04/04/1995.

4.2.3 A Paisagem da Serra de Pacaraima em 1999

Em 1999 a UPF teve um incremento na sua área de ocupação quando comparado com 1995, mas, houve uma redução se comparado com 1990, ver **tabela 17**. A ausência de nuvens em 1999 nos permite inferir sobre os resultados obtidos na imagem de 1995, de modo que as áreas consideradas NULL em 1995, em maior parte, encontravam-se sobre a UPF, o que explica a ampliação desta unidade em 1999.

Por outro lado, a UPD continuou a expansão da sua área entre os anos avaliados. Vale salientar que os incrementos no desflorestamento podem ter sido influenciados pela grande queimada que ocorreu no Estado em 1998, em consequência da seca provocada pelo evento “El Niño” de 1997 (ver figura 9 - B) e associado a pressões antrópicas (BARBOSA e FEARNSSIDE, 1999). Outro dado importante é que as áreas de desflorestamento continuaram mais expressivas nas proximidades das comunidades indígenas, veja a figura 46.

Já a diminuição da UPS em 1999, deve-se à presença de áreas alagadas classificadas como NULL dentro desta unidade. Outro fato ocorrido foram as substituições de áreas de UPS em 1995, por áreas de UPD e UPOH em 1999, novamente nas proximidades das comunidades indígenas e da BR-174 (figura 46).

Tabela 17. Número de “pixels”, porcentagem de cobertura na imagem e área em km² das classes, estimadas pela classificação no recorte de imagem de 17/05/1999.

DATA	CLASSE	CÓDIGO	PIXELS	IMAGEM %	ÁREA (Km ²)
17/05/1999	Floresta – (UPF)	1	125071	67,97	112,56
	Desflorestamento – (UPD)	2	14930	8,11	13,44
	Savana – (UPS)	3	28015	15,23	25,21
	Ocupação Humana –	4	8731	4,75	7,86
	NULL	0	7253	3,94	6,53
	Total	-	184000	100,00	165,60

Em relação UPOH é verificado um aumento da sua área, contudo ele não foi significativamente alto para superar as estimativas do ano de 1990. A maior parte do incremento nesta unidade, em 1999, está relacionada com a ampliação do perímetro urbano da Cidade de Pacaraima. O incremento na zona urbana pode ser explicado pela criação do município de Pacaraima no final de 1995. Este fato tornou necessária a instalação de toda a estrutura municipal, para prestação dos serviços públicos à população e para a administração do município recém criado.

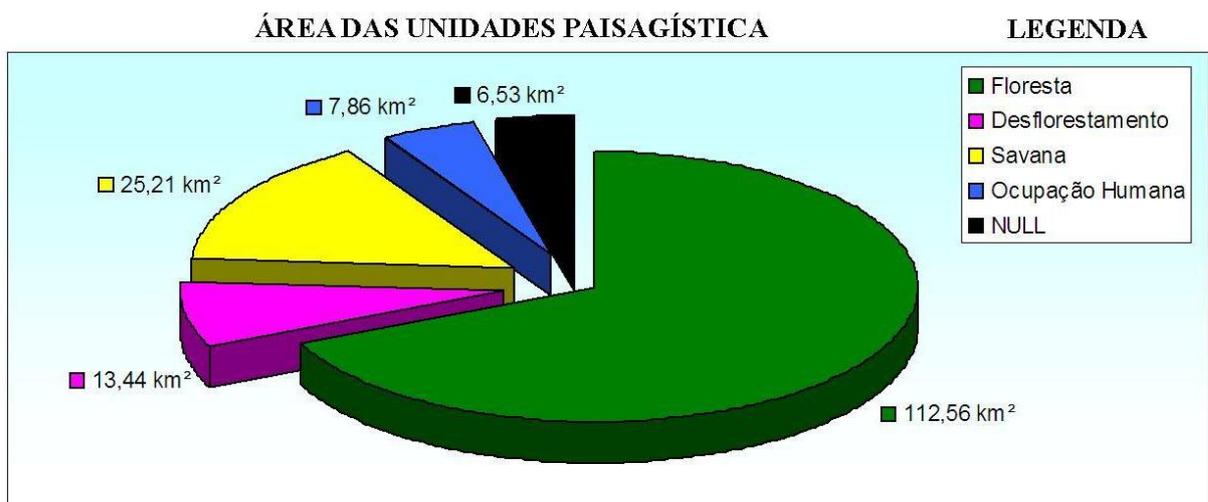
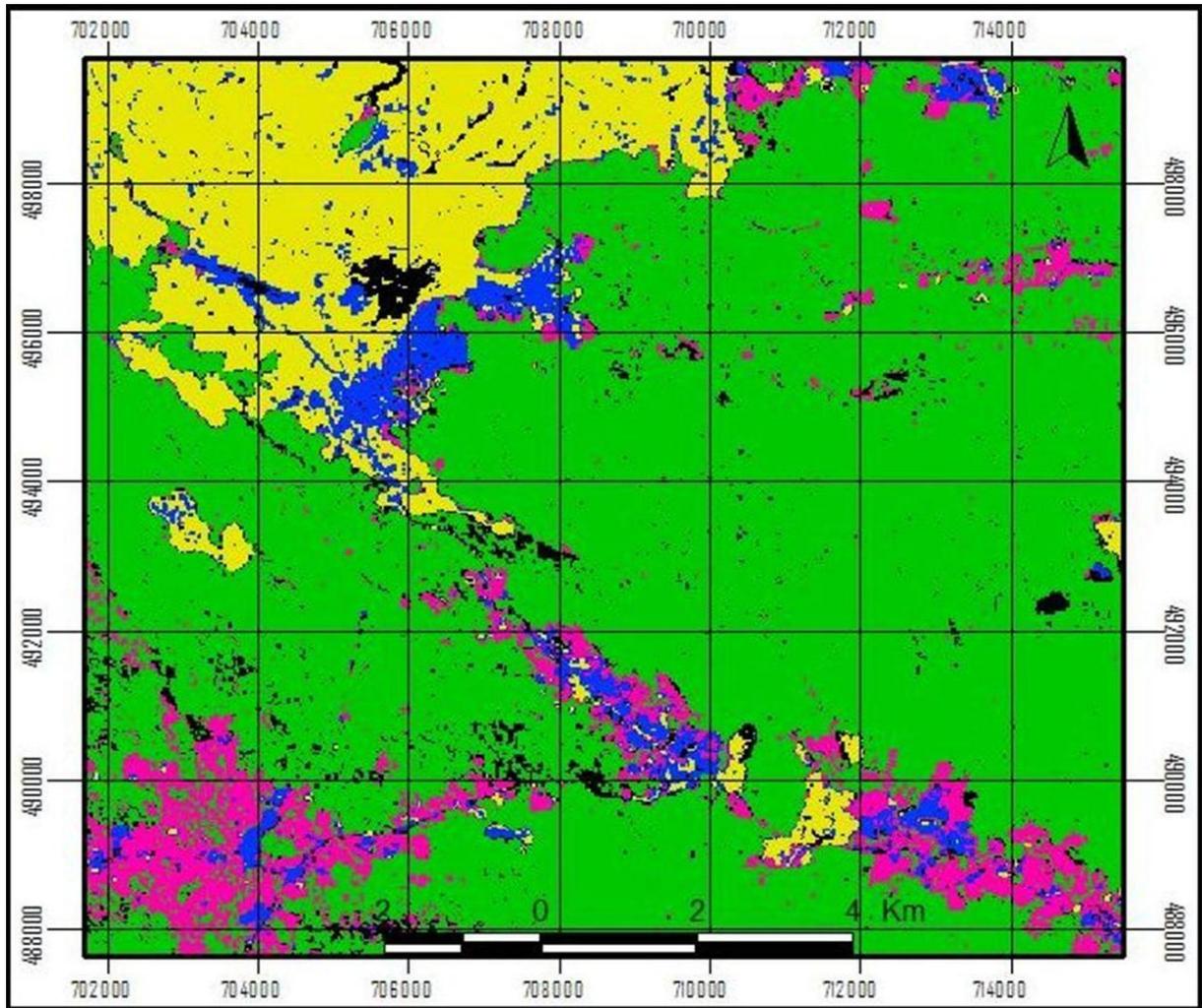


Figura 46. Mapa de classificação gerado a partir de recorte da cena 232/57, data 17/05/1999.

Na **tabela 18** estão apresentados os valores da matriz de confusão e o coeficiente kappa, que demonstra a excelência da classificação. Os erros de classificação foram mais relevantes nas classes UPD que identificou 7,7% dos “pixels” selecionados como classe UPF, na classe UPS que incluiu 4,8% dos “pixels” selecionados como pertencente à classe UPOH e na classe UPOH que classificou 4,6% dos “pixels” selecionados como classe NULL.

Tabela 18. Matriz de confusão e coeficiente Kappa gerados pela classificação no recorte de imagem de 17/05/1999.

NOME	PIXEL	CÓDIGO	0	1	2	3	4
Floresta – (UPF)	700	1	0,86	98	1,14	0	0
Desflorestamento – (UPD)	400	2	2,25	7,75	87,75	0	2,25
Savana – (UPS)	600	3	1	0	0	94,17	4,83
Ocupação Humana – (UPOH)	500	4	4,6	0	0	3,8	91,6

*Coeficiente Kappa = 0,9143

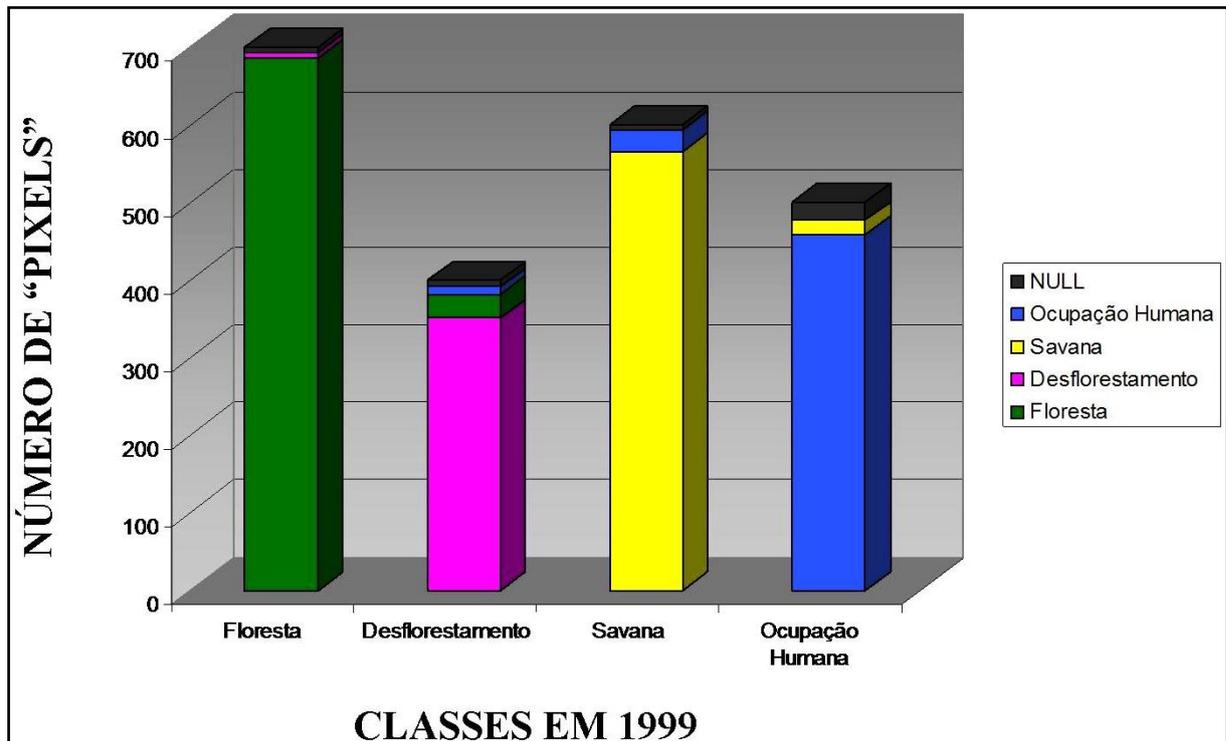


Figura 47. Gráfico demonstrativo da mistura entre as classes obtidas na matriz de confusão calculada para o recorte de imagem de 17/05/1999.

4.2.4 A Paisagem da Serra de Pacaraima em 2004

No ano de 2004, a classificação representou o estágio final da avaliação da paisagem na Serra de Pacaraima. Assim, a UPD ampliou sua área de forma mais significativa que nos anos anteriores (**tabela 19**). Desta vez, os incrementos se concentraram nos arredores das comunidades indígenas e na zona de expansão da cidade. Nesta zona, o aumento da UPD está associado às tentativas de expansão urbana observada em certas áreas como o “Morro do Quiabo”, onde ocorreram desmatamentos e queimadas em anos anteriores a 2004 (COSTA, FALCÃO e COSTA, 2006).

Nesse contexto, a UPOH também ampliou sua área em relação a 1999, apesar dos valores obtidos em 2004 não terem superado a estimativa de 1990. Todavia, a figura 48 mostra que os incrementos mais significativos nesta unidade, ocorrem no entorno da cidade e na pista de pouso que recebeu a pavimentação. Em contrapartida, houve diminuição das áreas de solos exposto fora do perímetro urbano da cidade, em relação a 1990, ver figura 33.

Tabela 19. Valores de “pixels”, porcentagem de cobertura na imagem e área em km² das classes estimadas pela classificação.

DATA	CLASSE	CÓDIGO	PIXELS	IMAGEM %	ÁREA (Km ²)
06/05/2004	Floresta – (UPF)	1	109118	59,30	98,21
	Desflorestamento – (UPD)	2	22585	12,27	20,33
	Savana – (UPS)	3	25305	13,75	22,77
	Ocupação Humana – (UPOH)	4	10207	5,55	9,19
	NULL	0	16785	9,12	15,11
	Total			184000	100,00

A presença de nuvens, sombras e áreas alagadas na imagem de 2004 ocasionaram a maior estimativa para a classe NULL de todas as imagens analisadas (**tabela 19**). Contudo, desta vez as áreas pertencentes a esta classe não se encontravam apenas sobre a UPF, mas também sobre a UPS. Assim, a representatividade da classe NULL em 2004 contribuiu para diminuir as estimativas das áreas ocupadas por estas unidades (figura 48).

O processo de substituição das unidades continuou a acontecer de forma evidente. Este fato relaciona-se ao processo de agricultura itinerante praticada na região (VALE JÚNIOR, 2000). Segundo Cochrane *et al.*, (1999), as correntes práticas de uso da terra e do fogo na Amazônia, tem o potencial de transformar grandes áreas de floresta tropical em áreas arbustivas ou de savanas.

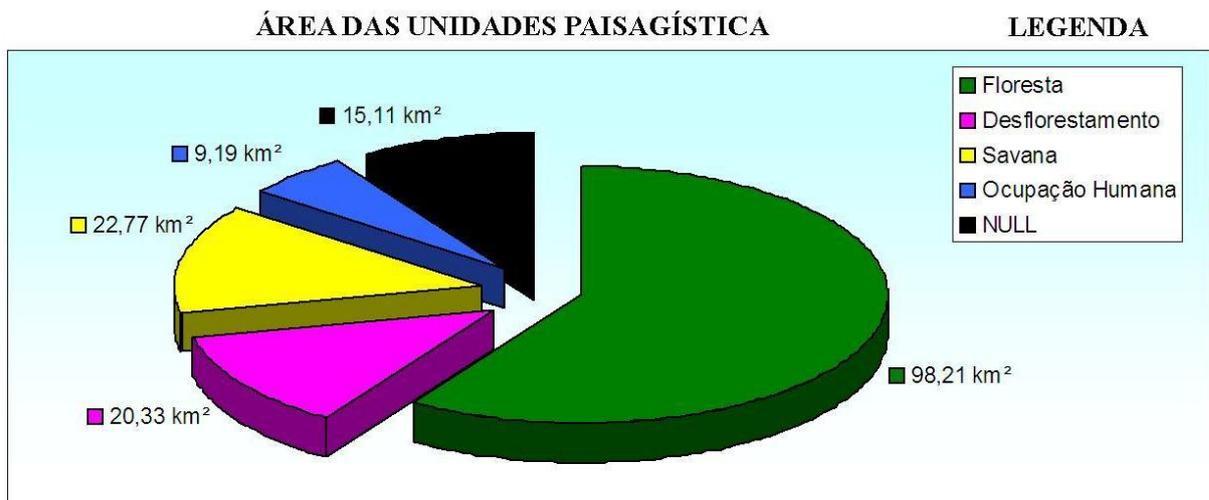
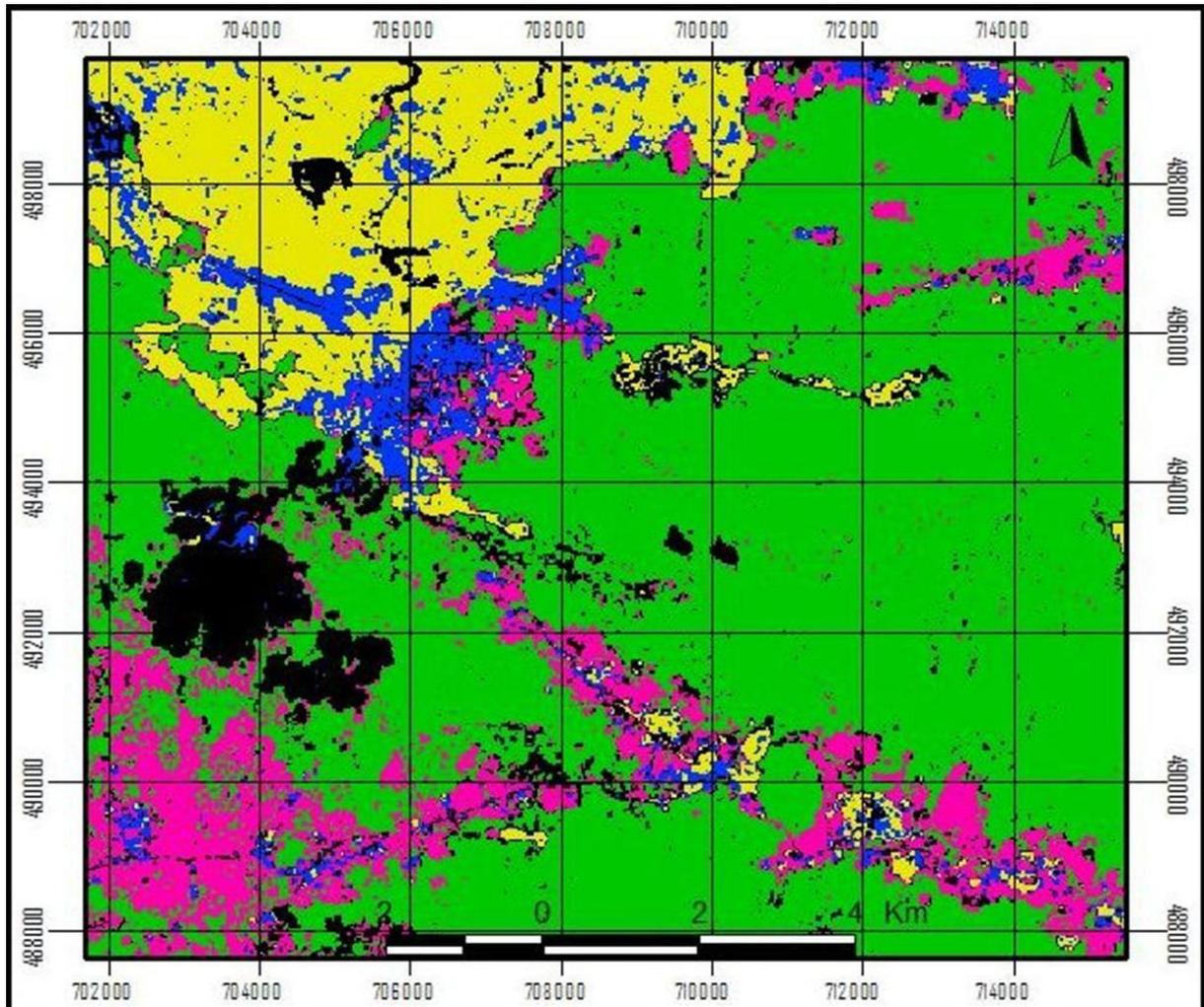


Figura 48. Mapa de classificação gerado a partir de recorte da cena 232/57, data 06/05/2004.

A avaliação da classificação encontra-se na matriz de confusão apresentada na **tabela 20**, bem como, o índice kappa. Os erros de classificação mais representativos estão na classe UPD que identificou 9% dos “pixels” selecionados como UPF, e a classe UPOH que incluiu 6% dos 500 “pixels” selecionados como UPS (figura 49).

Tabela 20. Matriz de confusão e coeficiente Kappa gerados pela classificação no recorte de imagem de 06/05/2004.

NOME	PIXEL	CÓDIGO	0	1	2	3	4
Floresta – (UPF)	700	1	1,14	97,43	1,43	0,00	0,00
Desflorestamento – (UPD)	400	2	4,00	9,00	86,50	0,00	0,50
Savana – (UPS)	600	3	0,17	0,00	0,00	94,83	5,00
Ocupação Humana – (UPOH)	500	4	4,60	0,00	0,20	6,00	89,20

* Coeficiente Kappa = 0,9143

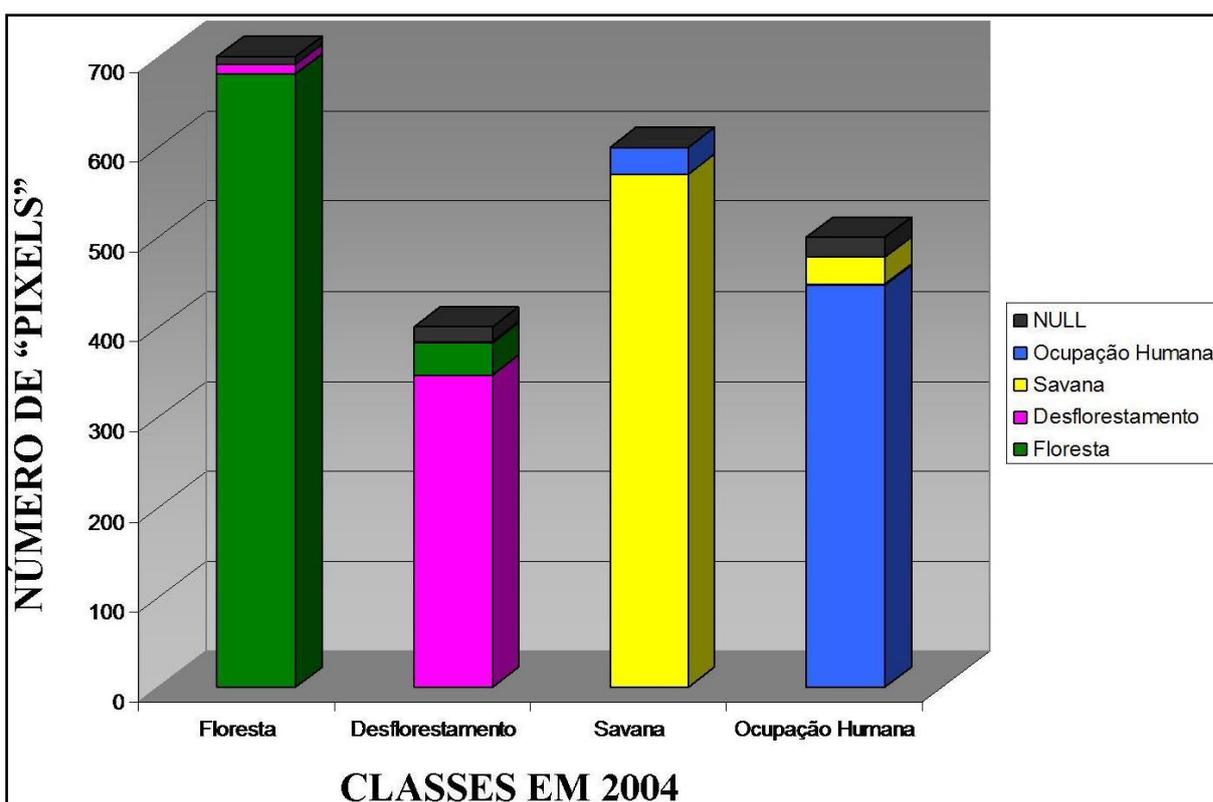


Figura 49. Gráfico demonstrativo da mistura entre as classes obtidas na matriz de confusão calculada para o recorte de imagem de 06/05/2004.

4.3 EVOLUÇÃO DA PAISAGEM NA SERRA DE PACARAIMA

A paisagem se apresenta como o resultado da interação dos modelos espaciais com os processos sociais e ecológicos (TROLL, 1997). Assim, a caracterização da evolução da paisagem na Serra de Pacaraima, reflete as transformações ocorridas e subsidia um planejamento ambiental.

Nesta perspectiva, o modelo de paisagem apresentado na Serra de Pacaraima corroboraram a hipótese da ocorrência de processos de ocupação e uso da terra, que implicam na perda de serviços ambientais, com substituição de áreas naturais por unidades paisagísticas de ação antrópica. O aumento do desflorestamento, a expansão da área urbana da cidade de Pacaraima e a redução das áreas de floresta confirmam esta hipótese (figura 50).

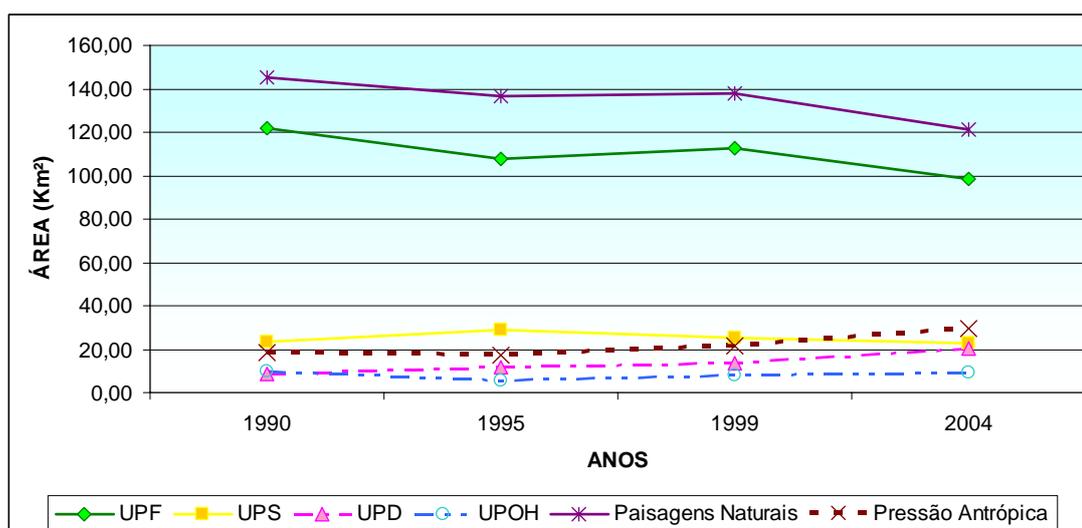


Figura 50. Gráfico de evolução das unidades da paisagem.

Contudo, a análise multitemporal demonstrou que a dinâmica da paisagem local é influenciada por fatores complexos. Segundo Araújo, Almeida e Guerra (2005), a priori, a pressão populacional parece se aplicar aos primeiros elos da cadeia de alterações ambientais, que, na Serra de Pacaraima está relacionada a duas frentes, uma do desenvolvimento urbano desordenado e outra das práticas agrícolas primitivas empregadas na zona rural.

Foge ao escopo deste trabalho uma análise aprofundada dos aspectos sociais envolvidos no processo da produção do espaço urbano e rural na Serra de Pacaraima. Todavia, devemos entendê-lo como fruto de uma demanda política e econômica local, que se

desenvolveu em uma zona de fronteira, inserida em terras indígenas, no qual, o crescimento vem ocorrendo de forma espontânea com pouca interferência de políticas públicas voltadas ao seu planejamento.

Essa condição proporciona uma série de conflitos, que são mal resolvidos e culminam em danos ambientais e comprometimento dos recursos naturais. Deste modo, a ocupação da Serra de Pacaraima geralmente ocorre com corte da floresta nativa seguida por ciclos de queimadas. Então, a floresta é substituída por invasões, na zona urbana, e por culturas de subsistência itinerante, sem manejo adequado, na zona rural (VALE JÚNIOR, 2000; COSTA, FALCÃO e COSTA, 2006).

Essas ações apresentam diversas implicações, pois, alteram bruscamente a estrutura e as funções da paisagem natural, desencadeando uma série de processos interrelacionados. De acordo com Laurance e Williamson (2001), o desflorestamento leva à fragmentação da floresta, tornando-as mais inflamáveis do que a floresta primária. Em consequência disso, ocorre um declínio na precipitação, visto que ocorre a redução da evapotranspiração e a não formação de nuvens por causa da fumaça emitida pelas queimadas.

Desta maneira, o desflorestamento promove uma mudança regional, caracterizada por secas acentuadas, queimadas e conversão da floresta (LAURANCE e WILLIAMSON, 2001), que se tornam especialmente importante durante eventos de “El Niño”, por causa do stress provocado pelas secas (BARBOSA e FEARNSSIDE, 1999).

Assim, as interações entre mudança no clima e no uso da terra ampliam as áreas afetadas pelo fogo e levam a um aumento na emissão de CO₂ para a atmosfera (ARAGÃO *et al.*, 2008). Que por sua vez, criam uma retroalimentação positiva na susceptibilidade futura ao fogo, na fonte de combustão e na intensidade do fogo (COCHRANE *et al.*, 1999). Estes autores concluíram que, as queimadas mesmo depois de controladas continuam causando a mortalidade da floresta pelo menos, por dois anos após sua extinção.

Na Serra de Pacaraima, essas mudanças foram identificadas e comprovadas por intermédio dos resultados obtidos nos trabalhos realizados em campo, com auxílio das imagens segmentadas, e na análise das imagens classificadas. Além disso, Costa; Falcão; Costa, (2006), sugerem que efeitos associados a aspectos naturais como a vulnerabilidade a erosão condicionada por processos neotectônicos (microtremores), influenciem diretamente na evolução da paisagem local. De acordo com Mito (1993) citado por Costa *et al.*, (1996), a Serra de Pacaraima está incluída na zona sismogênica Boa Vista. As ondas sísmicas percebidas nesta zona têm origem na Venezuela e podem alcançar a região com energia suficiente para reativar zonas de fraqueza, que provoca tremores de pequena magnitude.

Outro aspecto importante na dinâmica da paisagem na Serra de Pacaraima é o regime pluviométrico regional (ver figura 9), que submete as rochas do Grupo Surumu a um forte intemperismo. Os solos derivados da decomposição destas rochas são predominantemente rasos e caulíníficos e estão sujeitos a intenso processo morfogenético (VALE JUNIOR, 2000). Dessa maneira, a retirada da floresta expõe o solo às fortes chuvas dos meses de maior precipitação, que produz um alto escoamento superficial nas enxurradas e resulta na produção de ravinas e voçorocas (ARAUJO, ALMEIDA e GUERRA, 2005), feições bastante presentes na paisagem da Serra de Pacaraima (figura 51).



Figura 51. A) Voçorocas e ravinas ao longo da BR-174, na Cidade de Pacaraima em 2003; B) mesma área em 2008, (Foto: A – COSTA, 2003).

Associado a esses aspectos, a localidade estudada encontra-se em uma posição mais elevada do relevo regional, que se caracteriza por ser uma zona de produção de sedimentos para regiões mais aplainadas do estado (SHAEFER e VALE JÚNIOR, 1997). O relevo é colinoso e apresenta topos convexos e vertentes de alta declividade (GOVERNO DE RORAIMA, 2007). O mapa hipsométrico e o de declividade (figura 52 e 53) demonstram estas características, onde a área de estudo apresenta altitudes que variam de 390 à 1090 metros e declividades que atingem 30° graus nas escarpas mais íngremes.

A análise desses aspectos naturais, assim como dos processos ecológicos associados à paisagem natural local, evidenciados pelo reconhecimento de campo, não foram os objetivos deste estudo. Contudo, entender os sistemas atuantes na Serra de Pacaraima, de forma mais detalhada é imprescindível no suporte a tomada de iniciativas conservacionistas. Por isso, as políticas públicas tornam-se o elemento fundamental do processo, através da criação de programas e projetos que visem efetivar o controle, o manejo e a conservação ambiental.

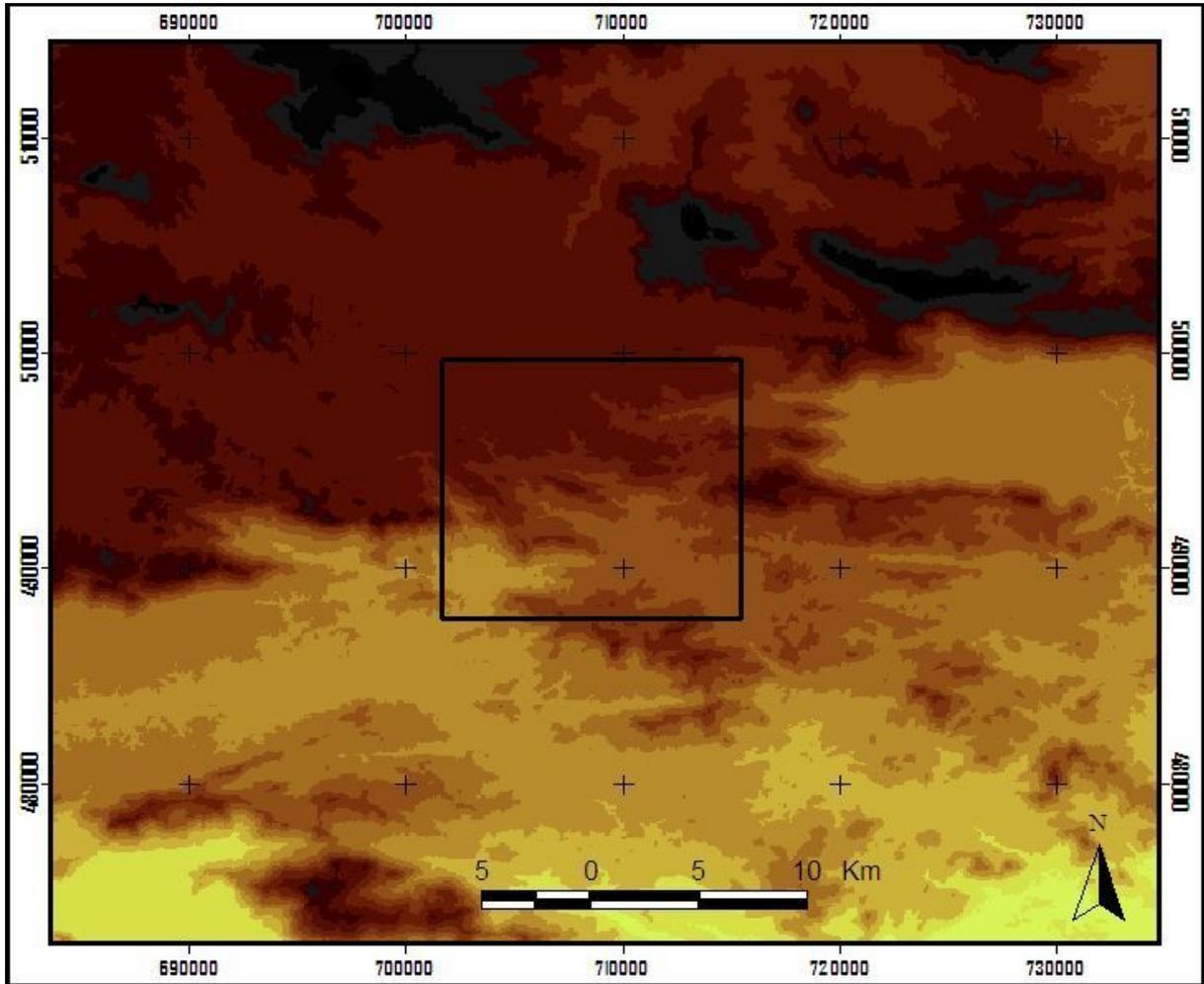
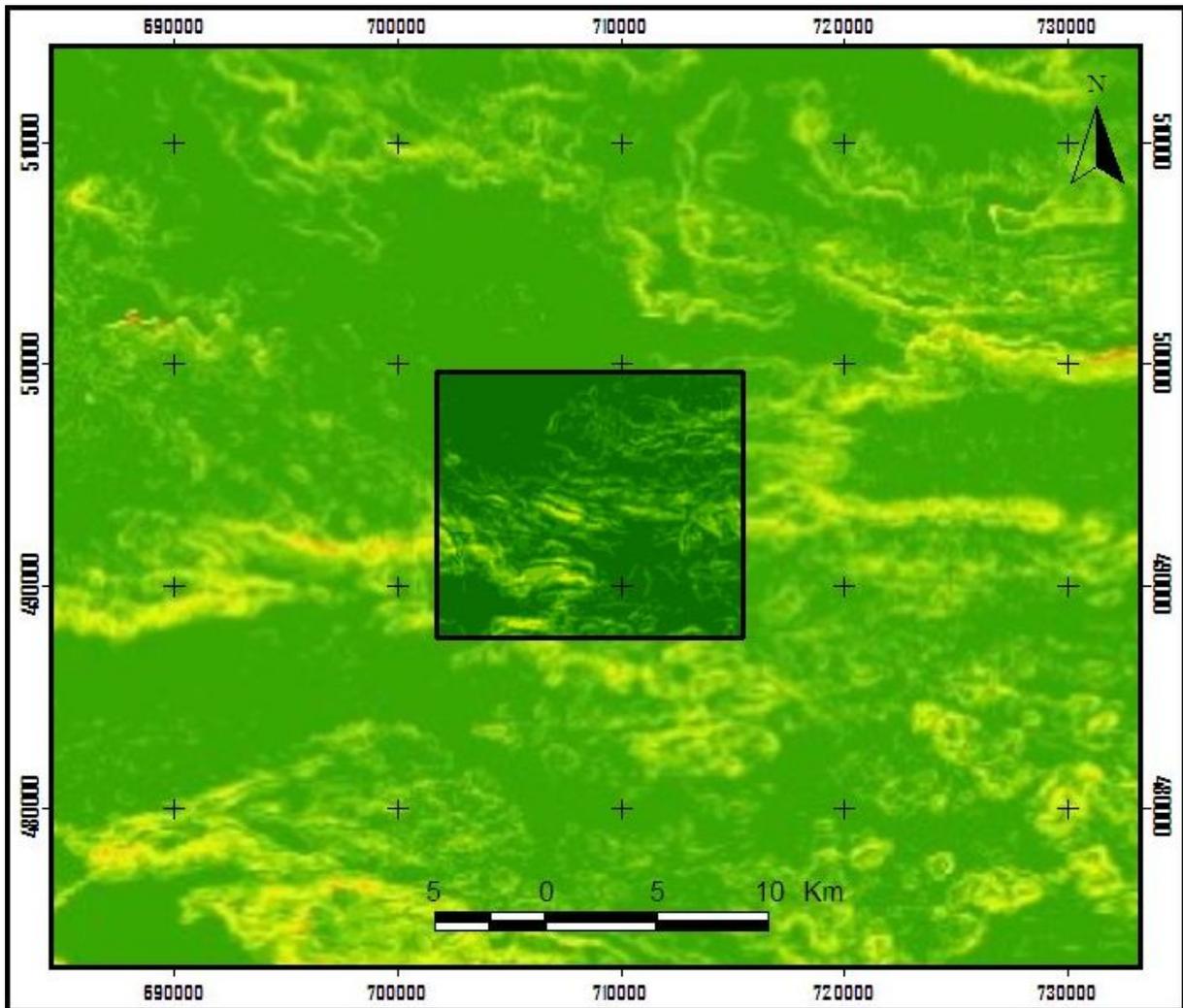


Figura 52. Mapa hipsométrico gerado a partir de imagem de radar SRTM.



LEGENDA	
	Área de Estudo
	0 — 5,6
	5,6 — 11,5
	11,5 — 17,2
	17,2 — 23,1
	23,1 — 28,8
	28,8 — 34,7
	34,7 — 40,4

Figura 53. Mapa de declividade gerado a partir de imagem de radar SRTM. Os valores de inclinação estão expressos em graus.

5. CONCLUSÃO

- A identificação das unidades paisagísticas por meio da aplicação da técnica de segmentação de imagens, por *crescimento de regiões*, sobre os recortes de cenas LANDSAT-5/TM-5 e em associação aos trabalhos de campo, se apresentou como uma forma eficiente de reconhecer a estrutura e relacionamentos da paisagem da Serra de Pacaraima.
- As mudanças na paisagem, analisadas a partir da representatividade das unidades paisagísticas, obtidas através da classificação digital, demonstraram que na Serra de Pacaraima existe uma tendência de ampliação das unidades de pressão antrópica (UPD e UPOH) em detrimento das unidades de paisagens naturais (UPF e UPS).
- Os resultados obtidos refutam a hipótese de que as paisagens naturais, da área estudada, que estão inseridas na Reserva Indígena São Marcos não sofram com perturbações resultantes de atividades desenvolvidas pelo homem.
- As alterações ocorridas na paisagem da Serra de Pacaraima ativaram processos complexos que atuam de maneira sinérgica, e propiciam uma retroalimentação positiva no sentido de mudanças ambientais. A principal alteração percebida foi o desflorestamento, em substituição por ocupação desordenada e/ou práticas agrícolas primitivas. E os principais processos complexos atuantes foram: a fragmentação da floresta; aumento da susceptibilidade ao fogo; e aumento da susceptibilidade à erosão.
- O processo de ocupação e os conflitos de interesses entre as políticas públicas, a sociedade e o meio ambiente (paisagem), são aspectos que devem ser mais bem entendidos e resolvidos na Serra de Pacaraima. Disso, depende o uso permanente, sustentado e eficiente desta paisagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A. A.; VIEIRA, I. C.; NEPSTAD, D. C.; LEFEBVRE, P. Análise multitemporal do uso do solo e mudança da cobertura vegetal em antiga área agrícola da Amazônia oriental. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. Anais... Salvador: INPE, 1996. p. 475-478.

ALMEIDA, S. A.; OSMAN, F. S.; MELLO, E. K.; MOREIRA, J. C.; ORTIZ, J. O.; AMARAL, S.; SOARES, J. V.; ALVES, D. S. Mapeamento de cobertura da terra utilizando técnicas de processamento de imagens na região de Ariquemes (RO-BR), com ênfase às florestas secundárias. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. Anais... Salvador: INPE, 1996. p. 479-483.

ALVES, D. S.; MOREIRA, J. C.; MELLO, E. K.; SOARES, J. V.; FERNANDEZ, O.; ALMEIDA, S. A.; ORTIZ, J. O. Mapeamento do uso da terra em Rondônia utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens Landsat-TM. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. Anais... Salvador: INPE, 1996. p. 71-79.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em:<<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 10 abril 2008.

ARAGAO, L.; MALHI, Y.; BARBIER, N.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y.; ANDERSON, L.; SAATCHI, S. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, v. 363, n.1491, p. 1779-1785, Feb. 2008.

ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. Gestão ambiental de áreas degradadas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2005. 320p.

BAPTISTA, G. M. M. Sensoriamento Remoto Hiperespectral: o novo paradigma nos estudos de solos tropicais. Brasília: Universa, 2006.

BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (Org.). Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima. Manaus: INPA, 1997.

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*, Manaus, v.29, n.4, p.513-534, 1999.

BARBOSA, R. I. Ocupação humana em Roraima. II. Uma revisão do equívoco da recente política de desenvolvimento e o crescimento desordenado. Bol. Mus. Par. Emílio Goeldi, Belém, v.9, n.2, p.177-197, 1993.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Caderno de Ciências da Terra, São Paulo, v.13, p.1-27, 1971.

BINS, L.S.; FONSECA, L.M.G.; ERTHAL, G.J.; MITSUO, F. Satellite Image Segmentation: a region growing approach. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. Anais... Salvador: INPE, 1996. p. 677-680.

BOHRER, C. B. A. Vegetação, Paisagem e o Planejamento do Uso da Terra. Geographia, Rio de Janeiro, v.2, n. 4, p. 103-120, 2000.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha NA. 20.Boa Vista e parte das folhas NA. 21, Tumucumaque, NB. 20 Roraima e NB. 21; Geologia, geomorfologia, pedologia e fitoecologia. Rio de Janeiro, 1975. 428 p.

BRASIL. Programa levantamentos geológicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA. 20-X-B e NA. 20-X-D (inteiras), NA. 20-X-A, NA. 20-X-C, NA. 21-V-A e NA. 21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Brasília: CPRM, 1999.

BRASIL. Ministério da Defesa. Programa Calha Norte. Plano de Desenvolvimento Local Integrado e Sustentável: Estado de Roraima, Município de Pacaraima. Boa Vista: Prefeitura de Pacaraima e Fundação Getúlio Vargas, 2002, (a). 103p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Governo do Estado de Roraima. CPRM. Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima - TOMO I. Roraima: 2002, (b). 218 p.

BRASIL. Monitoramento da Cobertura Florestal da Amazônia por Satélite. Relatório Técnico Científico. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-18@80/2008/04.28.13.43>>. Acesso em: 20 maio 2008.

BRUIJINZEEL, L. A. Predicting the hydrological impacts of land cover transformation in the humid tropics: the need for integrated research. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L (Org.). Amazonian deforestation and climate. Nova York: John Wiley and Sons, 1996, p.15-55.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. Principles of geographical information systems. Oxford: Oxford University Press, 1998.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. Conceitos básicos em ciências da geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. Introdução a Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M.; DRUCK, S.; CARVALHO, M. S. Análise espacial e geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (Org). Análise Espacial de Dados Geográficos. Brasília, EMBRAPA, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/index.html>>. Acesso em: 24 abril 2008.

CARDILLE, J. A.; FOLEY, J.A. Agricultural land-use change in Brazilian Amazônia between 1980 and 1995: Evidence from integrated satellite and census data. Remote Sensing of Environment, Amsterdam, n.87, p.551-562, sept. 2002.

CHAVEZ, P.S.; BERLIN JUNIOR, G.L.; SOWERS, L.B. Statistical Method for Selecting Landsat MSS Ratios. Applied Photographic Engineering, v.8, n.1, p.23-30, feb. 1982.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo: Editora Edars Blücher Ltda. 1999.

CLARK, R. N. Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. In: RENCZ, A. N.(Org.). Manual of remote sensing – Remote sensing for the earth science. Nova York: John Wiley and Sons, 1999, n. 3, p.3-58.

COCHRANE, M. A.; ALENCAR, A.; SCHULZE, M. D.; SOUZA, C. M.; NEPSTAD, D. C.; LEFEBVRE, P.; DAVIDSON, E. A. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. Science, New York, v.284, n.5421, p.1832– 1835, june 1999.

COHEN, J. A. Coefficient of Agreement for Nominal Scales. Educational and Psychological Measurement, v.20, n.1, p.37-46, 1960.

COSTA, J.A.V.; COSTA, J.B.S. Estruturação Proterozóica ao Longo da BR-174 Vila Pacaraima – Rio Surumu. Norte de Roraima. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5, 1996, Belém. Resumos Expandidos. Belém: SBG-NN, 1996. p. 313 - 15.

COSTA, J.A.V. Tectônica da Região Nordeste do Estado de Roraima. . Belém, 1999. 315f. Tese de Doutorado – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.

COSTA, J. A. V.; FALCÃO, M. T.; COSTA, J. B. S. Vulnerabilidades aos processos erosivos no Município de Pacaraima - RR. Primeira abordagem. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA E I.A.G. REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 6, 2006, Goiana. Anais... Goiana: SINAGEO, 2006.

COSTA, J.B.S.; COSTA, J.A.V. O quadro neotectônico da região nordeste do Estado de Roraima. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5, 1996, Belém. Resumos Expandidos. Belém: SBG-NN, 1996. p. 284 - 86.

COSTA, J.B.S; BEMERGUY, R.L; HASUI, Y; BORGES, M.S; FERREIRA JÚNIOR, C.R.P; BEZERRA, P.E.L; FERNANDES, J.M.G; COSTA, M.L. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. GEONOMOS. Revista de Geociências. Belo Horizonte, 4. 1996.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial., São José dos Campos: INPE, 1996.

CRÓSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas: UNICAMP, 1992.

CRUTZEN, P.J.; ANDREAE, M.O. Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. Science, New York, v.250, p.1669-1678, dec.1990.

DAVIS, C.; CÂMARA, G. Arquitetura de sistemas de informação geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. Introdução a Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001.

DE LEEUW, A. J.; VEUGEN, L. M. M.; VAN STOKKOM, H. T. C. Geometric correction of remotely sensed imagery using ground control points and orthogonal polynomials. International Journal of Remote Sensing, London, v. 9, p.1751-1759, oct. 1988.

EMBRAPA. Brasil em Relevo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em:<www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 12 abril 2007.

FEARNSIDE, P. M. Predominant land uses in Brazilian Amazonia. In: ANDERSON A. B. Alternatives to deforestation: Steps toward sustainable use of the Amazon rain forest. New York: Columbia University Press, 1990, p.233 – 251.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. Acta Amazônica. Manaus, v.36, n.3, p.395-400, 2006.

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem numérica do terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. Introdução a Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001, p.172-208.

FLORENZANO, T. G. Imagens de Satélites para Estudos Ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GOVERNO DO ESTADO DE RORAIMA. Fundação Estadual do Meio Ambiente e Tecnologia de Roraima – FEMACT. Plano Estruturante do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de Roraima. Boa Vista, v.2, 3 e 4. 2007. Trabalho não publicado.

GOVERNO DO ESTADO DE RORAIMA. Secretaria de Estado de Planejamento e Desenvolvimento. Produto Interno Bruto Estadual e Municipal: Nova Série 2002-2005. Boa Vista: 2008. 83p

GUERRA, A. J. T. Geomorfologia Ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

IBAMA. Ministério do Meio Ambiente E da Amazonia Legal. PREVFOGO - Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. Disponível em:<<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./florestal/index.html&conteudo=./florestal/programas/prevfogo.html>>. Acesso em: 15 abril 2008.

IBGE. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS. Mapa do Estado de Roraima: Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Vegetação. IBGE, 2005.

IBGE. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 19 maio 2008.

INPE. Estimativas Anuais desde 1988: Taxa de desmatamento anual (km²/ano). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em:<http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2007.htm>. Acesso em: 15 maio 2008, (a).

INPE. Coordenação geral de observação da terra. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em:<<http://www.obt.inpe.br/deter/>>. Acesso em: 02 junho 2008, (b).

INPE. Banco de dados de queimadas. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>> . Acesso em: 02 junho 2008, (c).

INPE. Mapa de risco de fogo para o Estado de Roraima. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/queimadas/proarco/maparisco/MR_RR_4km.gif>. Acesso em: 02 junho 2008 (d).

INPE. Desflorestamento nos municípios da Amazônia Legal. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>>. Acesso em: 02 junho 2008, (e).

INPE. Divisão de Geração de Imagens: Os Satélites Landsat 5 e 7. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 03 agosto 2008, (f).

KELLNDORFER, J.; WALKER, W.; PIERCE, L.; DOBSON, C.; FITES, J.A.; HUNSAKER, C.; VONA, J.; CLUTTER, M. Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets. *Remote Sensing of Environment*, Amsterdam, n.93, p.339-358, july. 2004.

LAURANCE, W. F.; WILLIAMSON, G. B. Positive Feedbacks among Forest Fragmentation, Drought, and Climate Change in the Amazon. *Conservation Biology*, Florida, v.15, n.6, p.1529–1535, dec. 2001.

MATHER, P. M. *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*. 2.ed. Nova York: John Wiley and Sons, 1999.

MAXIMINIANO, L. A. Considerações sobre o conceito de paisagem. *R. RA'E GA*, Curitiba, n. 8, p.83-9. 2004.

MEDINA, E.; CUEVAS, E. Biomass production and accumulation in nutrient-limited rainforest: implications for responses to global change. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L (Org.). *Amazonian deforestation and climate*. Nova York: John Wiley and Sons, 1996, p. 221-239.

MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C.; SANTOS, J. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V.; SOUZA, I. M.; BARBOSA, C. C.; SOUZA, R. C. M.; CARVALHO, J. A. P. Técnicas de modelo de mistura espectral, segmentação e classificação de imagens tm/landsat para o mapeamento do desflorestamento da amazônia. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2807 - 2814.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 3.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005.

MUSTARD, J. F.; SUNSHINE, J. M. Spectral Analysis for Earth Science Investigation. In: RENCZ, A. N (Org.). Manual of remote sensing – Remote sensing for the earth science. 3.ed. Nova York: John Wiley and Sons, 1999, v.3, p.251-306.

NASCIMENTO, P. S. R.; ALMEIDA FILHO, R. Utilização da técnica de segmentação em imagens TM/Landsat visando otimizar a técnica de interpretação visual. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. Anais... Salvador: INPE, 1996. p. 215-218.

NEPSTAD, D.; UHL, C.; SERRAO, E. A. S. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: Forest recovery and agricultural restoration. *Ambio*, Lawrence- Kansas, v.20, n.6, p.248–255, sept. 1991.

NEPSTAD, D.; MOREIRA, A.; VERISSIMO, A.; NOBRE, C.; SETZER, A.; KRUG, T.; BARROS, A.C.; ALENCAR, A.; PEREIRA, J.R. Forest fire prediction and prevention in the Brazilian Amazon. *Conservation Biology*, Florida, v.12, n.5, p.951-953, oct. 1998.

NEPSTAD, D.; CARVALHO, C.; DAVIDSON, E.; JIPP, P.; LEFEBVRE, P.; NEGREIROS, P.; SILVA, E.; STONE, T.; TRUMBORE, S.; VIEIRA, S. The role of deep roots in the hidrological cycles of Amazonian forests and pastures. *Nature*, Londres, v. 372, p. 666-669, dec. 1994.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. 3.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

NUCCI, J. C. Origem e Desenvolvimento da Ecologia e da Ecologia da Paisagem. *Revista Eletrônica Geografar*, Curitiba, v. 2, n. 1, p.77-99. 2007.

ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 1988.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Amsterdam, n.57, p.241-262, aug. 2002.

RICHARDS, J. A. *Remote sensing digital image analysis an introduction*. 2.ed. Berlin: Springer-Veriag, 1993.

ROSA, R. Metodologia para zoneamento de bacias hidrográficas utilizando produtos de sensoriamento remoto e integrados por sistema de informação geográfica. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. Anais... Salvador: INPE, 1996. p. 363-368.

ROSS, J. L. S. *Geomorfologia: ambiente e planejamento*. 2.ed. São Paulo: Contexto, 1990.

SCHAEFER, C. E. R.; VALE JÚNIOR, J. F. Mudanças climáticas e evolução da paisagem em Roraima: uma resenha do Cretáceo ao Recente. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G (Org.). *Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima*. Manaus: INPA, 1997, p.231–265.

SCHIER, R. A. Trajetórias do conceito de paisagem na Geografia. *R. RA'E GA*, Curitiba, n. 7, p.79-85, 2003.

SILVA, E. L. S. A vegetação de Roraima. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. (Org.). *Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima*. Manaus: INPA. 1997. p.401-415.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, Amsterdam, v.57, p.251–259. 2004.

SOUSA, C. J. S. Carta de vulnerabilidade à erosão como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico em área intensamente antropizada. São José dos Campos, 1998. 172f. . Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

TANSLEY, A. G. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, England, v.16, n.3, p.284-307, july1935.

TAVARES, S. S. J. *Processamento de Imagens e Técnicas de Integração de Dados Digitais para o Estudo Litológico e dos Movimentos Tectônicos no Norte do Estado de Roraima – Brasil*. São José dos Campos, 2003. 223f. Tese de Doutorado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

TORRES, E. C. As transformações históricas e a dinâmica atual da paisagem nas microbacias dos ribeirões Santo Antônio – SP, São Francisco – PR e Três Barras – MS. São Paulo, 2003. 302f. Tese de Doutorado – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE SUPREN, 1977.

TROLL, C. A Paisagem Geográfica e sua Investigação. Espaço e Cultura, Rio de Janeiro, v.4, p.1-7, 1997.

TROPMAIR, H. Sistemas, Geossistemas, Geossistemas Paulistas, Ecologia da Paisagem. Rio Claro: UNESP, 2004.

VALE JÚNIOR, J. F. Pedogênese e Alterações dos Solos sob Manejo Itinerante, em áreas de Rochas Vulcânicas Ácidas e Básicas, no Nordeste de Roraima. Minas Gerais, 2000. 185f. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa.