



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE AMBIENTAL
DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO IGARAPÉ JURUTI GRANDE E RIO
ARUÃ – JURUTI - PARÁ**

Dissertação apresentada por:

NICOLA SAVERIO HOLANDA TANCREDI

**BELÉM
2007**



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO NA
ANÁLISE AMBIENTAL DAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS DO IGARAPÉ JURUTI GRANDE
E RIO ARUÃ-JURUTI-PARÁ**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

NICOLA SAVEIRO HOLANDA TANCREDI

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: **26 /03/ 2007**

Comitê de Dissertação:



MAURICIO DA SILVA BORGES (Orientador)



JAIRO ROBERTO JIMENEZ RUEDA



RUTH LÉA BEMERGUY

Belém

**APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE
AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO IGARAPÉ
JURUTI GRANDE E RIO ARUÃ – JURUTI – PARÁ**

NICOLA SAVERIO HOLANDA TANCREDI

BELÉM

2007

A Deus, meus familiares e amigos,
companheiros de todas as horas...

AGRADECIMENTOS

Bem, muitos foram os que direta e indiretamente colaboraram para a conclusão desta dissertação de mestrado. E a todos, sinceramente, demonstro meu carinho.

Aos órgãos que contribuíram para a elaboração deste trabalho meu agradecimento.

Aos meus familiares, pai, mãe, irmãos, tios e primos, que sempre me acolheram e me apoiaram nos meus objetivos.

Ao IBAMA que possui tantos profissionais excelentes na área de geoprocessamento, como os colegas de trabalho, Izabel, Graciete, Lucindo, Alfredo, Mourão, Serginho, Neide, Cláudio, Luiz Motta, Daniel, Rafael, entre outros.

Ao IBGE, na pessoa dos doutores Mário Ivan e Pedro Édson, pela colaboração nesta dissertação.

Ao amigo Flávio Altieri, o qual foi um dos responsáveis pela minha evolução na área das geotecnologias.

Aos colegas Francisco Ribeiro da Costa e Wilson de Oliveira, que sempre me deram valiosas sugestões.

Ao amigo Pedro Rolim da Agência de Desenvolvimento da Amazônia, com sua grande atenção.

Aos professores do CEFET, Andréa Fernandes, Andréa Valente e Jamer Costa, que sempre continuaram me orientando mesmo após o término do meu curso técnico em Geodésia e Cartográfica, neste Centro de tão precioso valor acadêmico.

Ao meu amigo de faculdade André Maia, que está fazendo mestrado no INPE, com quem eu sempre discuti sobre o meu trabalho.

Ao amigo Alberto Rogério Benedito da Silva, do IBRAM, que me forneceu total apoio para o desenvolvimento da dissertação, inclusive abrindo várias portas para que eu pudesse desenvolver meu trabalho.

Ao colega Paulo Pontes, da CPRM.

Aos colegas e amigos Ana Katuscia, João Almiro e Pedro Martorano que viabilizaram o meu treinamento no SIPAM, inclusive eles próprios ofereceram-me valiosíssima ajuda em parte importantíssima do meu trabalho.

Aos superintendentes do SIPAM, Dr. Lauri César de Andrade, Dr. Verner Riebold e Dr.^a Sandra Helena Morais Leite, que atenderam ao pedido de meu ofício para realização de trabalho junto a este órgão, bem como a cessão de dados cartográficos digitais.

Aos gerentes executivos do IBAMA em Marabá, Ademir Marins e Edivaldo Pereira da Silva, que acreditaram na possível conciliação entre trabalho e estudo.

À Fernanda Miranda, pelo apoio irrestrito nesta longa caminhada.

Aos colegas Tony Costa, Cláudia e João Daniel da Terra Meio Ambiente, sempre muito atenciosos, além de fornecerem materiais importantes que melhoraram a qualidade deste trabalho.

Aos funcionários da empresa ALCOA Brício Lima, Ana Cláudia e Charles Ferreira que acreditaram e apoiaram o meu trabalho, inclusive fornecendo muitos materiais e provendo a logística para os trabalhos de campo.

Ao Centro de Geociências e seu corpo docente, pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

Ao amigo e professor da UFPA/Marabá, Leonardo Felipe que tantas vezes me recebeu e sempre me indicou boas fontes bibliográficas.

Ao meu tio e professor Dr. Antonio Carlos Tancredi, que sempre me ajudou, mais uma vez obrigado por tudo.

Um agradecimento todo especial ao meu orientador prof. Maurício Borges que, mesmo sem me conhecer aceitou-me como orientando e juntos traçamos o caminho que me levou a finalização deste trabalho.

RESUMO

A área destas pesquisas localiza-se na região de Juruti, correspondendo as bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e do rio Aruã. Está inclusa no domínio do clima equatorial úmido com precipitação pluviométrica total anual média de 2.223 mm, apresentando floresta densa com grande número de espécies vegetais. A pedologia mostra essencialmente latossolos amarelos e nas planícies de inundação do rio Amazonas, solos hidromórficos. Esta região situa-se na Bacia Sedimentar do Amazonas estando na parte superior, um espesso pacote de rochas cretáceas, pouco consolidadas, da Formação Alter do Chão, sendo recoberta na rede de drenagem por depósitos aluviais, destacando-se a planície de inundação do rio Amazonas. A área das bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã apresentam bom estado de conservação. Contudo, desenvolve-se na área dos platôs dessas bacias o Projeto Juruti para exploração de bauxita, pela empresa Alcoa Inc., passando essa área por intensa especulação, com grande pressão sobre o meio ambiente, sendo necessário monitoramento periódico por parte dos órgãos competentes para manutenção do ecossistema equilibrado. Assim, o geoprocessamento desponta como uma alternativa eficiente, rápida e de baixo custo para este monitoramento ambiental, evidenciado pelos resultados apresentados nestas pesquisas. Disponibilizaram-se metodologias para gerenciar o capital natural da área de investigação, desenvolvendo-se sistemas de informação geográficas (SIG's), pois possuem papel vital na administração das informações espaciais do meio ambiente, facilitando a gestão por meio digital dos dados cartográficos e permitindo a elaboração de prognósticos e diagnósticos decorrente dos problemas ambientais, subsidiando o planejamento e a tomada de decisões. Desta maneira a aplicação de SIG's na área de investigação é de grande valia, uma vez que a região de Juruti passa e passará, por grandes transformações em vários aspectos ecológicos e sócio-econômicos, deixando de ser apenas mais uma região ribeirinha da Amazônia. Na construção do SIG para esta área, efetivou-se o armazenamento da geometria e dos atributos de dados georreferenciados, além de imagens de radar e de satélites, com datas de aquisição nos anos de 1972, 1986, 1997, 2000, 2001 e 2005. A abordagem multitemporal permitiu o acesso a informações sobre a evolução do uso da terra e as alterações qualitativas e quantitativas da cobertura vegetal natural, possibilitando análise dos biomas alterados entre os diferentes anos comparados, entendidos como fundamentais para

avaliações iniciais da ecologia da paisagem, sobretudo no que concerne aos seus *landcovers*. O procedimento computacional possibilitou a uma avaliação inicial de parâmetros métricos (sobretudo os relacionados a diversidade paisagística) de forma automática, além da geração de mapas temáticos digitais. O desenvolvimento e aplicação destas metodologias tecnológicas (geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados a imagens de radar e de satélites), na região de Juruti, possibilitaram a geração de diversos produtos representativos, como os mapas multitemporais de uso e ocupação do solo, de altimetria, correlação de declividade com o relevo, lineamentos de drenagens, dentre outros. Os mapas temáticos de classificação e uso do solo apresentaram a evolução dos *landcovers* nos quatro anos utilizados como referência. A aplicação do índice de *kappa* para avaliação da qualidade do mapeamento temático apontou um resultado de 0,72, indicando que a classificação foi *muito boa*. Os mapas temáticos e os respectivos gráficos comparativos mostraram que a área de floresta apresentava 91,8% do total da área no ano de 1986; 87,22% em 1997; 85,57% em 2001 e 74,92% em 2005. As áreas antropizadas e de capoeira, aumentaram proporcionalmente à diminuição das áreas de florestas. O mapa de correlação de declividade com o relevo apresentou o predomínio de áreas com baixa declividade, em especial as áreas com relevo de várzea e planas a suave onduladas. As regiões que apresentaram relevo ondulado a forte ondulado concentraram-se, principalmente, na parte central das bacias hidrográficas. As interpretações geométricas e cinemáticas das principais estruturas neotectônicas existentes na área de trabalho com análise da rede de drenagem detalhada, consideraram apenas os segmentos retos, assumindo que os mesmos representariam lineações de drenagem. Neste sentido, detectaram-se as direções: NE-SW, bem marcada e caracterizando feixes extensos, marcados por conjuntos de lineações isoladas e por alinhamentos, concentrando-se sobretudo na porção SE da região investigada, NNE-SSW concentrada na porção NW da área, particularmente próximo ao rio Amazonas.

Palavras-chave: geoprocessamento, bacias hidrográficas, Juruti, mapas temáticos.

ABSTRACT

The study area is located in the region of Juruti, enclosing the river Juruti Grande and Aruã watershed, with 4,560 km². The region within equatorial humid climate has a mean annual precipitation of 2,223 mm, showing dense forest with great number of vegetal species. The pedology shows essentially yellows latossolos and in the Amazon river flooding plains, hydromorphic soils. This region is placed in Amazon Sedimentary Basin within superior part, a thick package of Cretaceous rocks, poor consolidated, of the Alter do Chão Formation, being recovered by Quaternary aluvial deposits, distinguished that of the Amazon river floodplain. The Juruti Grande and Aruã's watershed present good conservation condition. However, the Juruti Project for exploitation of bauxite is developed in the plateaus of these basins, by Alcoa Inc., passing this area for intense speculation, with great pressure on the environment, being necessary periodic monitoring by competent agencies for maintenance of the balanced ecosystem. Thus, the geoprocessing blunts as an efficient, fast alternative and low cost for this environmental monitoring, evidenced in these research. It were made use of methodologies to manage the natural capital of the inquiry area, developing geographic information systems (GIS), therefore has vital paper in the administration of the space information of the environment, easing the management by digital way of cartographic data and allowing them elaboration of prognostics and diagnostics of environmental problems, underlying the planning and the decision makes. In this way the application of GIS in the inquiry area have great value, once the region of Juruti passes and will pass, for great transformations in ecological and social-economic aspects, letting only more, a marginal region from Amazonia. In the GIS's building for this area, accomplished the storage of the geometry and the attributes of georeferencing data, radar and satellites images, acquiring in the years of 1972, 1986, 1997, 2000, 2001 and 2005. The multitemporal boarding allowed access information of qualitative and quantitative evolution of the land use and alterations of the natural vegetal covering, making possible, modified analysis of biomas among the different compared years, understood as basic for initial evaluations of the ecology of the landscape, overall with respect to its land covers. The computational procedure made possible an initial evaluation of metric parameters (overall related the paisagistic diversity) of automatic manner, beyond the generation of digital thematic maps. The development and application of these

technological methodologies (geoprocessing and remote sensing applied at images of radar and satellites), in the Juruti region, made possible the generation of diverse representative products, as the multitemporal land use maps, declivity correlation with the relief, drainage trends, and others. The thematic and land use classification maps of the area had presented the evolution of landcovers in the four years used as reference. The application of the kappa's index for the quality of the thematic mapping evaluation pointed a result of 0,72, indicating a very good classification. The thematic maps and the respective comparative graphs had shown that the forest area presented 91.8% of the area in the year of 1986; 87.22% in 1997; 85.57% in 2001 and 74,92% in 2005. The antropics and secondary forests areas, had increased proportionally to the reduction of the area of forests. The correlation map of declivity within relief presented predominance of areas with low declivity, specially the fertile swamp areas and that almost plain reliefs. The regions that had presented ondulate to strong reliefs are mainly, in the central part of the watershed. The interpretation of main neotectonic structures with detailed drainage network analysis considered the straight line trends as drainage trends. It was detected NE-SW directions well narrow characterizing long belts in SE part of the area. Near Amazon river it has NNE-SSW belts.

Key words: geoprocessing, watershed, Juruti, thematic maps.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1.1 – Localização das bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã.....	17
Figura 2.1 – Mapa de localização do Município de Juruti.....	20
Figura 2.2 – Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica, anual.....	25
Figura 2.3 – Distribuição média mensal da temperatura, anual.....	25
Figura 2.4 – Distribuição média mensal da umidade relativa, anual.....	26
Figura 2.5 – Distribuição média mensal da pressão atmosférica, anual.....	26
Figura 2.6 – Distribuição média mensal da evaporação, anual.....	26
Figura 2.7 – Distribuição média mensal da insolação, anual.....	27
Figura 2.8 – Extrato do balanço hídrico mensal com o excesso e a deficiência de água.....	29
Figura 2.9 – Mapa de vegetação das bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã (SIPAM, 2000)	30
Figura 2.10 – Mapa de drenagem das bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã (SIPAM/IBGE 2000).....	32
Figura 2.11 – Mapa pedológico das bacias do igarapé Juruti Grande e do rio Aruã (SIPAM, 2000).....	33
Figura 2.12 – Mapa de Unidades Geológicas (SIPAM, 2000).....	35
Figura 2.13 – Escarpa na margem direita do rio Amazonas sustentada por arenito grosso da Formação Alter do Chão (CNEC, 2004).....	39
Figura 2.14 – Delgada camada de argilito acizentado intercalada em arenito grosso avermelhado,..... com camada mais espessa de argilito siltoso rosado visível na base da seqüência (CNEC, 2004).....	39
Figura 3.1 – Espectro Eletromagnético (WIKIPEDIA, 2006).....	43
Figura 3.2 – Fluxograma de sistemas de informação geográficas. (ASSAD et. al, 1998).....	56
Figura 3.3 – Representação dos Planos de Informação (TMACKINNON, 2005).....	57
Figura 3.4 – Propriedades da Drenagem. Principais propriedades que devem ser analisadas nos padrões de drenagem, objetivando identificar parâmetros físicos do terreno (adaptado de LIMA, 2000).....	63
Figura 4.1 – Composição de bandas.....	65
Figura 4.2 – Caixa de diálogos dos parâmetros de classificação isodata.....	67
Figura 4.3 – Passos para habilitar o aplicativo <i>ClassEdit</i>	68
Figura 4.4 – Tela de Apresentação do <i>ClassEdit</i>	69
Figura 4.5 – Janela de Modo de Exibição de Classes.....	71
Figura 4.6 – Conversão de raster para vetor.....	73
Figura 4.7 – Janela “ <i>Raster to Vector Input Band</i> ”.....	73
Figura 4.8 – Procedimento para cálculo de áreas no programa <i>ArcGis 9.0</i>	74
Figura 5.1 – Mapa elaborado com as bases cartográficas oficiais disponíveis (SIPAM/IBGE, 2000).....	77
Figura 5.2 – Mapa de drenagem e estradas detalhado da área de estudo.....	78
Figura 5.3 – Mapa altimétrico extraído do modelo digital de elevação (SIPAM/IBGE, 2000).....	79
Figura 5.4 – Lineamentos de drenagem da área de estudo.....	80
Figura 5.5 – Interpretação geométrica e cinemática das principais estruturas neotectônicas existentes na área de trabalho.....	82
Figura 5.6 – Imagem de radar SRTM das bacias hidrográficas com os perfis.....	83
Figura 5.7 – Perfil AB.....	83
Figura 5.8 – Perfil CD.....	84
Figura 5.9 – Perfil EF.....	85
Figura 5.10 – Mapa de declividade: correlação entre classes de declividade (%) e relevo.....	87
Figura 5.11 – Mapa de uso e ocupação do solo em 05.08.1986.....	88
Figura 5.12 – Mapa de uso e ocupação do solo em 18.07.1997.....	89
Figura 5.13 – Mapa de uso e ocupação do solo em 06.08.2001.....	90
Figura 5.14 – Mapa de uso e ocupação do solo em 10.09.2005.....	91
Figura 5.15 – Porcentagens comparativas para cada classe de uso do solo (1986).....	92

Figura 5.16 – Porcentagens comparativas para cada classe de uso do solo (1997)	92
Figura 5.17 – Porcentagens comparativas para cada classe de uso do solo (2001)	93
Figura 5.18 – Porcentagens comparativas para cada classe de uso do solo (2005)	93
Figura 5.19 – Pontos vistoriados durante o trabalho de campo realizado em setembro/2006	94

TABELAS

Tabela 2.1 – Parâmetros climáticos médios mensais e anual da estação meteorológica de Parintins no período de 1961 a 1990.....	24
Tabela 2.2 – Balanço hídrico segundo Thornthwaite (reserva hídrica de 150 mm).....	28
Tabela 3.1 – Características do relevo da área de estudo	37
Tabela 3.1 – Exemplos de análise espacial.....	42
Tabela 3.2 – Região do espectro x comprimento de onda.....	44
Tabela 3.3 – Valores de kappa x Qualidade do mapa temático	49
Tabela 3.4 – Características dos satélites da série Landsat.....	50
Tabela 3.5 – Características dos sistemas sensores do LANDSAT.....	50
Tabela 3.6 – Técnicas de Aquisição de dados neotectônicos locais e regionais.....	59
Tabela 4.1 – Bases cartográficas e produtos de sensoriamento remoto utilizados	76
Tabela 5.1 – Matriz de erro para a classificação da imagem <i>Landsat</i> 228/062, de 10 de setembro de 2005.....	95

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 LOCALIZAÇÃO	17
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Gerais	18
1.2.2 Específicos	19
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
2.1 MUNICÍPIO DE JURUTI.....	20
2.1.1 Aspectos Históricos	21
2.1.2 Sócio-economia	22
2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS DO IGARAPÉ JURUTI GRANDE E RIO ARUÃ... 23	
2.2.1 Condições Climáticas	24
2.2.2 Vegetação	29
2.2.3 Hidrologia.....	31
2.2.4 Solos	32
2.2.5 Geologia	33
2.2.6 Geomorfologia.....	35
2.2.6.1 Relevo.....	36
2.2.7 Geologia Local	38
2.2.8 Hidrogeologia	40
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	41
3.1 BACIA HIDROGRÁFICA	41
3.2 GEOPROCESSAMENTO.....	41
3.2.1 Análise de Dados Espaciais	42
3.3 SENSORIAMENTO REMOTO	42
3.3.1 Radiação Eletromagnética e Comportamento Espectral dos Alvos	43
3.3.2 Características das Imagens.....	44
3.3.2.1 Resolução Espacial	45
3.3.2.2 Resolução Espectral.....	45
3.3.2.3 Resolução Radiométrica	45
3.3.2.4 Resolução Temporal	45
3.3.2.5 Largura da Faixa Imageada	46
3.3.3 Processamento Digital de Imagens.....	46
3.3.3.1 Correção Geométrica.....	46
3.3.3.2 Classificação	47
3.3.3.3 Índice de Kappa	48
3.4 SISTEMA LANDSAT	49
3.5 SISTEMA SRTM.....	51
3.6 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG.....	52
3.6.1 Espaço geográfico e informação espacial.....	53
3.6.2 Relações espaciais entre fenômenos geográficos	54
3.6.3 Estrutura Geral de um SIG	55
3.6.4 Organização de Ambiente de Trabalho em SIG.....	56

3.7 NEOTECTÔNICA	58
3.7.1 Geomorfologia Tectônica.....	59
3.7.1.1 Aspectos Tectônicos do Relevo.....	60
3.7.1.2 Aspectos Tectônicos da Rede de Drenagem.....	60
4 MATERIAIS E MÉTODOS	64
4.1 EQUIPAMENTOS E PROGRAMAS UTILIZADOS	75
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	77
6 CONCLUSÕES.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
ANEXOS.....	103
ANEXO A (REGISTROS FOTOGRÁFICOS)	104

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e utilização de metodologias adequadas à análise ambiental tem sido alvo de inúmeros estudos e pesquisas, com destaque para a aplicação das geotecnologias, num estágio avançado de desenvolvimento, permitindo grande acessibilidade de recursos tecnológicos a custos relativamente baixos.

A disseminação da importância da preservação ambiental, sobretudo na Amazônia, decorrente de preocupações com a qualidade de vida no mundo, e a necessidade de preservação do ar, da água e do solo, assim como da floresta e da biodiversidade, permitiram o avanço dos últimos anos das geotecnologias. Sua importância na construção do desenvolvimento sustentável é inquestionável, conforme foi enfatizado no documento elaborado (Agenda 21) durante a Conferência das Nações Unidas para o desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) têm um papel importante na manipulação das informações espaciais do meio ambiente, por facilitarem o gerenciamento, por meio digital das informações cartográficas, e permitirem a elaboração de diagnósticos e prognósticos decorrentes de problemas ambientais, subsidiando grandemente a tomada de decisões. Já o Sensoriamento Remoto (SR), devido à rapidez e a periodicidade na captação de informações sobre a superfície terrestre, constitui-se em uma das formas mais eficazes de monitoramento ambiental, em escalas local e regional.

O Conselho Nacional dos Recursos Hídricos, segundo a resolução n.º 30, de 11 de dezembro de 2002, considera que a necessidade de sistematização e compartilhamento de informações preconizadas na lei n.º 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (Política Nacional dos Recursos Hídricos), requer o referenciamento da base de dados por bacias hidrográficas, sendo estas consideradas as unidades básicas do gerenciamento de recursos hídricos.

Assim, neste trabalho são aplicadas técnicas de geoprocessamento, ou seja, cartografia digital, simulação numérica de terreno (MNT) e técnicas de processamento digital de imagens de sensores remotos (PDI), com a integração em ambiente de sistema de informação geográfica (SIG) para o tratamento de dados geoambientais e para a produção de informações cartográficas sobre o meio físico e a dinâmica de uso do solo na região das

bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã, município de Juruti, porção oeste do estado do Pará, onde se encontra instalado o Projeto Juruti para exploração de bauxita, sob responsabilidade da empresa de mineração Alcoa Inc.

A Alcoa Inc. (ALCOA), através da empresa por ela controlada, a OMNIA Minérios (OMNIA), sediada em Santarém, no estado do Pará, deu início, em 2001, aos trabalhos de pesquisa mineral para avaliar o potencial de jazidas de bauxita na região localizada no município de Juruti (PA). A pesquisa mineral vem sendo desenvolvida pela SENIOR Engenharia, empresa contratada pela ALCOA, para a realização dos trabalhos e opera em uma área de aproximadamente 50.000 hectares, correspondente, em parte, aos platôs Capiiranga, Mauari e Guaraná.

Os direitos de exploração minerária na região de Juruti pertenciam a empresas que até 1999 eram controladas pela *Reynolds Metals Company* (RMC) que, tais, como a OMNIA, foram adquiridas pela ALCOA. As pesquisas iniciais na área foram feitas pelas empresas controladas da RMC nas décadas de 70/80. Mais recentemente, com a aquisição da RMC pela ALCOA, foram retomados os trabalhos de qualificação de reservas ora em andamento. Para o desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa mineral foi implantado às margens do igarapé Juruti Grande, um acampamento com infra-estrutura básica, composto de: pousada, casa dos técnicos, almoxarifado, ambulatório médico, casa de força, alojamento de funcionários, lavanderia, oficina, entre outros. Essa infra-estrutura serve de suporte ao trabalho de cerca de 200 pessoas contratadas pela SENIOR, sendo a grande maioria recrutada na própria região, nas comunidades locais. Outra fase de trabalho compreendeu a etapa de pesquisa mineral, que visou medir o volume e qualidade das reservas e sua viabilidade de aproveitamento, frente aos custos associados de exploração. Esses trabalhos se concentraram na execução de furos de pesquisa, executados com trados mecânicos, sendo necessários para isso a limpeza e reabertura de algumas estradas antigas, anteriormente utilizadas por madeireiros, além de picadas para o acesso ao local dos furos.

O município de Juruti apresenta todas as características de uma cidade ribeirinha da Amazônia, que, no entanto, está sofrendo profundas modificações, em função de sua transformação para pólo exportador de bauxita. Contudo, é bem verdade que a ALCOA possui como uma das suas preocupações básicas o estabelecimento de uma relação

harmônica entre o crescimento econômico e a gestão dos recursos naturais utilizando de procedimentos de administração ambiental.

1.1 LOCALIZAÇÃO

A Figura 1.1 apresenta a localização das bacias em mapa temático, com algumas áreas requeridas para pesquisa de bauxita pela OMNIA Minérios junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), onde está instalado o Projeto Juruti.

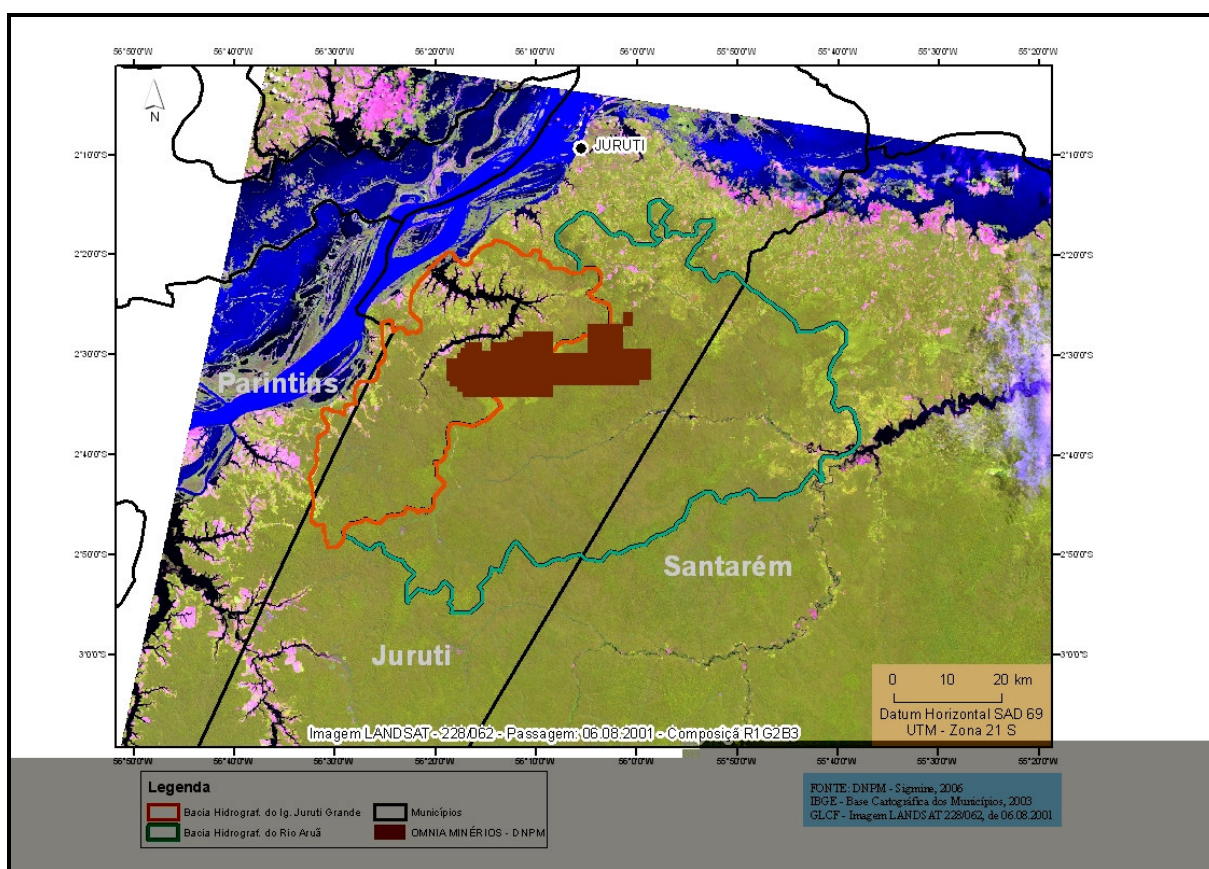


Figura 1.1 – Localização das bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã

As áreas dos platôs onde serão desenvolvidas as atividades de extração do minério, que é justamente o divisor das duas bacias hidrográficas, têm parte de sua

drenagem natural dirigida para o igarapé Juruti Grande e uma parcela de sua superfície afluindo para os cursos d'água formadores do rio Aruã.

Através de estudos de métrica utilizando-se do programa ArcGIS 9.0 identificou-se que cerca de 36,5% da bacia hidrográfica do rio Aruã localiza-se no município de Santarém, enquanto que uma pequena parte da bacia hidrográfica do igarapé Juruti Grande está dentro do município de Parintins (4,5%), no estado do Amazonas.

O restante, cerca de 95,5% da bacia do igarapé Juruti Grande e 63,5% da bacia do rio Aruã, está localizado dentro do território de Juruti. Ressalta-se que ambas as bacias hidrográficas estão situadas ao sul da sede de Juruti, que está na margem direita do rio Amazonas.

1.2 OBJETIVOS

São objetivos deste trabalho:

1.2.1 Gerais

Elaborar uma base de dados cartográficos e digitais em um ambiente de sistema de informação geográfica (SIG), das bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã, abrangendo grande parte da área do município de Juruti, parte do município de Santarém e uma pequena porção do território de Parintins.

Outro objetivo geral é o de implantar a utilização do *software ENVI 4.0*, no Laboratório de Computação Aplicada a Geociências (COMAP-DGL-CG-UFGA), para fins de fortalecimento da pesquisa deste laboratório, no que concerne as atividades de processamento digital de imagens (PDI).

1.2.2 Específicos

Organizar e compilar informações espaciais disponíveis (geologia, geomorfologia, pedologia, hidrografia, topografia, vegetação), construindo um banco de dados georreferenciados, utilizando os *softwares ArcGIS 9.0* (produzido pela *ESRI – Environmental System Research Institute*) e *ENVI 4.0 (Environmental for Visualizing Images)*;

Aplicar diferentes técnicas de processamento digital de imagens, em dados do satélite *LANDSAT*, para obtenção de informações sobre o uso do solo e cobertura vegetal;

Produzir carta atualizada de uso do solo para as bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã;

Efetuar análise multitemporal, comparando imagens de diferentes períodos e avaliando as mudanças ocorridas no uso do solo através de imagens *LANDSAT* com passagens nas datas: 05.08.1986, 06.08.1997, 18.07.2001 e 10.09.2005;

Elaborar um sistema de informação geográfica para a área, com a utilização dos dados disponíveis;

Gerar produtos que possam vir a ser aproveitados por organismos governamentais ou iniciativa privada;

Desenvolver todas as atividades de PDI no âmbito do COMAP-DGL-CG-UFGA, para fins de treinamento e interação com o conjunto de pesquisadores lá existentes a exemplo de professores, técnicos, estagiários e bolsistas (Doutorado, Mestrado e Iniciação Científica).

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 MUNICÍPIO DE JURUTI

O município de Juruti limita-se com os municípios de Oriximiná, Óbidos, Santarém, Terra Santa e Aveiro (estado do Pará) e com Nhamundá e Parintins (estado do Amazonas), conforme Figura 2.1 abaixo.

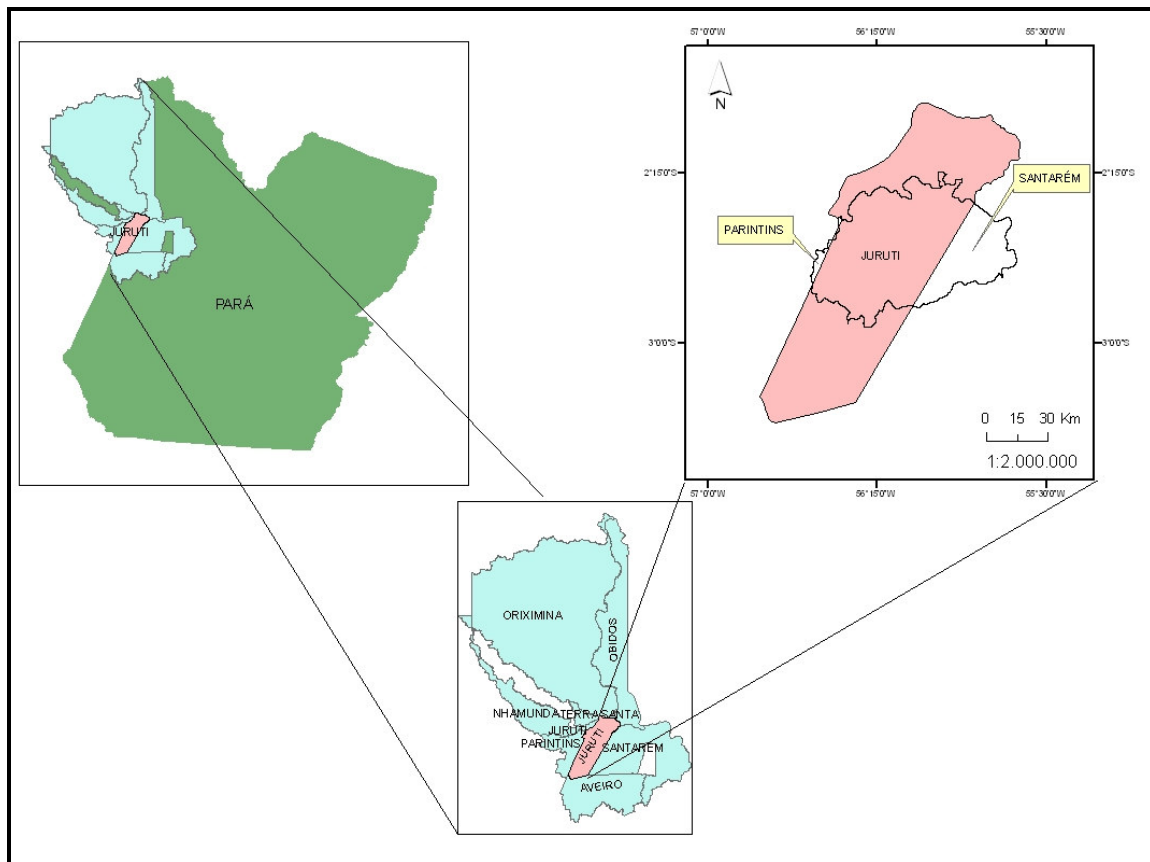


Figura 2.1 – Mapa de localização do Município de Juruti.

Juruti localiza-se na zona fisiográfica do oeste do Pará, à margem direita do rio Amazonas, em frente à ilha Maracá-Açú. A sede municipal encontra-se nas coordenadas: 02°09'07" S e 56°03'59" W, com altitude de cerca de 40 metros acima do nível do mar. Sua área territorial possui 8.300 km².

Segundo informações estatísticas (IBGE, 2000), Juruti possui uma população de 31.198 habitantes, dos quais 20.418 (65,4%) residem em áreas rurais, contra 10.780 (34,6%) residentes na sede municipal. O município possui um distrito único: a sede. No interior, área rural, a população se organiza em cerca de 250 comunidades no total.

Juruti é uma cidade típica da região Amazônica, tendo o rio como a principal porta de entrada para a sua sede; nas principais vias de acesso ao ancoradouro é marcante a presença de armazéns, depósitos e outras atividades comerciais. As ruas da cidade foram se implantando paralelamente a margem do rio, sendo cortadas por outras perpendiculares, dando à cidade um padrão formado por quadriculas que em sua maioria possuem dimensões de 100x100 metros (CNEC, 2004).

2.1.1 Aspectos Históricos¹

Juruti foi uma aldeia de índios Mundurucu fundada, segundo Ferreira Pena, em 1818 e sujeita à direção de um missionário com poderes paroquiais. Possuiu uma pequena igreja construída pelos índios, em tudo dependente do auxílio da fazenda Pública do Pará. Teve a categoria de freguesia sob a invocação de Nossa Senhora da Saúde, dada pelo Governo Provincial do Pará, que, em execução à lei geral do Império, de 29 de novembro de 1832, que promulgou o Código de Processo Criminal, a considerou como fazendo parte do Termo de Faro, nas sessões do Conselho do Governo da Província do Pará, de 10 a 17 de maio de 1833, quando foi feita a divisão da Província em termos e comarcas.

Com a criação das três comarcas do Grão-Pará, Baixo Amazonas e Alto Amazonas, na sessão de 10 a 17 de maio de 1833 daquele Conselho, ficou definitivamente estabelecido o limite ocidental da freguesia de Nossa Senhora da Saúde de Juruti na serra de Parintins, limite que é o reconhecido, por efeito de jurisdição, até o presente, com os estados do Pará e Amazonas.

Em 1852, com a Portaria do Governo Provincial do Pará, foi criada a subdelegacia de Juruti, constituída com a freguesia de Nossa Senhora da Saúde.

¹ Coleção História dos Municípios do Pará – Fascículo 16, Jornal – A Província do Pará *in* Prefeitura Municipal de Juruti. *Aspectos Históricos*. Juruti, 2001.

Em 1859, a Lei Provincial do Pará n.º 339, de 3 de dezembro, transferiu a sede da freguesia de Juruti para a margem do rio Amazonas e marcou o novo outeiro de Maracá-Açú como seu limite com o de Óbidos.

Com a Lei Provincial do Pará n.º 930, de 15 de julho de 1879, Juruti passou a ser ponto de escala de navegação a vapor, subvencionada pela Província do Pará, navegação que estendeu-se posteriormente até Santa Júlia.

De acordo com o Decreto n.º 410, de 8 de outubro de 1891, e com a Lei n.º 82, de 15 de setembro de 1892, foi procedido em todo o município o registro de posse de terras.

A Lei Estadual n.º 687, de 23 de março de 1900, deu melhoras a Juruti Velho, dando-lhe a denominação de Muirapinima.

Em 1920, o município de Juruti aparece formado por somente o distrito-sede. Sofreu, porém, em face do Decreto Estadual n.º 6, de 4 de novembro de 1930, nova supressão, ficando-lhe o território sob a administração direta do Estado. Tais disposições, confirmou-as o Decreto Estadual n.º 78, de 27 de dezembro de 1930. Já a Lei n.º 8, de 31 de outubro de 1935, ao relacionar os municípios do Pará, inclui, entre eles, o de Juruti, que nessa categoria, figura nos quadros da divisa territorial, de 31 de dezembro de 1936 e 31 de dezembro de 1937, subdivido em 2 distritos: Juruti e Lago Grande da Vila Franca.

2.1.2 Sócio-economia

A população residente no município é bastante carente, especialmente os moradores da área rural, que apresentam características sócio-culturais muito singulares, denominadas de “populações tradicionais” ou “populações ribeirinhas”, cujo modo de vida é bastante influenciado pela realidade e diversidade ecológica da região amazônica. Existem grandes carências sociais traduzidas nas dificuldades de atendimento nas áreas de saúde, educação e saneamento.

Ressalta-se que mais de 60,0% das pessoas responsáveis pelos domicílios recebem apenas 1 salário mínimo mensal e 11% delas declararam não ter qualquer tipo de rendimento, segundo dados do IBGE, em 2000. O rendimento médio mensal per capita é de apenas 1,06 salários mínimos.

Trata-se de uma população com escolaridade bastante baixa onde o percentual de pessoas acima de 15 anos analfabetas é de 15,0% e que estudam de 1 a 3 anos, isto é, não completando os estudos, é de mais de 45,0% da população. O percentual de pessoas com mais de 8 anos de estudo não chega a 9,0% da população. Os que alegaram não terem instrução ou apenas com menos de 1 ano gira em torno de 20%. E, finalmente entre 4 e 7 anos de estudo o percentual da população corresponde a cerca de 25% (CNEC, 2004).

O município de Juruti apresenta um quadro social bastante precário onde as desigualdades sociais estão muito presentes, apresentando no ano 2000, 0,63 de IDH (Índice de Desenvolvimento Humano), que é um indicador que sintetiza aspectos econômicos e sociais, especialmente renda, educação e saúde (CNEC, 2004).

A economia do município baseia-se na produção familiar, no agroextrativismo, na pecuária e no comércio.

Segundo dados estatísticos (IBGE, 2003²), há um rebanho de cerca de 50.000 cabeças de gado bovino, 22.000 cabeças de búfalos e um efetivo de cerca de 15.000 suínos no município de Juruti, sendo estes os rebanhos mais expressivos da pecuária.

Em relação às atividades de lavoura permanente, destaca-se a cultura da banana com produção média de 195 toneladas, café (em grão) com 18 toneladas produzidas, 356 toneladas de laranjas, dentre outros. Quanto a lavoura temporária, tem-se produção média de 150 mil frutos de abacaxi, 150 mil toneladas de mandioca, 480 toneladas de cana-de-açúcar, 300 toneladas de milho, 92 toneladas de feijão (em grão), 60 toneladas de tomate, 200 toneladas de juta (fibra), etc. (IBGE, 2003³).

2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS DO IGARAPÉ JURUTI GRANDE E RIO ARUÃ

A bacia hidrográfica do igarapé Juruti Grande possui área de cerca de 1.393 km², e a do rio Aruã possui 3.170 km².

² IBGE, Produção Pecuária Municipal, 2003a.

³ IBGE, Produção Agrícola Municipal, 2003b.

2.2.1 Condições Climáticas

A região de Juruti está localizada no domínio de clima equatorial úmido do tipo *Am*, segundo a classificação de Köppen (SUDAM, 1984).

De acordo com informações levantadas pelo EIA/RIMA do Projeto Juruti (CNEC, 2004), há o predomínio do clima equatorial continental megatérmico úmido da Amazônia Central, que tem como uma de suas características a associação do calor elevado (temperaturas médias anuais entre 26 e 28°C), umidade alta (valores médios anuais entre 80 e 85%).

A ALCOA instalou e está operando, na área do Projeto Juruti, uma estação meteorológica. Devido ao pouco tempo de dados disponíveis, na Tabela 2.1, apresenta-se os dados climáticos médios da estação meteorológica de Parintins, representativa da área, no período de 1961 a 1990 (DNMET, 1992). Os parâmetros climáticos são valores médios mensais para a temperatura, a umidade relativa e a pressão atmosférica; e total anual médio para a precipitação pluviométrica, evaporação e a insolação.

Tabela 2.1 – Parâmetros climáticos médios mensais e anual da estação meteorológica de Parintins no período de 1961 a 1990.

Mês	Temperatura do ar (°C)	Umidade rel. do ar (%)	Pressão atm. (hPa)	Insolação	Precipitação pluviométrica	Evaporação
				(horas e décimos)	(mm)	(mm)
Jan.	26,7	85	1007,8	145,4	205,8	67
Fev.	26,3	87	1008,5	110,8	318,3	55
Mar.	26,6	86	1008,5	121,9	311,3	61
Abr.	26,7	87	1008,5	137	296,4	52,7
Mai.	26,7	89	1009	163,5	250	52,2
Jun.	26,8	87	1010,1	195,6	188,6	55,4
Jul.	26,8	85	1010,5	227,5	139,4	70,4
Ago.	27,6	82	1009,7	255,8	77,1	85,4
Set.	28,2	79	1008,9	253,8	64,8	109
Out.	28,4	77	1008,2	248,3	79,6	110,8
Nov.	28,2	76	1007,5	196,7	96	108,9
Dez.	27,3	82	1007,9	169,1	195,9	86,3
Média Anual	27,1	84	1008,7			
Total Anual				2225,4	2223	914,1

As Figuras 2.2 a 2.7 apresentam em gráficos os valores médios mensais e sua variação anual para a precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, evaporação e a insolação, respectivamente.

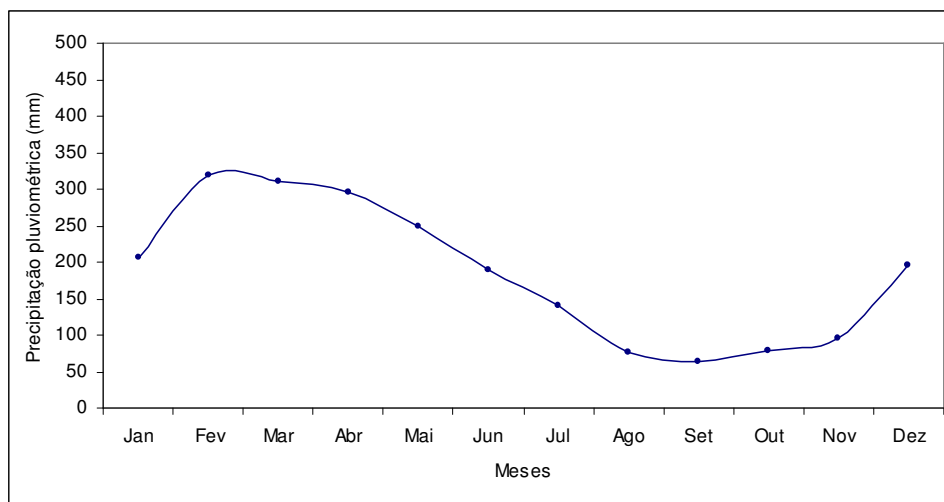


Figura 2.2 – Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica, anual.

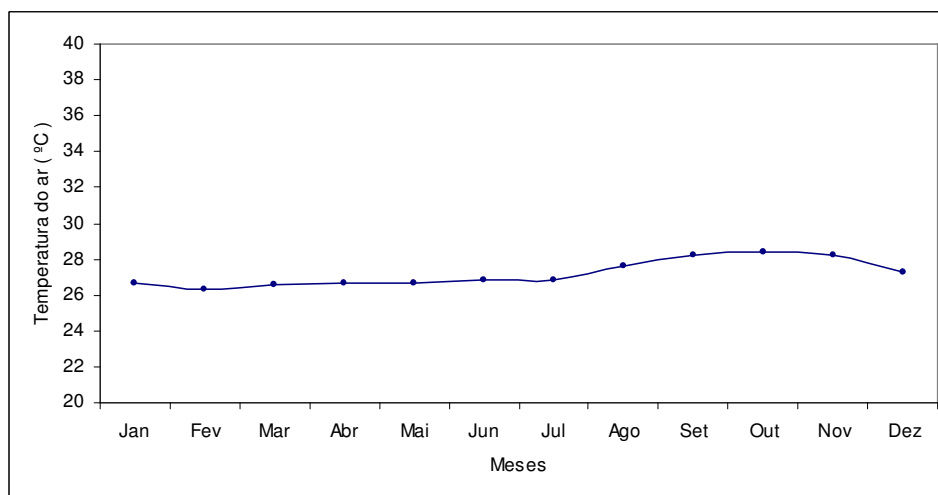


Figura 2.3 – Distribuição média mensal da temperatura, anual.

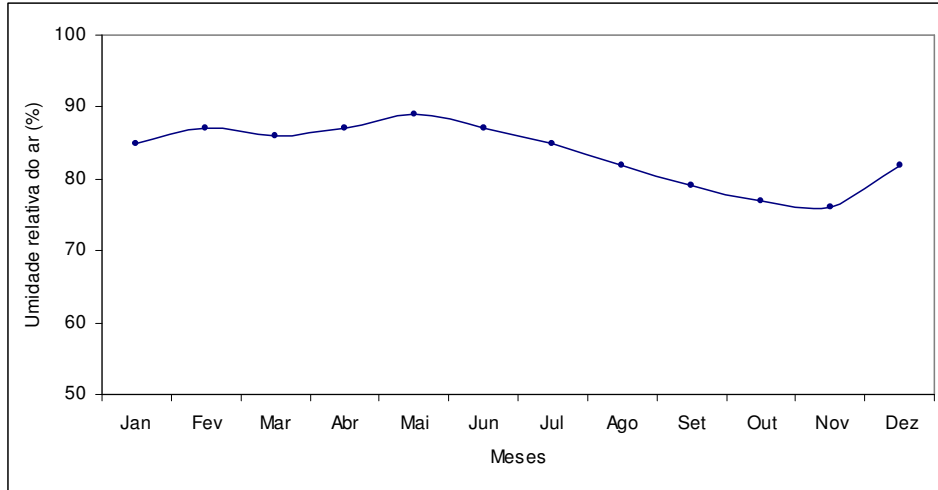


Figura 2.4 – Distribuição média mensal da umidade relativa, anual.

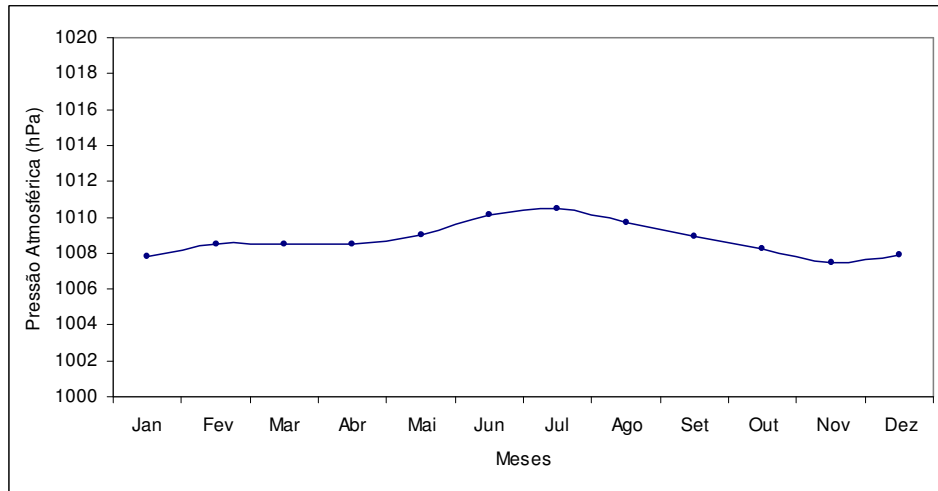


Figura 2.5 – Distribuição média mensal da pressão atmosférica, anual.

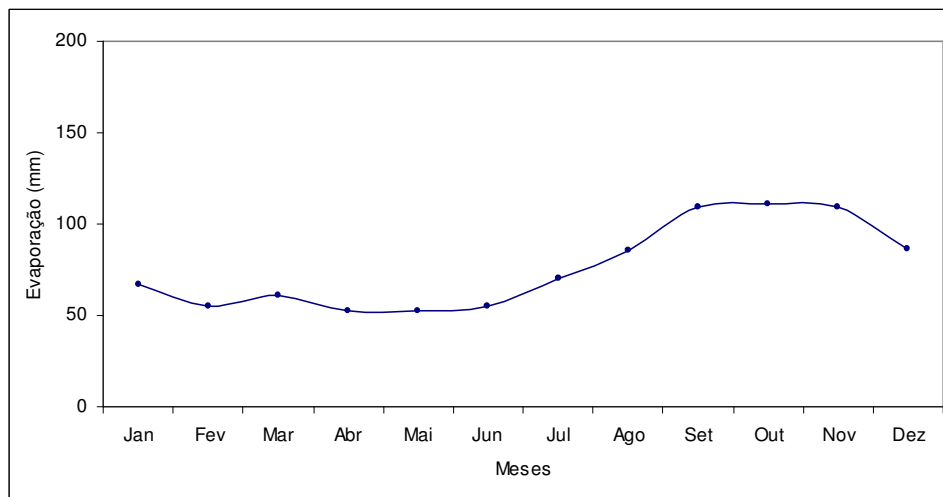


Figura 2.6 – Distribuição média mensal da evaporação, anual.

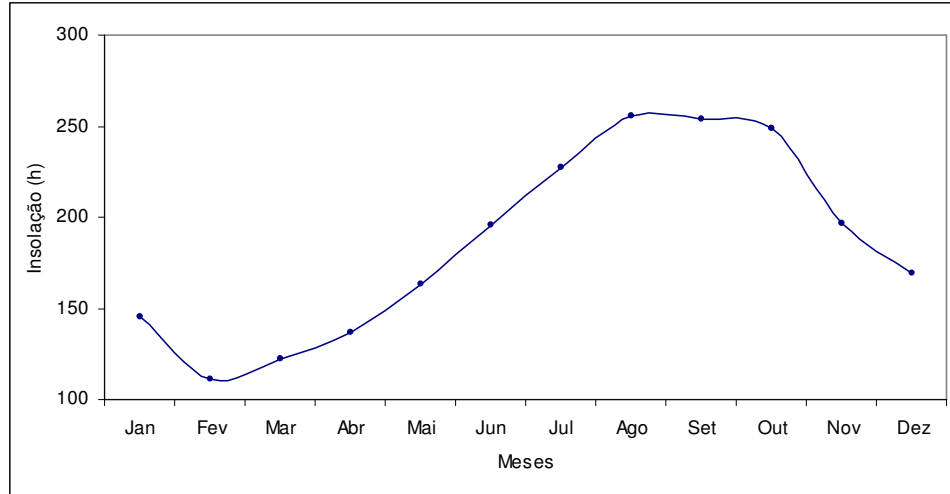


Figura 2.7 – Distribuição média mensal da insolação, anual.

O período chuvoso mais intenso concentra-se nos meses de janeiro a maio e o período mais seco de agosto a novembro.

As características climáticas médias anuais apresentam os seguintes valores:

- **Temperatura: 27,1 °C;**
- **Precipitação pluviométrica total: 2.223,2 mm;**
- **Evaporação total: 914,1 mm;**
- **Umidade relativa do ar: 84,0 %;**
- **Insolação total: 2.225,4 h;**
- **Pressão atmosférica: 1.008,7 hPa.**

A Tabela 2.2 apresenta o balanço hídrico obtido pelo método de Thornthwaite (THORNTHWAITE; MATHER, 1955), considerando a reserva hídrica (RH) no solo de 150 mm, com os dados médios da estação de Parintins, no período de 1961 a 1990 (DNMET, 1992).

Tabela 2.2 – Balanço hídrico segundo Thornthwaite
(reserva hídrica de 150 mm).

Meses	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	P – ETP (mm)	NEG-AC	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan.	26,7	205,8	138,06	67,74	-32,03	121,16	67,74	138,06	0,00	0,00
Fev.	26,3	318,3	120,97	197,33	0,00	150,00	28,84	120,97	0,00	168,49
Mar.	26,6	311,3	139,44	171,86	0,00	150,00	0,00	139,44	0,00	171,86
Abr.	26,7	296,4	136,11	160,29	0,00	150,00	0,00	136,11	0,00	160,29
Mai.	26,7	250	139,83	110,17	0,00	150,00	0,00	139,83	0,00	110,17
Jun.	26,8	188,6	136,78	51,82	0,00	150,00	0,00	136,78	0,00	51,82
Jul.	26,8	139,4	141,22	-1,82	-1,82	148,19	-1,81	141,21	0,01	0,00
Ago.	27,6	77,1	159,24	-82,14	-83,97	85,70	-62,49	139,59	19,66	0,00
Set.	28,2	64,8	168,80	-104,00	-187,97	42,84	-42,86	107,66	61,14	0,00
Out.	28,4	79,6	180,51	-100,91	-288,88	21,86	-20,98	100,58	79,93	0,00
Nov.	28,2	96	170,85	-74,85	-363,73	13,27	-8,59	104,59	66,26	0,00
Dez.	27,3	195,9	155,76	40,14	-154,88	53,41	40,14	155,76	0,00	0,00
Total	326	2223	1787,56	435,64		1236,44	0,00	1560,56	227,00	662,64
Média	27,2	185,3	148,96	36,30		103,04		130,05	18,92	55,22

Esse balanço utiliza em seus cálculos os parâmetros climáticos. Consta na determinação desse balanço, os valores mensais da temperatura (T) e da pluviometria (P), medidas na estação meteorológica. O valor da evapotranspiração potencial (ETP) resulta igual ao valor da evapotranspiração real mais a deficiência anual de umidade (DEF). Por sua vez, o valor da precipitação pluviométrica (P) resulta igual ao da evapotranspiração potencial (ETP) mais o excesso de água (EXC) menos a deficiência anual de umidade (DEF).

Esse balanço indica que há excesso de água no período de fevereiro a junho, no qual deve ocorrer recarga da água subterrânea e escoamento do componente da descarga sub-superficial. Esse excesso torna-se perigoso quando da declividade alta, entretanto, devido a presença de áreas florestais, os transbordamentos que ocorrem nesta época podem, portanto, induzir a uma sedimentação e com isto contribuir no recalque dos solos de várzea da Amazônia.

A Figura 2.8 apresenta o balanço hídrico mensal calculado, mostrando o excesso e a deficiência de água (reserva hídrica de 150 mm).

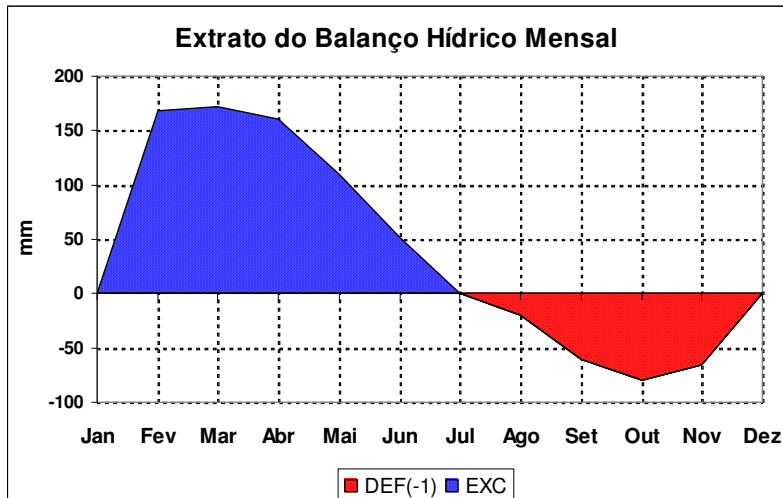


Figura 2.8 – Extrato do balanço hídrico mensal com o excesso e a deficiência de água

2.2.2 Vegetação

A região Amazônica abriga a maior floresta tropical do planeta, com o maior número de espécies vegetais, apresentando elevada biodiversidade de ecossistemas.

A área do igarapé Juruti Grande e do rio Aruã apresenta vegetação de floresta tropical úmida perenefolia, com grande heterogeneidade na composição das espécies florestais. Os principais tipos incluem vegetação de floresta densa, associada aos terrenos mais elevados e vegetação de várzea, nas áreas baixas ou inundáveis onde ocorre vegetação arbórea, arbustiva e de gramíneas.

As espécies vegetais incluem a maçaranduba (*Manilkara huberi*), cumaru (*Coumarouna odorata*), piquiá (*Caryocar villsum*), itaúba (*Mezilaurus itauba*), cedro (*Cedrela odorata*), acariquara (*Minquartia guianensis*). Entre as espécies de várzea destacam-se a imbaúba (*Cecropia sp*), munguba (*Bombax munguba*), tachi (*Tachigalia myrmecophylla*), taperebá (*Spondias lútea*) e espécies gramíneas.

Devido à ação antrópica, a floresta primitiva foi sendo alterada na sua cobertura original, sendo parte desflorestada devido à urbanização e atividades agrícolas e pecuárias. Ocorrem ainda florestas secundárias, áreas de campos e capoeiras, onde originalmente assentava-se a floresta primitiva.

O restante da área é coberta com pastagens e gramíneas, outras espécies arbóreas e plantas frutíferas cultivadas.

A figura 2.9 apresenta o mapa de vegetação da área, extraído da base cartográfica digital do Sipam (2000).

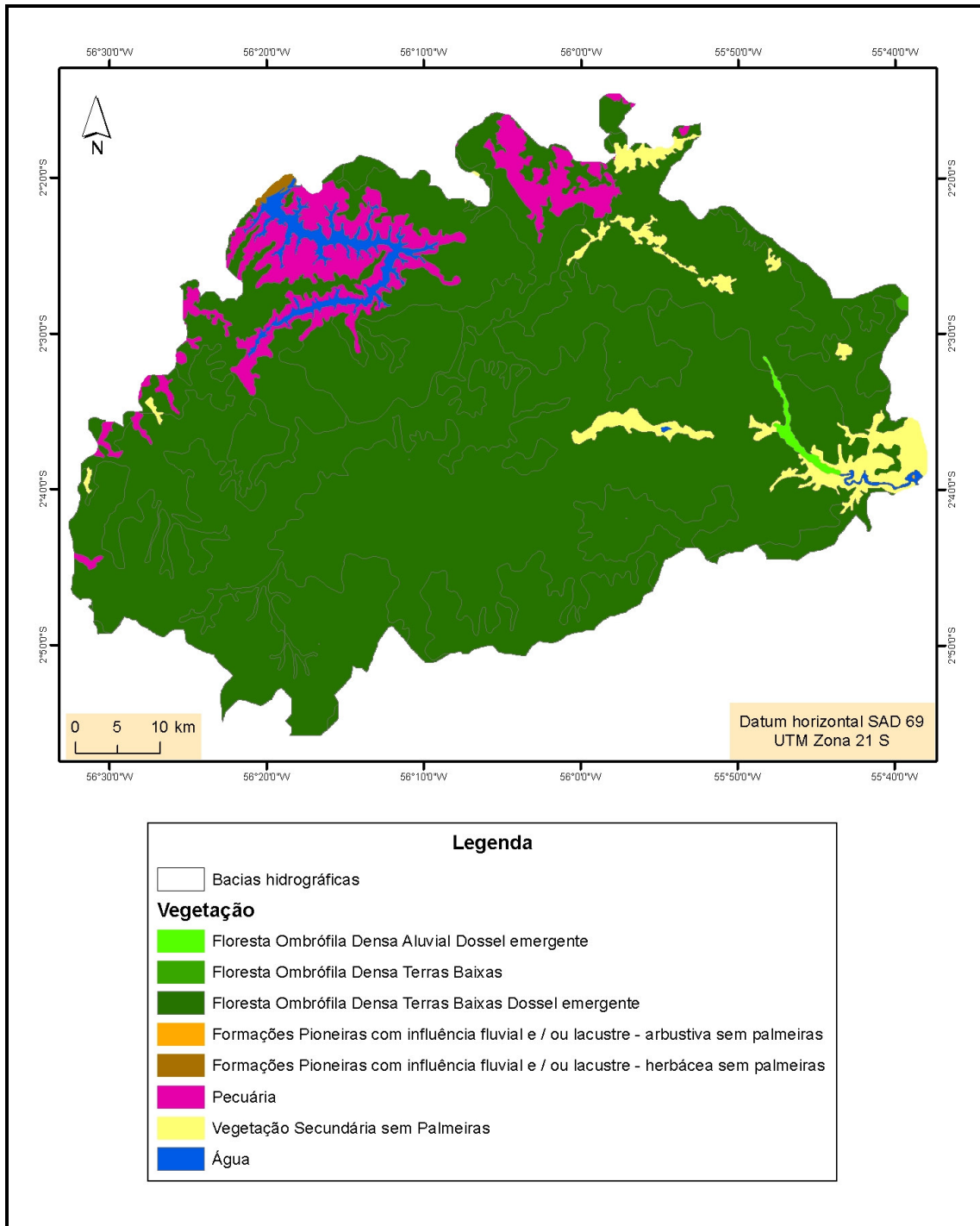


Figura 2.9 – Mapa de vegetação das bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã (SIPAM, 2000)

2.2.3 Hidrologia

Os principais cursos d'água da área de estudo são o rio Aruã ao sul e seu afluente rio Branco, pertencentes à bacia do rio Tapajós, e ao norte pelo igarapé Juruti Grande, que deságua no rio Amazonas.

O igarapé Juruti Grande apresenta-se diretamente influenciado pelo regime sazonal de vazões do rio Amazonas, cujo remanso, condiciona a formação de um lago (vale afogado) de grande extensão ao longo deste tributário. Verifica-se ao longo do ano amplitudes de variações de níveis d'água da ordem de 7 m. Somente nas porções superiores da bacia, na região dos platôs, os cursos d'água apresentam-se em escoamento livre da influência do remanso. Nestas porções da bacia, os afluentes tributários são constituídos por uma série de cursos d'água de pequeno porte que apresentam escoamento perene em qualquer época do ano (CNEC, 2004).

O rio Aruã tem orientação NE-SW no seu curso superior, e orientação E-W até a sua foz afogada no rio Arapiuns. Seu vale, até a confluência com o rio Branco, é assimétrico, apresentando na margem direita, afluentes maiores, e na margem esquerda, afluentes curtos. Esses afluentes estão orientados nas direções NW-SE e N-S.

O rio Branco não obedece a esse padrão da margem esquerda, pois embora tenha orientação NW-SE, é um rio longo, que tem comportamento anômalo, uma vez que suas nascentes estão a menos de 10 km do rio Amazonas, mas ele flui para sudeste até desaguar no rio Aruã, sugerindo basculamentos neotectônicos.

O rio Branco, do mesmo modo que o rio Aruã, está alojado em zonas de fraturas (possivelmente falhas). Os vales erosivo e erosivo-acumulativo, associados a planícies fluviais estreitas e descontínuas, são caracterizados pela presença de canais em rocha alterada e canais aluviais, que comumente transportam grande quantidade de areia.

O igarapé Juruti Grande é um rio de foz afogada, também denominada ria fluvial e/ou rio-lago. A sua foz encontra-se barrada pela planície fluvial do rio Amazonas, de modo que sua confluência, na época da estiagem, é feita através de um paraná, que dá acesso a cidade de Juruti ou de furos rasos, enquanto que durante as enchentes, essa confluência se dá por meio de furos que atravessam a planície de inundação e chegam até o rio Amazonas (CNEC, 2004).

A Figura 2.10 apresenta as principais drenagens da área de estudo.

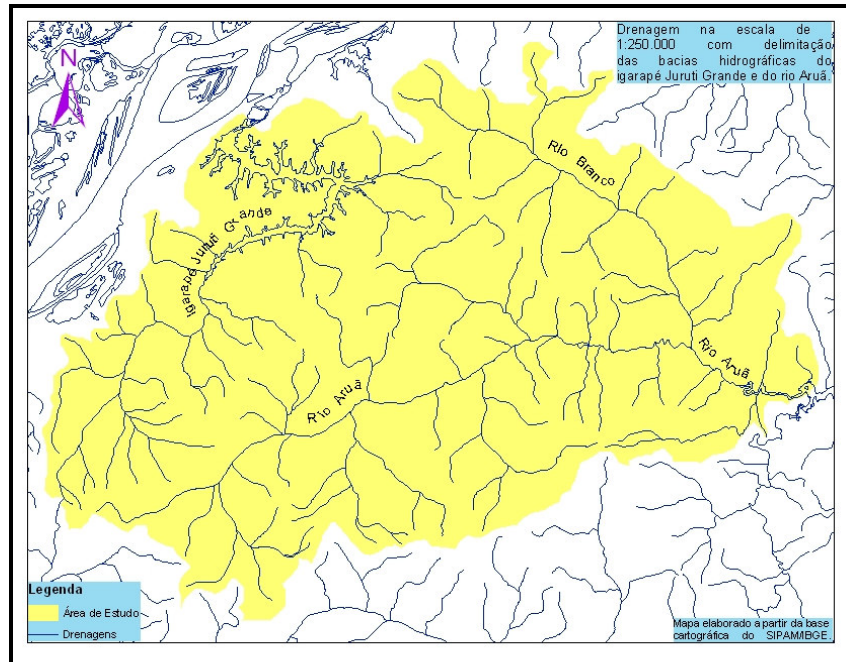


Figura 2.10 – Mapa de drenagem das bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruá (SIPAM/IBGE 2000)

2.2.4 Solos

Na Amazônia devido aos vários ambientes geológicos, composição litológica e variação climática há uma grande diversidade de tipos de solos.

A grande unidade de solos nessa região é constituída por latossolos amarelos, que podem se apresentar de textura média, argilosa e muito argilosa.

Os latossolos desenvolvem-se em rochas da Formação Alter do Chão, nos platôs e em relevos ondulados. Em altitudes inferiores a 100 m ocorrem latossolos amarelos de textura média associados a neossolos quartarênicos ou a latossolos de textura argilosa, originando-se possivelmente de níveis arenosos da Formação Alter do Chão (CNEC, 2004).

Os solos aluviais e hidromórficos (gleissolos) têm estrutura variada e ocorrem, em pequena área, na planície de inundação do rio Amazonas desenvolvidos em sedimentos aluviais recentes.

A Figura 2.11 apresenta o quadro pedológico da área de estudo, merecendo destaque o latossolo amarelo que predomina em praticamente toda a região. Trata-se de solos bem drenados, suas características físicas em geral são muito favoráveis ao

aproveitamento agrícola, refletidas em boa drenagem interna, boa aeração e ausência de impedimentos físicos à mecanização e penetração de raízes.

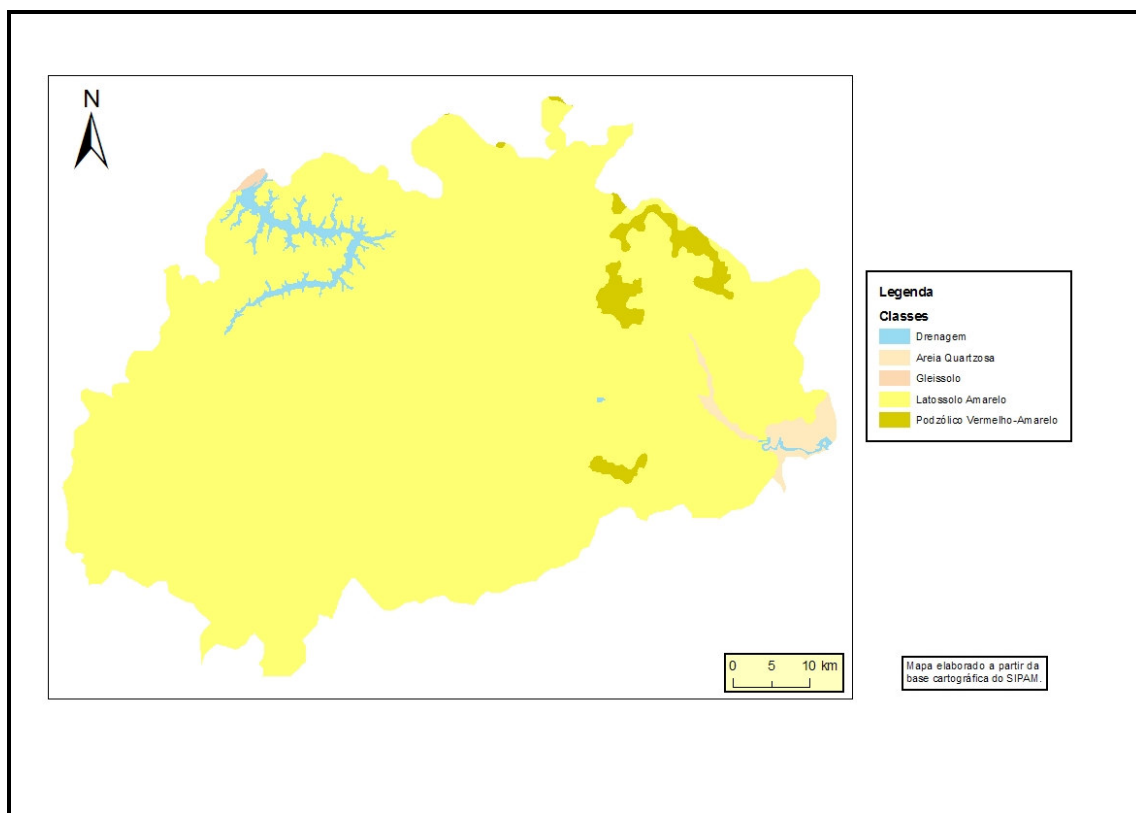


Figura 2.11 – Mapa pedológico das bacias do igarapé Juruti Grande e do rio Aruã (SIPAM, 2000)

2.2.5 Geologia

A região de Juruti situa-se na parte central da Bacia Sedimentar do Amazonas com um pacote de rochas sedimentares que atinge 5.000 metros de espessura, evidenciado por perfurações petrolíferas, sobrejacendo ao embasamento cristalino.

A parte inferior apresenta espesso pacote de rochas paleozóicas depositadas em ambiente marinho.

A parte superior apresenta sedimentos e rochas do cretáceo (Formação Alter do Chão) atingindo 600 metros de espessura, e do quaternário, depositadas em ambiente continental. Os depósitos do Quaternário recobrem a Formação Alter do Chão e são

constituídos por cascalhos, areias, siltes, argilas e lateritos, destacando-se os sedimentos aluviais da planície de inundação do rio Amazonas, estes com predominância argilosa e de coloração cinza.

A Formação Alter do Chão, que representa o contexto geológico deste estudo, ocorre em boas exposições no baixo curso do rio Tapajós (AMARAL, 1954) e em outros locais. Estudos realizados pela PETROBRÁS possibilitaram um melhor conhecimento dessa Formação geológica, a qual foi definida a partir de uma perfuração petrolífera na localidade de Alter do Chão, em Santarém/PA (KLISTER, 1954).

A Formação Alter do Chão é pobre em fósseis. Sua idade Neocretácea foi baseada em um dente de um dinossauro terópodo, encontrado em uma perfuração petrolífera em Nova Olinda (PRICE, 1960), e seu posicionamento corresponde à idade Eocenomaniana a Maastrichtiana (DAEMON; CONTREIRAS, 1971). Estudos micropaleontológicos posteriores (DAEMON, 1975) indicaram que a deposição iniciou-se no Albiano Médio ou Inferior (Cretáceo Inferior), estendendo-se pelo Cenomaniano e Turoniano (Cretáceo Superior).

A seqüência litológica da Formação Alter do Chão apresenta arenitos e argilitos, com conglomerados subordinadamente e níveis de lateritas (IBGE; SUDAM, 1990). Os arenitos são finos a médios, geralmente com estratificação cruzada, sendo de cor vermelha a variegada, com intercalações argilosas. Os argilitos têm cor vermelha, creme, branca, roxa, variegada, e são pouco consolidados e com lentes de areia. Os conglomerados possuem seixos de quartzo claro de até 5 cm de diâmetro e seixos de quartzo leitoso de até 15 cm de diâmetro.

Em grande parte da área situada ao norte do rio Amazonas há ocorrência de um arenito de textura média, com cimento caolínico e silicoso, geralmente manchado de vermelho, consistente, com impregnações de óxido de ferro. O mesmo foi considerado por muito tempo como uma formação geológica distinta, chamada de arenito Manaus (ALBUQUERQUE, 1922), constituindo um horizonte da Formação Alter do Chão.

A Figura 2.12 apresenta o mapa com as principais unidades geológicas da área de estudo.

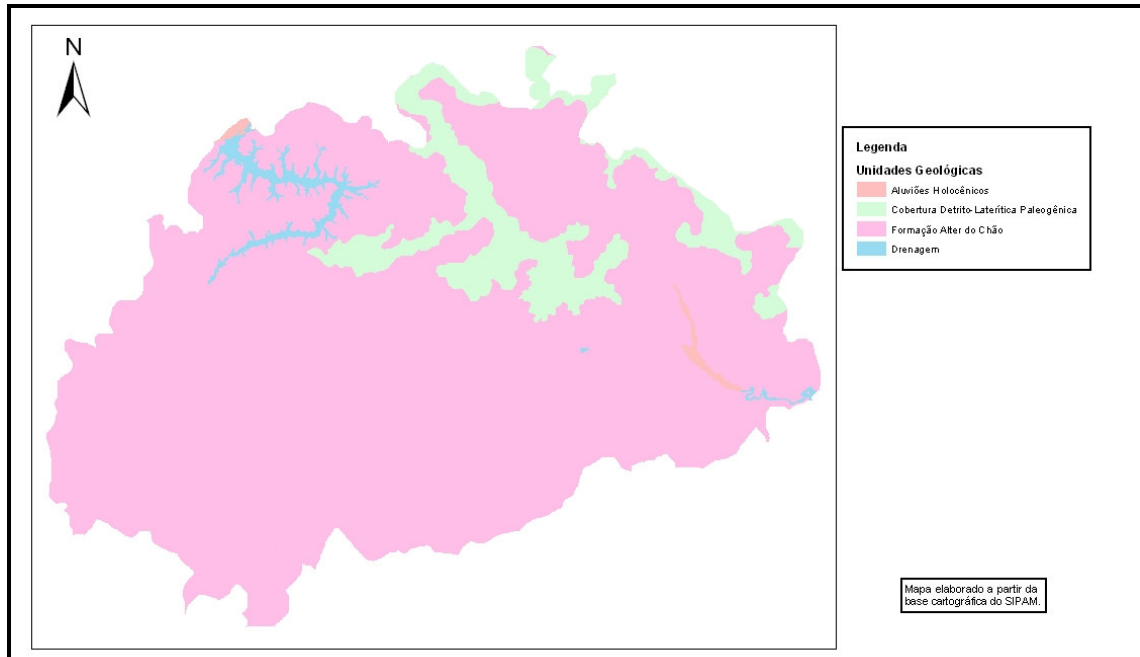


Figura 2.12 – Mapa de Unidades Geológicas (SIPAM, 2000)

2.2.6 Geomorfologia

As principais unidades morfoestruturais resultantes dos processos geomorfológicos das paisagens encontradas na região de Juruti são constituídas pelo planalto rebaixado da Amazônia e pela planície Amazônica.

O planalto rebaixado da Amazônia possui formas tabulares correspondente à unidade morfoclimática do domínio de planaltos dissecados com áreas peneplanizadas. O planalto rebaixado da Amazônia, nessa região apresenta dois níveis de aplainamento; o mais elevado situa-se nos interflúvios e apresenta coberturas argilosas; o mais rebaixado apresenta colinas com vales dissecados, em rochas areno-argilosas.

Sua altitude situa-se próxima aos 100 m; desenvolve-se em rochas da Formação Alter do Chão e possui drenagem regional dendrítica ou subdendrítica. O alargamento no leito dos rios que possuem a foz afogada é uma característica desta unidade de relevo, como apresentada no baixo curso do igarapé Juruti Grande (também chamado de lago de Juruti Velho). Suas formas tabulares são também consideradas como elaboradas em paleoclima mais seco que o atual (DNPM, 1976).

A planície Amazônica compreende áreas alagadas e periodicamente inundáveis, tendo como eixo o rio Amazonas. Sua altitude é próxima à do nível do mar. É constituída pelos depósitos aluviais quaternários e pela complexa massa de água formada por lagos, paranás, igarapés, furos, igapós, pântanos, na planície de inundação do rio Amazonas.

Este domínio morfoclimático está ligado à permanência da lâmina d'água submetida ao regime hidrológico do rio Amazonas.

2.2.6.1 Relevo

O igarapé Juruti Grande, afluente direto do rio Amazonas e o rio Aruã, afluente indireto possuem gradientes muito pequenos, situando-se em cotas topográficas baixas, existindo grande deposição de detritos, associados a extensas várzeas cobertas de pastagens, nas quais acumulam-se grande quantidades de sedimentos durante as cheias. As áreas a salvo das enchentes constituem os tesos e as terras firmes, os tesos possuem elevação de 6 a 15 m acima do nível médio das águas e representam terraços mais antigos que a superfície de várzeas e igapós e são sustentados por argilas e areias, geralmente endurecidas por cimento limonítico (lateritos e arenitos ferruginosos). As terras firmes são mais altas que os tesos, encontrando-se entre 20 e 30 m acima do nível do mar, no médio rio Amazonas, e são bem drenadas, ocupando a maior parte do relevo de planície da bacia Amazônica (adaptada de CNEC, 2004). Sua idade corresponde ao Cretáceo e consistem em aluviões com cascalhos e depósitos ligados a movimentos de massa, sendo mais comuns na região do médio Amazonas.

Os tipos de relevos que ocorrem na área de estudo são: as planícies fluviais (Pf) que constituem o compartimento de relevo planície fluvial e fluviolacustre do rio Amazonas; as rampas (R), que são remanescentes da superfície sul-americana; as escarpas (E) e as colinas pequenas (Cp), que representam os remanescentes dissecados da superfície de aplanamento plio-pleistocênica, todos os três constituintes da depressão do Amazonas (CNEC, 2004). As principais características destes relevos são apresentadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Características do relevo da área de estudo

Tipo de Relevo Morfometria	Morfografia e Substrato Rochoso	Morfodinâmica
Planície fluvial (Pf) Inclinação: Inferior a 1% Altitudes: Variáveis – 13 a 20 metros	Terrenos planos constituídos pela planície alagada que se mantém submersa, com lâminas de água de alguns centímetros mesmo nos períodos de estiagem, formando brejos, alagadiços e lagos, e pela planície de inundação que é alagada apenas no período das enchentes. Caracteriza-se ainda pela presença de ilhas, paranás, furos, lagos, diques aluviais, cordões fluviais do tipo <i>slikke</i> e <i>schorre</i> , praias, canais anastomosados e meandros abandonados. Constituição: predominam argilas e siltes, com eventuais níveis de areia fina, ocorrendo possivelmente seixos, areias médias e grossas na base da seqüência.	Freático elevado e enchentes sazonais. Deposição de finos durante as enchentes por decantação e de areias por acréscimo lateral, e por erosão superficial no contato com as encostas. Erosão lateral e vertical do canal. Erosão em sulcos e de baixa intensidade na margem dos canais. Áreas sensíveis à ocupação devido ao risco de inundação e de contaminação do freático raso.
Rampas (R) Comp. Rampa: 1000 a 3000 metros Inclinação: 0,5 a 3,5% Altitudes: 104 a 160 metros	Rampas niveladas e levemente inclinadas. Tem topos sub-horizontais, podendo em alguns locais ser amplo e convexo. Vales erosivos abertos. Padrão de drenagem sub-dendritico de baixíssima densidade. Sustentado por cobertura laterítica constituída pelos seguintes horizontes: argila caulínica amarela, bauxita nodular, laterita ferruginosa maciça, bauxita ferruginosa maciça e argila caulínica variegada. Espessuras de 5 a 30 metros.	Baixa incidência de processos erosivos em condições naturais. Erosão laminar e em sulco é restrita e de baixa intensidade. Terrenos pouco sensíveis à interferência.
Colinas Pequenas (Cp) Comp. Rampa: 500 a 1000 metros Inclinação: 3 a 10 % Altitude: 35 a 90 metros	Formas niveladas, pequenas e dissecadas. Topos estreitos, convexos. Perfil de vertente contínuo com segmentos retilíneos. Vales erosivos estreitos. Canais sobre solos de alteração arenosos. Densidade de drenagem alta, com padrão sub-dendritico. Sustentado por arenitos argilosos, argilitos, quartzo – grauvacas, quartzo arenitos e arenitos conglomeráticos da Formação Alter do Chão. Cobertura detrítica formada por areia argilosa com grânulos angulosos de quartzo tendo na base fragmentos e blocos angulosos de arenitos e conglomerados ferruginosos. Por vezes podem ocorrer afloramentos de arenito ferruginoso maciço. Espessuras de 1,5 a 6 m.	Erosão laminar e em sulcos localizada e de média intensidade, que provocam assoreamento nos canais fluviais. Terrenos sensíveis à interferência, devido à erodibilidade das coberturas detríticas areno-argilosas.
Escarpas (E) Amplitude: 80 a 100 metros Comp. Rampa: 150 a 300 metros Inclinação: 25 a 55% Altitude: 100 a 120 metros	Formas assimétricas e alongadas. Topo nivelado limitado por ruptura de declive positiva. Perfil de vertente descontínuo, com segmento retilíneo, íngreme e rochoso, e segmento convexo no sopé, rochoso ou com tálus descontínuo. Sustentado por arenitos argilosos, argilitos, quartzo – grauvacas, quartzo arenitos e arenitos conglomeráticos da Formação Alter do Chão. Predominam em superfície rochas alteradas e friáveis, sendo o solo de alteração muito raso. Corpos de tálus formados por blocos e matações de arenito, laterita ferruginosa e bauxita ferruginosa maciça em matriz areno-argilosa, são descontínuos e localizados.	Ravinamento e reentalhe de drenagem são localizados e de média intensidade. Movimentos de massa do tipo: escorregamento planar e desmoronamento, associado ao solapamento por ondas, são frequentes e de média intensidade. Terrenos muito sensíveis à interferência devido à inclinação acentuada de suas encostas e a intensidade dos processos erosivos.

FONTE: adaptado de CNEC, 2004

2.2.7 Geologia Local

A geologia de superfície na região de Juruti apresenta um espesso pacote de rochas clásticas da Formação Alter do Chão e pelos depósitos aluviais quaternários.

A Formação Alter do Chão apresenta em sua parte superior, platôs peneplanizados, resultante da geomorfologia com formas tabulares, do planalto rebaixado da Amazônia.

Em sua parte superior há exposição de estratos argilosos que atingem mais de 40 metros (m) de espessura intercalados com lateritas aluminosas (lateritas bauxíticas) com espessura de até 8 m, evidenciado pelas perfurações dos poços de monitoramento na área de topografia elevada do Projeto Juruti.

Nas áreas escarpadas (Figura 2.13), no igarapé Juruti Grande e na serra do Uxituba e às margens do rio Amazonas há exposição de arenitos de granulação média a grossa, de cores marrom a avermelhada com estratificação plano paralela e em alguns locais há estratificação cruzada.

Há ainda a presença de estratos de siltitos e argilitos de cores marrom a avermelhada (Figura 2.14), observados nas escarpas em Juruti, às margens do rio Amazonas e na serra do Uxituba. Na base das escarpas nesses locais podem ser encontrados depósitos detríticos, resultante da erosão, com fragmentos de rochas, concreções e pequenos blocos de laterita.

Os depósitos aluviais quaternários são constituídos por seixos, areias, siltes e argilas transportados e depositados pela rede de drenagem. Sua maior extensão localiza-se na foz do igarapé Juruti Grande e na planície de inundação do rio Amazonas.

A planície de inundação do rio Amazonas é constituída essencialmente por argilas cinzas, tem feição geomorfológica típica, com paranás, lagos, lagoas, ilhas e igapós, apresentando inundações periódicas.

A variação da lâmina d'água do rio Amazonas em Juruti tem amplitude maior que 13 m.



Figura 2.13 – Escarpa na margem direita do rio Amazonas sustentada por arenito grosso da Formação Alter do Chão (CNEC, 2004)



Figura 2.14 – Delgada camada de argilito acimentado intercalada em arenito grosso avermelhado, com camada mais espessa de argilito siltoso rosado visível na base da seqüência (CNEC, 2004)

2.2.8 Hidrogeologia

A natureza e distribuição dos recursos de água subterrânea na região de Juruti são controladas pela litologia, geomorfologia e estruturas da Formação Alter do Chão.

As perfurações de poços de monitoramento do Projeto Juruti (nas áreas do porto e da mina) e dados de estudos de áreas próximas, como os estudos hidrogeológicos detalhados em Santarém (TANCREDI, 1996) possibilitaram a delimitação do quadro hidrogeológico da região de Juruti.

O sistema hidrogeológico é constituído pela Formação Alter do Chão, com espessura de cerca de 600 m, evidenciados por perfurações petrolíferas. Os aquíferos são constituídos por sedimentos arenosos e constituem cerca de 80 % dessa espessura.

As zonas de recarga situam-se nas partes mais elevadas e nas partes mais baixas do relevo as zonas de descarga, com fluxos para fontes e igarapés, para o igarapé Juruti Grande e para o canal do rio Amazonas.

O nível hidrostático na área dos platôs (área da mina) situou-se de 37,0 m a 23,0 m de profundidade, diminuindo em direção ao canal do rio Amazonas, estando a 8,6 m de profundidade na área do porto.

A qualidade da água obtida através de análises físico-química da água dos poços de monitoramento (duas na área do porto e quatro na área da mina) evidenciam pequena concentração dos constituintes dissolvidos, dentro dos padrões de potabilidade.

A concentração dos principais constituintes dissolvidos indica essas águas do tipo sódio-bicarbonatadas (em cinco amostras) e cálcio-bicarbonatada (em uma amostra).

Os aquíferos da Formação Alter do Chão nessa região apresentam grandes volumes de água armazenada, características físico-químicas dentro dos padrões de potabilidade e condições hidrogeológicas favoráveis à sua exploração, constituindo-se em importante potencial para o desenvolvimento dessa região.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise no ciclo hidrológico, principalmente, na sua fase terrestre, que engloba a infiltração e o escoamento superficial. Ela pode ser definida como um conjunto de áreas com declividade no sentido de determinada seção transversal de um curso de água, medidas as áreas em projeção horizontal. Por meio de uma rede de drenagem, formada por cursos d'água, ela faz convergir os escoamentos para a seção de exutório, seu único ponto de saída, de forma que toda a vazão afluyente possa ser medida ou descarregada através desse ponto. A quantidade de água que atinge os vários cursos depende do tamanho da bacia, da precipitação pluviométrica total, de seu regime e das perdas devido à evaporação, à transpiração.

3.2 GEOPROCESSAMENTO

O termo Geoprocessamento se relaciona a uma parte do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Esta tecnologia tem influenciado de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional. Em países de grande dimensão e com carência de informações adequadas para tomada de decisões sobre problemas urbanos e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial. Isto se dá em função de se basear em processos tecnológicos de custo relativamente baixo.

Os instrumentos computacionais do Geoprocessamento, chamados de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados. Os SIGs tornam possível ainda a automatização da produção de documentos cartográficos (ASSAD et al., 1998).

3.2.1 Análise de Dados Espaciais

O objetivo principal do Geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as inter-relações entre diferentes fenômenos. Alguns exemplos de processos de análises espaciais típicos de um SIG estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Exemplos de análise espacial

Análise	Pergunta Geral	Exemplo
Condição	“O que está...?”	“Qual a população dessa cidade?”
Localização	“Onde está...?”	“Quais as áreas com declividade acima de 20%”
Tendência	“O que mudou...?”	“Esta terra era produtiva há 5 anos?”
Roteamento	“Por onde ir...?”	“Qual o melhor caminho para os ônibus?”
Padrões	“Qual o padrão...?”	“Qual a distribuição da febre aftosa no Pará?”
Modelos	“O que acontece se...?”	“Qual o impacto no clima se desmatarmos a Amazônia?”

Fonte: Adaptado de MAGUIRE, 1991 *apud* ASSAD et. al, 1998

3.3 SENSORIAMENTO REMOTO

O Sensoriamento Remoto pode ser definido como a aplicação de dispositivos que, colocados em aeronaves ou satélites, nos permitem obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra, sem contato físico com eles.

Segundo Novo (1989), Sensoriamento Remoto pode ser definido como a aquisição de informação sobre um objeto a partir de medidas feitas por um sensor que não se encontra em contato físico direto com ele. As informações sobre o objeto, neste caso, são derivadas da detecção e mensuração das modificações que ele impõe sobre os campos de força que o cercam. Estes campos de força podem ser eletromagnéticos, acústicos ou potenciais.

Muitos geólogos preferem uma definição mais ampla, relacionada aos fenômenos físicos observados, incluindo, além da radiação eletromagnética, os campos magnéticos e gravimétricos naturais.

A evolução do Sensoriamento Remoto através de sensores mais potentes, proporcionando imagens cada vez melhores, associadas com as técnicas de extração de informação oriundas do processamento de imagens, ampliou sua aplicabilidade a diversas áreas do conhecimento: levantamento de recursos ambientais, análise ambiental, geologia, florestas, estudos urbanos, são algumas das áreas diretamente afetadas (ROCHA, 2002).

Outro fator relevante é a periodicidade das imagens, as quais permitem monitorar situações de desmatamento, desertificação, inclusive com possibilidades de prevenção de desastres naturais (ROCHA, 2002).

3.3.1 Radiação Eletromagnética e Comportamento Espectral dos Alvos

A energia eletromagnética é o meio através do qual os dados dos objetos são transmitidos ao sensor, transformando-o através da sua frequência, intensidade e polarização em informação (SANTOS, 2002). As interações entre a radiação eletromagnética e os objetos variam ao longo do espectro eletromagnético, como mostrado na Figura 3.1.

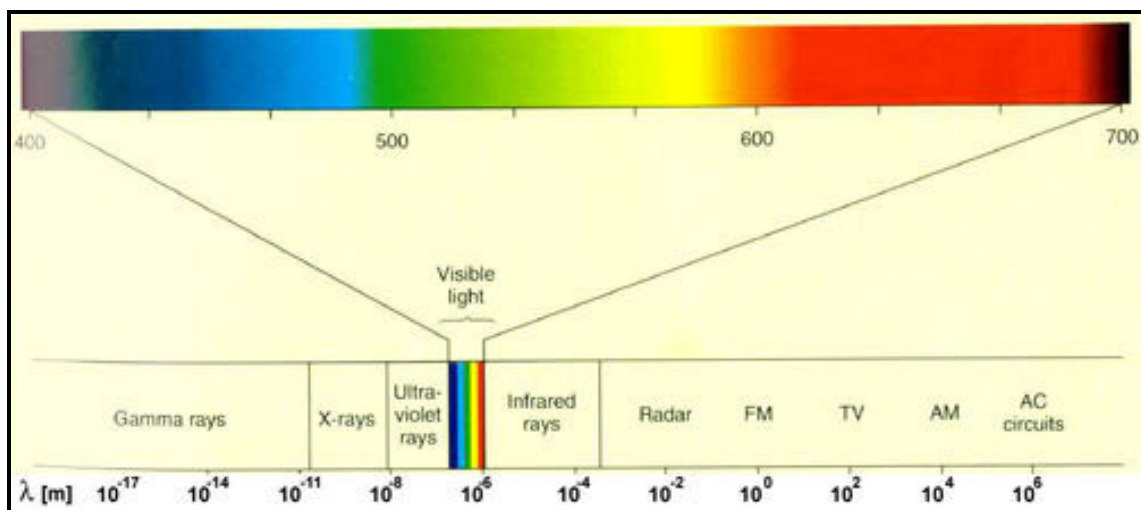


Figura 3.1 – Espectro Eletromagnético (WIKIPEDIA, 2006)

O espectro eletromagnético é o intervalo completo de distribuição da radiação eletromagnética. Tomando-se a ordem de energia decrescente e comprimento de onda crescente o espectro eletromagnético (Tabela 3.2) inclui:

Tabela 3.2 – Região do espectro x comprimento de onda

Região do espectro eletromagnético	Comprimento de onda	
raios gama	menos que 0,1 Å (Ångstrom)	
raios X	0,1 a 200 Å	
raios ultravioleta	200 a 4000 Å	
luz visível	4000 a 7000 Å	
infravermelho	infravermelho próximo	7000 Å a 10 µm (microns)
	infravermelho médio	10 a 60 µm
	infravermelho longínquo	60 a 300 µm
ondas de rádio	sub milimétrico	300 µm a 1 mm (milímetro)
	rádio milimétrico	1 mm a 1 cm (centímetro)
	microondas rádio	1 mm a vários cm

FONTE: BRASIL (2005)

3.3.2 Características das Imagens

Após interagir com os objetos da superfície terrestre, a radiação é detectada por sensores a bordo de satélites. Um sistema sensor imageador produz uma imagem bidimensional da radiância, emitância ou retroespalhamento destas trocas energéticas, num determinado instante, naquele espaço físico, tornando-se apto a extrair informações sobre aquela região. Os elementos da imagem são armazenados como matrizes, possuindo um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre, sendo denominados de *pixels*.

As imagens produzidas caracterizam-se pelas resoluções espacial, espectral, radiométrica, temporal e pela largura da faixa imageada (SANTOS, 2002).

3.3.2.1 Resolução Espacial

É a capacidade do sensor de detectar objetos a partir de uma determinada dimensão. Quanto maior a resolução do sistema sensor, menor é o tamanho mínimo dos elementos que podem ser detectados individualmente. Ex.: LANDSAT 7 – 30 Metros; CBERS – 20 Metros; QUICKBIRD – 0,61 Metros (SANTOS, 2002).

3.3.2.2 Resolução Espectral

Expressa a capacidade do sensor de registrar a radiação em diferentes regiões do espectro. Quanto melhor a resolução espectral, maior o número de bandas espectrais que podem ser adquiridas sobre os objetos da superfície, aumentando o poder de extração de informação para cartas temáticas. Ex.: LANDSAT 7 – 8 bandas (SANTOS, 2002).

3.3.2.3 Resolução Radiométrica

Representa a capacidade de discriminar entre diferentes intensidades de sinais ou número de níveis digitais em que a informação se encontra registrada. Quanto maior for esta resolução, maior será a sensibilidade do sensor nas pequenas diferenças de radiação, aumentando o poder de contraste e de discriminação das imagens. Tem-se 1 byte = 8 bits. Ex.: LANDSAT 7 = 8 bits = 256 níveis (SANTOS, 2002).

3.3.2.4 Resolução Temporal

Representa a frequência com que a área de interesse é imageada. Ex.: LANDSAT 7 – 16 dias (SANTOS, 2002).

3.3.2.5 Largura da Faixa Imageada

Também chamada de largura da faixa de varredura, que varia de acordo com o satélite. Ex.: LANDSAT 7 – 185 km; CBERS – 120 km. Em geral, existe relação direta entre a largura da faixa imageada e as resoluções espectral e radiométrica (SANTOS, 2002).

3.3.3 Processamento Digital de Imagens

O procedimento computacional refere-se a uma análise quantitativa, baseada nas propriedades numéricas do *pixel*, que acopla a habilidade de rastrear, agrupar e contar *pixels* semelhantes em uma imagem, visando caracterizar, de forma automática, as várias feições e/ou objetos presentes na área de estudo (RICHARDS, 1995).

3.3.3.1 Correção Geométrica

Trata-se da transformação da imagem de modo que ela assuma as propriedades de escala e projeção de um mapa. Para que a precisão cartográfica seja introduzida em imagens de sensoriamento remoto, faz-se necessário que essas imagens digitais sejam corrigidas segundo um determinado sistema de coordenadas (SANTOS, 2002).

Segundo Crosta (1992 *apud* Jacintho, 2003), o processo de correção geométrica envolve as seguintes etapas:

A – Determinação da relação entre o sistema de coordenadas do mapa e da imagem;

B – Estabelecimento de um conjunto de pontos definindo os centros dos *pixels* na imagem corrigida, conjunto esse que define um grid com as propriedades cartográficas do mapa de referência;

C – Cálculo dos números digitais (DN's) da imagem corrigida, por interpolação dos DN's dos *pixels* da imagem original.

A forma mais usual para o cálculo da relação entre os sistemas de coordenadas da imagem e do mapa é a transformação baseada em pontos de controle do terreno. Os pontos de controle são feições bem definidas, como interseção de estradas ou drenagens, pistas de aeroportos etc. que possam ser localizadas precisamente tanto na imagem quanto no mapa disponível.

A determinação dos parâmetros da transformação polinomial selecionada é feita através da resolução de um sistema de equações. Para que esse sistema de equações possa ser montado as coordenadas dos pontos de controle devem ser conhecidas, tanto na imagem como no sistema de referência. As coordenadas da imagem (linha, coluna) são obtidas quando o usuário atua sobre os parâmetros de registro da imagem.

As coordenadas de referência são obtidas através da compilação de bases cartográficas confiáveis, e que contenham feições que sirvam como pontos de controle. A introdução destes dados pode se dar via mesa digitalizadora ou bases cartográficas digitais, bem como via aparelho GPS (Sistema de Posicionamento Global).

3.3.3.2 Classificação

O principal objetivo é distinguir e identificar através das composições as diferenças entre os materiais superficiais, quer sejam eles do tipo de vegetação, padrões de uso do solo, ou outros.

A classificação automática de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto diz respeito à associação de cada *pixel*, ou seja, as células que compõem a imagem a um determinado grupo de classes descrevem um objeto real (vegetação, solo, água etc.). Essa atribuição é feita com base em observações de *pixel* entre si e na sua vizinhança e baseado em algumas regras como: assumir que um conjunto de classes foi previamente determinado antes de se iniciar a classificação; assumir que qualquer *pixel* na imagem pertence necessariamente a uma dessas classes e que estas podem ser definidas usando algumas propriedades observáveis da cena e não apenas valores de reflectância (edição do usuário). Desta forma, os valores numéricos (DN's) associados a cada *pixel*, definidos pela reflectância dos materiais que compõem esses *pixels* são identificados em termos de um

tipo de cobertura da superfície terrestre imageada, chamadas então de temas. Uma imagem de sensoriamento remoto classificada é uma forma de mapa digital temático (SANTOS, 2002).

3.3.3.3 Índice de Kappa

Um mapa temático precisa apresentar o seu grau de confiabilidade, assim é indispensável considerar e definir sua exatidão estatística. Na matriz de erros, os *pixels* classificados de forma correta e errada são analisados em termos de distribuição percentual. O seu objetivo é fornecer dados que permitam ajustar as áreas das classes obtidas por uma classificação, calcular os parâmetros de exatidão global da mesma e identificar erros específicos que afetam cada uma das classes. A matriz de erros descreve as exatidões individuais de cada categoria do mapa, em conjunto com erros de inclusão e omissão (CONGALTON e GREEN, 1999 *apud* KUX; BLASCHKE, 2005).

O erro de inclusão ocorre quando uma área é abrangida numa classe à qual ela não pertence, enquanto que o erro de omissão acontece quando uma área é excluída de uma classe à qual pertenceria.

A matriz de erros permite utilizar técnicas de análise multivariada para determinar a concordância entre o levantamento de campo e o mapa obtido pela classificação. A estatística *kappa* é um método utilizado na análise da exatidão de mapas temáticos. O *kappa* (K) inclui no cálculo do seu coeficiente todos os elementos da matriz de erros e não apenas os elementos da diagonal principal (CONGALTON e GREEN, 1999 *apud* KUX; BLASCHKE, 2005).

A tabela abaixo apresenta o valor de *kappa* associado aos valores de qualidade de classificação, desenvolvido por *Landis e Koch*.

Tabela 3.3 – Valores de kappa x Qualidade do mapa temático

VALOR DE KAPPA	QUALIDADE DO MAPA TEMÁTICO
< 0,00	Péssima
[0,00 – 0,20[Ruim
[0,20 – 0,40[Razoável
[0,40 – 0,60[Boa
[0,60 – 0,80[Muito Boa
[0,80 – 1,00]	Excelente

FONTE: adaptada de Landis e Koch (1977 *apud* KUX; BLASCHKE, 2005)

3.4 SISTEMA LANDSAT

O *Landsat* foi colocado em órbita em 1972, com o nome de ERTS-1 (*Earth Resources Technological Satellite-1*), com um desempenho tão significativo que foi transformado na série *Landsat – Land Remote Sensing Satellite*. A série teve seqüência com os *Landsat 2, 3, 4* e, sobretudo com o *Landsat 5* e *7*. O principal objetivo deste sistema foi o mapeamento multiespectral em alta resolução da superfície da terra. (BRASIL, 2006)

Os principais instrumentos imageadores do Sistema Landsat são: (MSS) *Multispectral Scanner*, (TM) *Thematic Mapper* e (ETM+) *Enhanced Thematic Mapper*.

A tabela 3.4 apresenta as características dos satélites da série *LANDSAT*.

Tabela 3.4 – Características dos satélites da série Landsat

SATÉLITE	LANÇAMENTO	STATUS	INCLINAÇÃO	SENSOR	ALTITUDE
<i>Landsat 1</i> (ERTS-1)	Julho de 1972	Inativo	99,9°	MSS E RBV	907 KM
<i>Landsat 2</i>	Janeiro de 1975	Inativo	99,2°	MSS E RBV	908 KM
<i>Landsat 3</i>	Março de 1978	Inativo	99,1°	MSS	915 KM
<i>Landsat 4</i>	Julho de 1982	Inativo	98,3°	MSS E TM	705,3 KM
<i>Landsat 5</i>	Março de 1984	Ativo	98,3°	MSS E TM	705,3 KM
<i>Landsat 6</i>	Outubro de 1993	Inativo	-	Não chegou a operar	
<i>Landsat 7</i>	Abril de 1999	Intivo (desde 2005??)	98,2°	ETM+	705 KM

FONTE: adaptada de Moreira (2005)

A tabela 3.5 apresenta as características dos sistemas sensores da série *Landsat*.

Tabela 3.5 – Características dos sistemas sensores do LANDSAT

SATÉLITE	SENSOR	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m x m)	RESOLUÇÃO TEMPORAL (dias)
<i>Landsat 1</i> (ERTS-1)	MSS, 3RBV	80	18
<i>Landsat 2</i>	MSS, 3RBV	80	18
<i>Landsat 3</i>	MSS, 2RBV	80 e 240	18
<i>Landsat 4</i>	MSS	80	16
	TM	30	
<i>Landsat 5</i>	MSS	80	16
	TM	30	
<i>Landsat 7</i>	MSS	80	16
	ETM+	30 e 15	

FONTE: adaptada de Moreira (2005)

O sensor TM possui 7 bandas, cada uma representando uma faixa do espectro eletromagnético. As bandas 1,2,3,4,5 e 7 possuem 30 m de resolução geométrica, isto é,

cada *pixel* da imagem representa uma área de 0,09 hectares (ha) de terreno, enquanto a banda 6, possui resolução de 120 m, cada *pixel* representa 1,4 ha.

As principais diferenças entre *Landsat 7* e *Landsat 5* são:

- Adição de uma banda pancromática com resolução espacial de 15m;
- Gravação da banda 6 (infra-vermelho termal) com alto e baixo ganho e resolução de 60 m;
- Melhoramento no sistema de calibração do satélite, o que garante uma precisão radiométrica absoluta de +/-5%.
- Melhoramento na geometria de imageamento, o que determina uma precisão em imagens corrigidas apenas a partir de dados de efemérides de satélite e GPS, muito próxima da precisão obtida com imagens georreferenciadas com pontos de controle cartográficos. (BRASIL, 2006)

3.5 SISTEMA SRTM

O sistema SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) foi colocado em órbita no dia 11 de fevereiro de 2000, e sua missão durou apenas 11 dias. Este projeto realizado entre a NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) e a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) objetivou produzir dados digitais de elevação de cerca de 80% da cobertura do planeta Terra (isto é, todas as terras localizadas entre as latitudes 60° N e 56° S), com pontos de dados localizados a cada arco segundo (cerca de 30 metros). A acurácia vertical absoluta do modelo de elevação é de aproximadamente 16 metros, com 90% de confiança (SRTM, 2006 tradução nossa).

Os dados deste radar foram processados pelo laboratório JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) em Pasadena, Califórnia, nos Estados Unidos dentro de padrões de qualidade dos modelos digitais de elevação. Os dados possuem resolução de 90 metros, os quais foram extraídos de dados originais com resolução de 30 metros. Todos os dados já processados estão disponíveis ao público interessado (SRTM, 2006 tradução nossa).

3.6 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG

O termo Sistema de Informação Geográfica (SIG) refere-se àqueles sistemas que efetuam tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georeferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e numa projeção cartográfica qualquer. Os dados tratados em Geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados, sendo um conjunto de tecnologias de coleta de dados. Sua principal ferramenta, representada pelo SIG, não cumprirá suas funções se não existirem dados disponíveis e em condições de serem utilizados.

O requisito de armazenar a geometria dos objetos geográficos e de seus atributos representa uma dualidade básica para os SIG's. Para cada objeto geográfico, um SIG necessita armazenar seus atributos e as várias formas de representações gráficas associadas. Devido à sua ampla gama de aplicações, onde estão incluídos temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes concessionárias (água, energia e telefonia), há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG:

- Como ferramentas para produção de mapas;
- Como suporte para análise espacial de fenômenos; ou
- Como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Essas três visões do SIG são antes convergentes do que conflitantes e refletem a importância relativa do tratamento da informação geográfica dentro das instituições. Para esclarecer ainda mais o assunto, apresentam-se a seguir algumas definições de SIG:

- “Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georeferenciados” (ARONOFF, 1989 *apud* ASSAD et. al, 1998);
- “Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real” (BURROUGH, 1986 *apud* ASSAD et. al, 1998);

- “Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas” (COWEN, 1988 *apud* ASSAD et. al, 1998);
- “Um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais” (SMITH et al, 1987 *apud* ASSAD et. al, 1998).

Estas definições refletem, cada uma à sua maneira, a multiplicidade de usos desta tecnologia e apontam para uma perspectiva interdisciplinar. A partir destas definições, é possível indicar as principais características de SIG's:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários, cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georeferenciados.

3.6.1 Espaço geográfico e informação espacial

A informação geográfica apresenta uma natureza dual: um dado geográfico possui uma localização geográfica, expressa como coordenadas em um espaço geográfico e atributos descritivos, que podem ser representados num banco de dados convencional. De forma intuitiva, pode-se definir o termo espaço geográfico como uma coleção de localizações na superfície da terra, sobre a qual ocorrem os fenômenos geográficos. O espaço geográfico define-se, portanto, em função de suas coordenadas, sua altitude e sua posição relativa. Sendo um espaço localizável, o espaço geográfico é possível de ser cartografado. (DOLFUS, 1991 *apud* ASSAD et al, 1998).

A noção de informação espacial está relacionada à existência de objetos com propriedades, as quais incluem a sua localização no espaço e a sua relação com outros

objetos. Estas relações incluem conceitos topológicos (vizinhança, pertinência), métricos (distância) e direcionais (“ao norte de”, “acima de”).

Deste modo, os conceitos de espaço geográfico (um lócus absoluto, existente em si mesmo) e informação espacial (um lócus relativo, dependente das relações entre objetos) são duas formas complementares de conceituar um objeto de estudo em Geoprocessamento. Estas formas levam à dualidade conceitual na modelagem espacial, onde a noção absoluta de espaço geográfico leva à idéia de conjuntos de campos geográficos, e a noção relativa de informação espacial conduz à postulação da existência de conjuntos de objetos georeferenciados. (WORBOYS, 1995 *apud* ASSAD et al, 1998).

3.6.2 Relações espaciais entre fenômenos geográficos

Os diferentes fenômenos geográficos ao se distribuírem sobre a superfície da Terra estabelecem padrões de ocupação. Ao representar tais fenômenos, o Geoprocessamento procura determinar e esquematizar os mecanismos implícitos e explícitos de inter-relação entre eles. Estes padrões de inter-relação podem assumir diferentes formas:

- Correlação espacial: um fenômeno espacial (Ex.: a topografia) está relacionado com o seu entorno, tão mais intensamente quanto maior for a proximidade de localização. Diz-se informalmente que “coisas próximas são parecidas”;
- Correlação temática: as características de uma região geográfica são moldadas por um conjunto de fatores. Assim as formas geológicas, o solo, o clima, a vegetação e os rios formam uma totalidade inter-relacionada. Deste modo, pode-se traçar pontos de correspondência entre o solo e a vegetação de uma região;
- Correlação temporal: a fisionomia da Terra está em constante transformação, em ciclos variáveis para cada fenômeno. Cada paisagem ostenta as marcas de um passado mais ou menos remoto, apagado ou modificado de maneira desigual, mas sempre presente (DOLFUS, 1991 *apud* ASSAD et al, 1998);
- Correlação topológica: de particular importância na representação computacional, as relações topológicas como adjacência, pertinência e intersecção permitem

estabelecer relacionamentos entre os objetos geográficos que são variantes à rotação, à translação e à escala.

3.6.3 Estrutura Geral de um SIG

Numa visão abrangente, pode-se indicar que um SIG tem os seguintes componentes:

- a) interface com usuário;
- b) entrada e integração de dados;
- c) funções de processamento gráfico e de imagens;
- d) visualização e plotagem;

e) armazenamento e recuperação de dados organizados sob a forma de um banco de dados geográficos.

Estes componentes se relacionam de forma hierárquica. No nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída). No nível mais interno do sistema, um mecanismo de gerenciamento de bancos de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

De um modo geral, as funções de processamento de um SIG manipulam dados em uma área de trabalho em memória principal. A ligação entre os dados geográficos e as funções de processamento do SIG é feita através de processos de seleção e consulta que definem restrições sobre o conjunto de dados.

A Figura 3.2 indica a relação entre os principais componentes. Cada sistema implementa estes componentes de forma distinta em função de seus objetivos e necessidades, mas todos os subsistemas citados devem estar presentes num SIG.

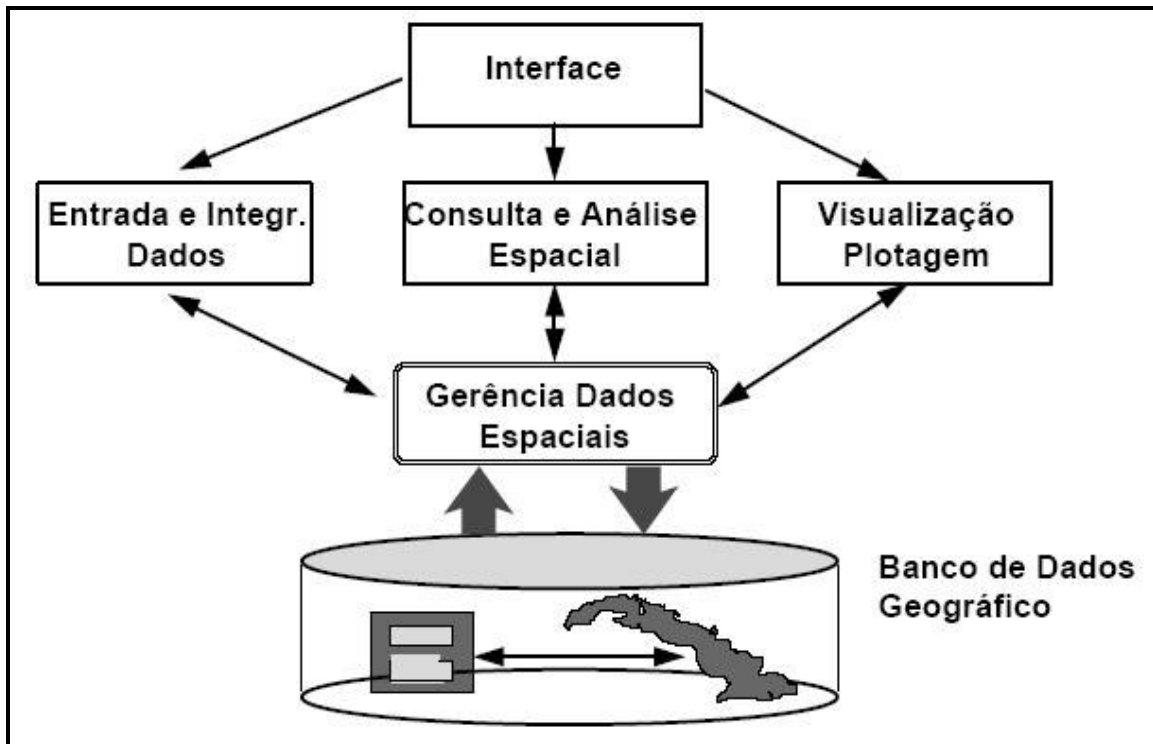


Figura 3.2 – Fluxograma de sistemas de informação geográficas. (ASSAD et. al, 1998)

3.6.4 Organização de Ambiente de Trabalho em SIG

Em um SIG, existem duas grandes maneiras de organizar um ambiente de trabalho: organização baseada num banco de dados geográficos e organização baseada em projetos.

No primeiro caso, o usuário define inicialmente o esquema conceitual associado às entidades do banco de dados geográficos, indicando para cada tipo de dados seus atributos não-espaciais e as representações geométricas associadas. Procede-se de maneira similar em um banco de dados tradicional (como o *dBASE*, *ACCESS* ou *ORACLE*), onde a definição da estrutura do banco precede a entrada dos dados. Por exemplo, o *SPRING (NetGis)* e o *MGE (Intergraph)* são exemplos de sistemas organizados com base na modelagem do banco de dados, antes da inserção dos dados geográficos.

No segundo caso, o usuário define inicialmente um referencial geográfico, que delimita uma região de trabalho, e a seguir define as entidades geográficas que compõem o

projeto. Por exemplo, o *ARC/INFO* (ESRI), *IDRISI* (Clark University) e *SIG* (Engespaço) são exemplos desta classe de sistemas.

Um projeto é usualmente composto por um conjunto de níveis, camadas ou planos de informação (PIs), que variam em número, tipos de formatos e de temas, conforme as necessidades de cada tarefa ou estudo (Figura 3.3). Por exemplo, num estudo de uso atual do solo e seus impactos sobre o ambiente em uma região definida em um projeto, seria necessário que este projeto fosse composto de PIs com os seguintes temas: a) rede de drenagem; b) cidades, rodovias e ferrovias; c) altimetria; d) geomorfologia; e) unidades e associações dos solos; f) tipologia vegetal; g) tipos de uso e ocupação das terras. Os PIs a, b e c, quando sobrepostos, vão formar a cartografia básica da região de estudo ou mapa planialtimétrico. Os PIs restantes são os mapas especiais ou temáticos, cada um deles representa a mesma área com diferentes informações geográficas. Operações aritméticas e lógicas entre os PIs restantes são possíveis de serem efetuadas para atingir o objetivo proposto.

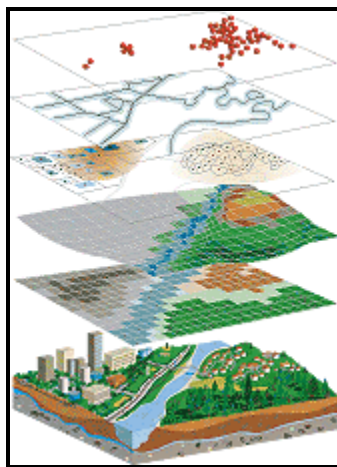


Figura 3.3 – Representação dos Planos de Informação (TMACKINNON, 2005)

Em resumo, os PIs de um projeto constituem o suporte para os diferentes tipos de dados existentes, que por sua vez, tem sua materialização nos formatos de representação de dados disponíveis no SIG utilizado.

Esta organização da informação espacial é muito conveniente para permitir que diferentes variáveis sejam integradas e que diferentes tipos de estudo possam ser realizados, combinando tão somente os fenômenos de interesse.

3.7 NEOTECTÔNICA

A neotectônica é o estudo dos eventos tectônicos mais jovens que ocorreram a níveis crustais, sobretudo a partir do Terciário Superior ou que ainda ocorrem associados às últimas orogêneses, epirogêneses, magmatismo ou a tensões crustais diversas (STEWART; HANCOCK, 1994).

Os estudos da neotectônica são de fundamental importância para a análise e interpretação da geomorfologia atual e evolução paleogeográfica mais recente.

Dessa forma, faz-se necessário uma abordagem sobre o estudo da neotectônica no Brasil como um todo, com vistas ao entendimento deste processo.

A neotectônica no Brasil iniciou-se a partir da década de 50, através dos trabalhos de Sternberg (1950). Entretanto, o maior interesse pelo assunto cresceu apenas na década de 70, principalmente, pela necessidade relacionada à construção civil de grandes obras.

Hasui (1990) considera que a neotectônica do Brasil deve abranger o intervalo de tempo geológico a partir da intensificação dos processos de deriva continental no início do Terciário até hoje, com manifestações geológicas restritas ao tectonismo intraplaca. Este pesquisador propõe que o limite da neotectônica no Brasil, embora com datação imprecisa, esteja ligado ao início da sedimentação do grupo Barreiras, o fechamento da deposição nas bacias marginais e o término das manifestações magmáticas no território nacional, em torno do Mioceno Médio (12 milhões de anos atrás).

A interação de estudos tectônicos, geomorfológicos, sedimentológicos e seus desdobramentos, constituem a peça fundamental da pesquisa neotectônica. Algumas das principais técnicas de aquisição de dados neotectônicos, encontram-se na Tabela 3.6 (STEWART; HANCOCK, 1994).

Tabela 3.6 – Técnicas de Aquisição de dados neotectônicos locais e regionais

	LOCAL	REGIONAL
Geodésicos	Controle da inclinação por triangulação, calibre da deformação, aferição de rastejamentos	Sistema de posicionamento global, interferômetro de linhas de base muito longas, rastreamento a laser de satélite
Sismológicos	Rede de microterremotos	Rede de dados sismológicos globais
Sensoriamento remoto	Fotografias aéreas	Imageamento termal, de radar e digital
Geofísicos	Eletromagnetismo, resistividade elétrica	Reflexão sísmica, anomalias de gravidade
Geoquímicos	Descarga de radônio	Monitoramento hidrológico
Históricos	Relato de testemunhas oculares, evidências documentadas	Mapas
Arqueológicos	Registro de estruturas feitas pelo homem	Catálogos de terremotos pré-históricos
Geomórficos	Relevo gerado por falhas	Índices morfométricos, padrões de drenagem
Geológicos	Trincheiras	Análise de paleo-stress

FONTE: Compilado de Stewart; Hancock (1994)

3.7.1 Geomorfologia Tectônica

O estudo das relações das feições morfológicas e das estruturas tectônicas tem sido usado no reconhecimento das principais feições morfológicas associadas aos movimentos tectônicos (FELIPE, 2003).

Segundo Bull; Wallace (1985 *apud* Felipe 2003), geomorfologia tectônica é o estudo entre os movimentos verticais e horizontais, os processos deposicional e erosivo e das formas de relevo. A geomorfologia tectônica além de examinar a interação das estruturas da crosta com os processos erosivos e deposicionais, inclui: o reconhecimento de relevos que são usados como diagnósticos na caracterização de estruturas; novas técnicas de datação e ampliação das antigas para avaliações das idades de terraços fluviais, depósitos glaciais e terraços marinhos; e o desenvolvimento de “modelos processo-resposta” para explorar a importância relativa do tectonismo na operação de sistemas geomórficos e para estimar tempos de eventos tectônicos moderados.

3.7.1.1 Aspectos Tectônicos do Relevo

O princípio fundamental da geomorfologia tectônica é que qualquer mudança na forma da paisagem implica a mudança no processo da paisagem. Tais mudanças podem ser originadas de causas erosivas, mas também de atividade tectônica. É de interesse para o estudo da geomorfologia tectônica a observação de feições em diferentes escalas que se mostram arqueadas, basculadas, em subsidência, fraturadas ou outro tipo de deformação (FELIPE, 2003).

3.7.1.2 Aspectos Tectônicos da Rede de Drenagem

A análise da rede de drenagem é uma importante ferramenta para estudos de neotectônica. Através da análise dos padrões de drenagem pode-se obter informações estruturais que ocorrem na superfície e também em subsuperfície, apresentando um comportamento ativo ou não. Segundo Borges (2000), existem duas formas de geração de drenagem, sendo a primeira pela inclinação da superfície e a segunda pela presença de descontinuidades estruturais. A implantação da drenagem necessita apenas de um grau de inclinação do terreno, sendo o elemento mais sensível aos movimentos neotectônicos.

Segundo Lueder (1959 *apud* Lima, 2000), as principais propriedades que devem ser estudadas na drenagem e em seus padrões são: grau de integração, tropia, grau de controle, sinuosidade, angularidade, ângulo de junção e assimetria. Horton (1945, *apud* Lima, 2000) introduziu a densidade de drenagem e densidade de canais. Lima (2000) acrescenta os graus de continuidade e retilinearidade.

O grau de integração compreende o perfeito relacionamento entre as drenagens de uma determinada bacia, de maneira a fornecer um padrão consistente de seus ramos, cujo traçado deve ser o mais simples possível. Deste modo, se a drenagem apresentar sinuosidade desnecessária, tal característica implicará em baixo grau de integração. Fornece informações de uma maneira indireta sobre: permeabilidade, porosidade, topografia, coesão, massividade, heterogeneidade, grau de dissolução das rochas e erodibilidade.

O grau de continuidade constitui outra propriedade importante em termos de permeabilidade, porosidade e grau de dissolução das rochas, pois depende da maior ou menor continuidade de seu traçado. É representada pela letra grega k (*kappa*). Quando o mesmo for bem marcante em termos de continuidade, com vales em V bem encaixados e contínuos, tem-se informações de alto grau de continuidade, provavelmente provocada pela elevada permeabilidade do terreno (**ka**). Assim sendo, caso ocorram dificuldades no delineamento da drenagem, isto pode significar que o terreno é muito poroso, como nos arenitos; porém, se desaparecer bruscamente por dissolução, como em calcários ou evaporitos de um modo geral, é o exemplo típico de baixo grau de integração.

A densidade de drenagem (Dd) pode ser definida por um procedimento simples através da estimativa da distância média do interflúvio, entre as drenagens de maior ordem. Assim sendo, uma baixa densidade ocorre quando a distância média do interflúvio situar-se entre 1,75-2,5 km; média densidade quando disposta entre 1-1,75 km e finalmente alta densidade, quando menor que 1 km. Para esse cálculo, aconselha-se uma média de 5 medidas.

Por meio desta propriedade podem ser obtidos informes sobre a ocorrência de terrenos porosos (baixa densidade), ou então impermeáveis (alta densidade), além de indicações referentes ao índice pluviométrico da região. Em suma, através dessa propriedade são encontrados dados sobre: permeabilidade, massividade, porosidade, litologias e condições climáticas.

A densidade de canais refere-se à quantidade de canais existentes por área, dentro do mesmo conceito para densidade de drenagem. Dá indicação de permeabilidade, porosidade e solubilidade.

A tropia indica se as diferentes drenagens que compõem um determinado padrão mostram uma ou mais orientações preferenciais. Quando tal fato ocorrer, pode-se admitir a existência de um fator estrutural controlando a drenagem ou seus padrões. Deste modo, se a tropia for unidirecional pode-se afirmar que o grau de controle é alto; caso não haja uma orientação preferencial (bidirecional ou tridirecional), o grau de controle é médio a fraco. A indicação da tropia é feita por uma ou mais setas de acordo com sua orientação. A tropia pode ser multidirecional, sendo que nesta situação é preciso observar se a mesma é ordenada ou desordenada; o primeiro caso pode indicar a presença de estruturas circulares.

A sinuosidade refere-se às curvas delineadas pela drenagem, e pode ser aberta, fechada, ou então se situar em um grau intermediário. Não pode ser confundida com meandro; é assinalada por um segmento curvo, que vai indicar o grau de continuidade, se fechada será alto; se aberta será baixo, ou então um tipo intermediário. A presença de uma marcante e abrupta sinuosidade poderá mostrar uma anomalia no terreno, retratada por um controle estrutural ou até mesmo litológico.

A retilinearidade, de forma distinta da sinuosidade, evidencia-se quanto a drenagem mostrando orientação retilínea, sendo também representada por um segmento de reta. Caso a retilinearidade seja de, pelo menos, 50% do comprimento total ela será alta; menos de 25% será baixa e entre 25-50% média.

Angularidade e ângulo de junção relacionam-se com o controle estrutural da drenagem de uma determinada área, merecendo ser observado o ângulo que os ramos secundários fazem com a drenagem principal. Os ângulos agudos indicam ausência de controle, enquanto que os retos mostram a presença de forte controle estrutural. O obtuso deve “denunciar inversão de caimento da drenagem”, sugestivo de rejuvenescimento, ligado a efeitos de neotectônica.

A angularidade refere-se às mudanças bruscas de direção da drenagem. A alta angularidade é evidência de uma mudança brusca da drenagem, ao passo que a baixa angularidade é a mudança pouco marcante e geralmente suave e gradual. A alta angularidade deve indicar a influência de fatores estruturais.

A assimetria é um parâmetro de grande relevância, por exibir o caimento do terreno, e/ou estruturas planares primárias ou secundárias. Para sua identificação é necessário avaliar o comprimento dos afluentes em relação ao rio principal e seu divisor. De uma maneira geral, a assimetria forte é marcada pela presença de afluentes bem curtos, ao passo que os afluentes longos indicam fraco caimento. Geralmente uma assimetria relaciona-se à presença de blocos basculados, cujo limite é demarcado por uma drenagem retilínea. No caso de apresentar-se sob a forma de extensos terraços ligados à vasta planície de inundação, com drenagem meandrante, pode denotar várias fases de basculamento. Observar os diferentes comprimentos dos afluentes em uma determinada região, em que uns são muito extensos em contraposição a outros bem curtos, indicando distintas assimetrias.

A Figura 3.4 abaixo apresenta as principais propriedades de drenagem que devem ser analisadas nos padrões de drenagem.

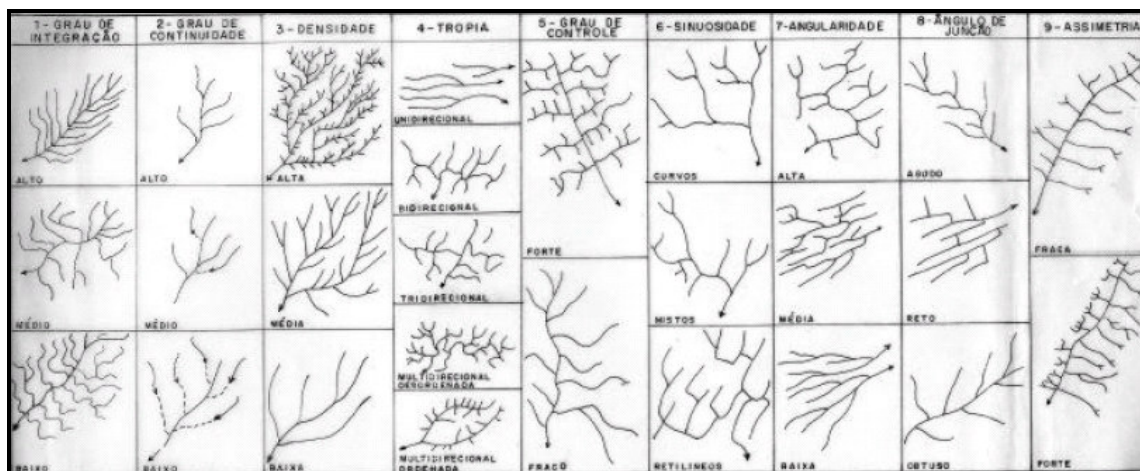


Figura 3.4 – Propriedades da Drenagem. Principais propriedades que devem ser analisadas nos padrões de drenagem, objetivando identificar parâmetros físicos do terreno (adaptado de LIMA, 2000)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o enquadramento da área de estudo, delimitou-se as bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã com a utilização do programa WMS (*Watershed Modelling System*) para modelagem de bacia, e, posteriormente, exportou-se os arquivos criados como polígonos no formato *shapefile* (*.shp), para serem utilizados nos programas *ArcGIS 9.0* e *ENVI 4.0*.

Os dados de entrada: grid de hidrografia; grid de direção de fluxo e acumulação de fluxo; e o modelo digital de elevação, necessários para a delimitação de bacias hidrográficas, utilizando o programa WMS foram gentilmente cedidos pelo SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia).

O recorte para extração dos dados de entrada é um retângulo. Este compreende as duas bacias hidrográficas estudadas. As latitudes e longitudes superiores esquerdas são 02° 09' 36" S e 56° 37' 48" W, respectivamente; e latitudes e longitudes inferiores direitas são 03° 10' 48" S e 55° 20' 24" W, respectivamente.

Efetuiu-se pesquisa para identificação dos dados disponíveis das bacias hidrográficas do rio Aruã e igarapé Juruti Grande, considerando os aspectos: localização; clima; geologia; geomorfologia; estradas; pedologia; hidrografia e vegetação para elaboração dos mapas temáticos. Estes dados foram organizados e compilados para a elaboração do sistema de informação geográfica.

O delineamento da drenagem foi extraído das bases cartográficas do SIPAM/IBGE (2000), das imagens de radar *SRTM* (2000), do radar do Projeto RADAM BRASIL (1972) e das imagens *LANDSAT-TM*, visando a confecção do mapa de discontinuidades que ocorrem nas bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã, sendo estes baseados na assimetria das drenagens.

O mapa altimétrico foi elaborado a partir do modelo digital de elevação fornecido pelo SIPAM/IBGE (2000), no ambiente do programa *ArcGIS 9.0*.

O mapa de declividade foi extraído da imagem de radar *SRTM* (*Shuttle Radar Topography Mission*), órbita/ponto 228/062, do ano 2000, também no ambiente do programa *ArcGIS 9.0*, utilizando a extensão "*spatial analyst*", sendo seus valores

classificados em porcentagem com base no sistema proposto por De Biase (1993), que apresenta correlação entre classes de declividade e relevo.

As imagens referentes ao ano de 1986 e 1997 (*Landsat-5*, sensor TM) e 2001 (*Landsat-7*, sensor ETM+) foram baixadas já georreferenciadas e ortorretificadas junto ao site da GLCF (*Global Land Cover Facility*), sendo efetuada a composição de bandas R5G4B3, através da função “*Composite Bands*”, na caixa de funções “*ArcToolbox*” do software *ArcGIS 9.0* e, posteriormente sendo criado um nome de saída para o arquivo, no formato TIF, conforme imagem abaixo.

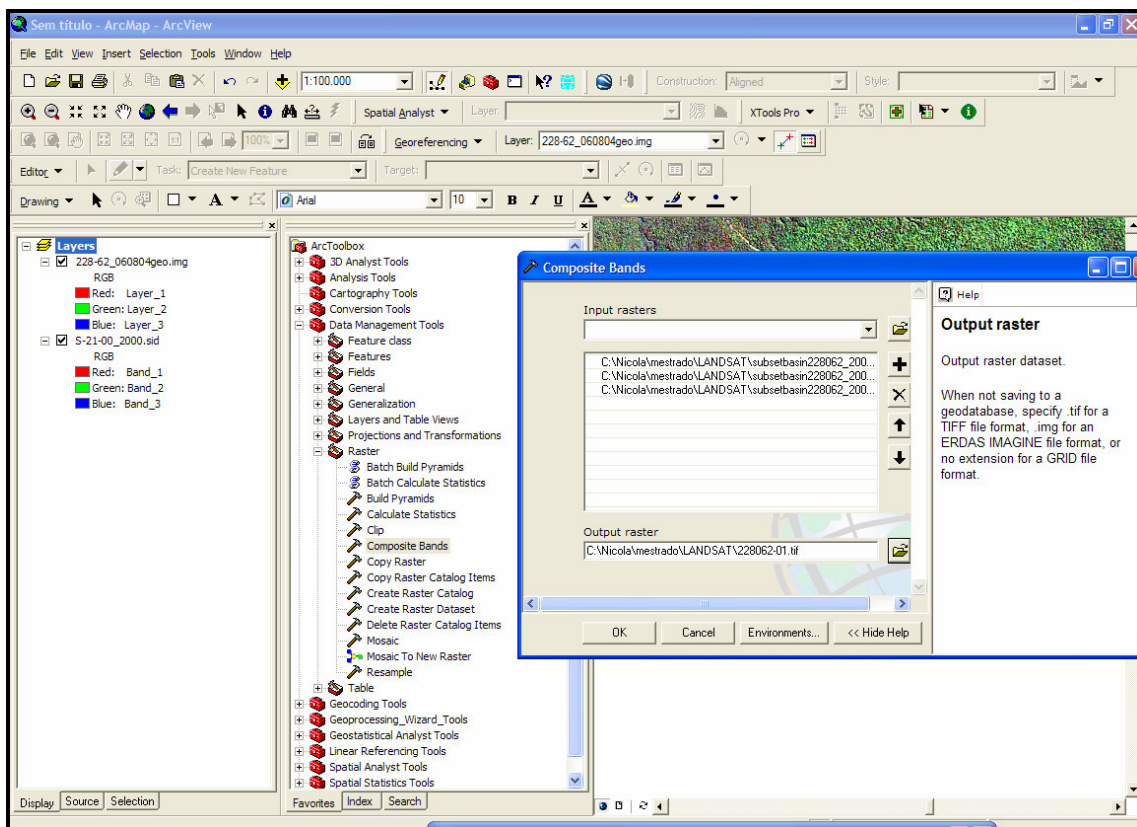


Figura 4.1 – Composição de bandas

Após a composição de bandas da imagem referente ao ano de 2005 pelo mesmo procedimento que mostra a Figura 4.1, esta foi georreferenciada através do processo de registro imagem-imagem no software *ArcGis 9.0*. O registro seguiu o modelo de transformação polinomial de 1ª ordem, com a localização geográfica de 30 pontos de controle, que foram definidos pela coincidência das feições terrestres entre a imagem-base

georreferenciada e a imagem digital bruta de 2005. O erro médio RMS (*root mean square*) medido apresentou valor menor que 1 *pixel* (30 metros) para esta imagem.

O procedimento utilizado para discriminar a grande heterogeneidade de uso do solo existente nas bacias hidrográficas da área de estudo, visando o mapeamento foi a interpretação visual, assumindo-se que estes procedimentos de análise possuem um certo grau de subjetividade (adaptado de KUX; BLASCHKE, 2005).

A partir de trabalhos de campo realizados em março/2005, efetuou-se reconhecimento da área de estudo, definindo-se as classes de uso e cobertura do solo propostas, que são: **água**, corpos d'água indistintos sendo agrupadas as seguintes classes: rios, lagos, igarapés, ou outro corpo d'água registrado nas imagens; **área antropizada**, incluindo as seguintes classes temáticas: povoados, sede de propriedades rurais, agricultura, pastagem e solo exposto; **capoeira**, que é a regeneração da floresta anteriormente antropizada, sendo formada por pequenas árvores de troncos finos; **floresta**, incluindo todos os “tipos de vegetação”, apresentando poucos ou ausência de vestígios de interferência humana, exceto para áreas de sucessão ecológica de secundárias com aproximadamente 15 anos ou mais, vulgarmente conhecidos como “capoeirão”, sendo muito difícil a separação das classes utilizando o sensor *TM* (*Thematic Mapper*) e *ETM+* (*Enhanced Thematic Mapper*), bem como a escala utilizada neste trabalho, **floresta em exploração**, correspondente a áreas onde ocorre a atividade de exploração seletiva de madeira, caracterizando-se pela distribuição da infra-estrutura de exploração como pátios de estocagem de madeira, estradas principais, secundárias e de arraste; e, as classes de **nuvem** e **sombra de nuvem**.

A integração dos dados obtidos em nível orbital e de campo, com auxílio de GPS e registros fotográficos, numa única base cartográfica georreferenciada num SIG, permitiu uma maior interatividade dos diferentes tipos e níveis de informação para análise integrada da evolução, resultando num mapeamento com maior confiabilidade e precisão.

Para melhor compreensão dos procedimentos computacionais são apresentados a seguir, os passos da execução desses programas.

Após o georreferenciamento e seleção da área de estudo, efetuou-se a classificação das imagens, visando obter as classes de uso de solo e vegetação. O método

de classificação não-supervisionado utilizado foi o *isodata* dentro da plataforma *ENVI 4.0* (SULSOFT, 2006).

O método de classificação *isodata* é, provavelmente, o mais conhecido e é descrito como um meio de interpretação de imagens de sensoriamento remoto assistida por computador. O programa de classificação identifica padrões típicos nos níveis de cinza. Esses padrões são classificados efetuando-se visitas de reconhecimento a alguns poucos exemplos escolhidos para determinar sua interpretação. Neste tipo de classificação, as classes são determinadas pela análise de agrupamentos ("*cluster analysis*"). Os pixels nas áreas de treinamento são, então, submetidos a algoritmos de agrupamento ("*clustering*"), que determinam o agrupamento natural dos dados, considerando sua distribuição num espaço de *n* dimensões (no caso, bandas espectrais). Possui como vantagem não requerer um conhecimento prévio da área de estudo.

No menu de Registro do *software ENVI 4.0*, selecionou-se a opção "*Isodata*", no submenu "*Unsupervised*". Em seguida, apareceu a caixa de diálogo do arquivo de entrada para a classificação (Figura 4.2). Determinou-se o número de classes para as quais o computador deve calcular o algoritmo de agrupamento, adotando como número mínimo, 10 e número máximo, 20 classes, e 10 interações (repetições do processo), a cada interação recalcularam-se e reclassificaram-se os pixels, considerando os novos valores médios. Os outros valores permaneceram "*default*". Nomeou-se o arquivo de saída gerado, em seguida, clicou-se no botão "OK" para aceitar os parâmetros da classificação *isodata*.

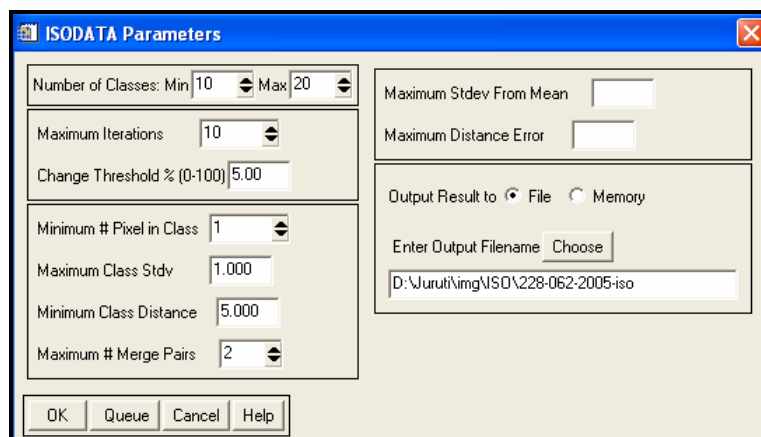


Figura 4.2 – Caixa de diálogos dos parâmetros de classificação *isodata*

A interpretação e refinamento da classificação foi utilizada no ambiente gráfico do *ClassEdit do Software ENVI 4.0*, que possibilita ao usuário corrigir áreas que foram interpretadas incorretamente no processo de classificação. Sua idéia básica é a de um simples editor de valores digitais, onde uma classe é representada pelo valor numérico do *pixel*, e esse *pixel* pode ser atribuído à uma outra classe, simplesmente mudando o seu valor numérico. O *ClassEdit* é iniciado pelo menu de funções interativas (na janela principal), seguindo os passos conforme mostrado na Figura 4.3; os dados de entrada são as três bandas R, G, B da imagem original, e o resultado de classificação. Caso a imagem de entrada exceda certo tamanho, abre-se um diálogo perguntando se o usuário prefere executar o programa completamente na memória RAM do computador (requer memória disponível maior do que a indicada na janela), ou se ele prefere a execução em disco, o que não foi o caso deste trabalho.

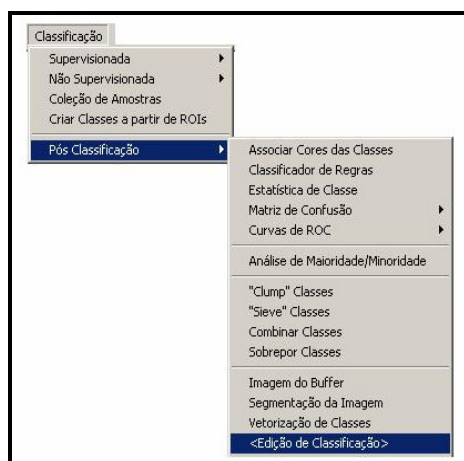


Figura 4.3 – Passos para habilitar o aplicativo *ClassEdit*

Após o fechamento dos diálogos iniciais apareceu uma janela com os seguintes elementos gráficos (Figura 4.4).

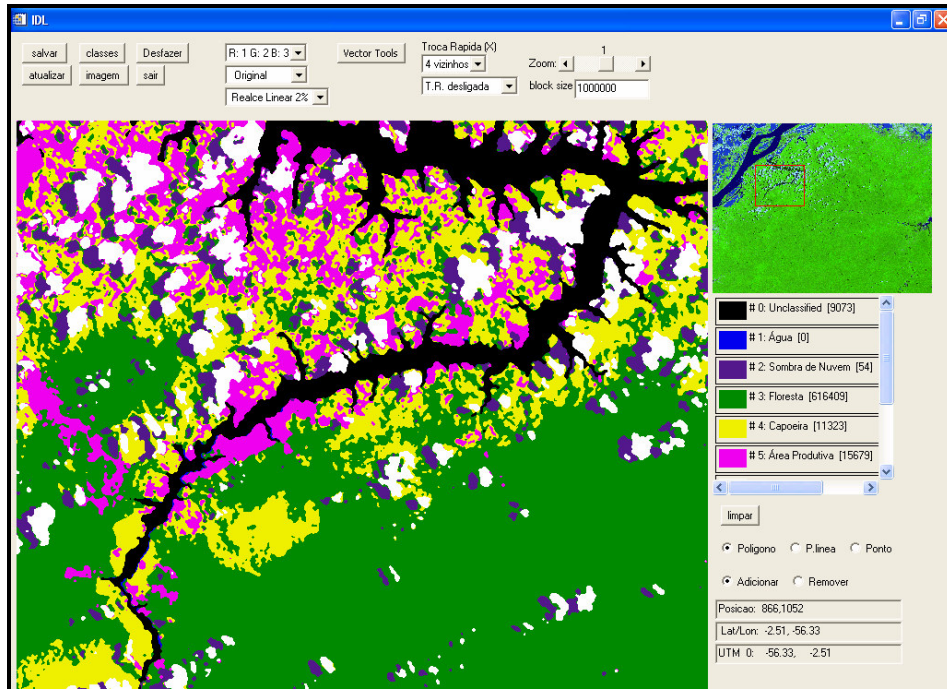


Figura 4.4 – Tela de Apresentação do *ClassEdit*

Na parte superior da janela localizam-se os *menus*, detalhados em seguida. No canto superior direito da janela aparece uma reamostragem da imagem original, seguindo os conceitos da janela global ("*scroll window*") do ENVI: um retângulo vermelho, que pode ser deslocado clicando-e-arrastando com o botão esquerdo do *mouse*, define a área visualizada na janela principal. O fator de ampliação na janela principal define-se com o *slider* "*zoom*", no canto superior direito da janela.

Abaixo da imagem reamostrada aparece uma lista das classes da imagem processada, com cor, nome e conteúdo da classe (com *slider*, pois existem mais de 5 classes). No canto inferior direito existem os botões para a definição das áreas de interesse, e uma indicação da posição atual do cursor, da classe (só para imagem principal), e posição geográfica caso a imagem original seja georreferenciada.

Existem muitos modos de visualização para a janela principal (veja abaixo). A imagem reamostrada sempre aparece com a combinação de bandas escolhida na inicialização do *ClassEdit*, após aplicado um realce linear de 2%.

Aparece também uma pequena janela no canto superior direito da tela (em geral oculto atrás da janela principal). O acionamento do "*->ENVI*"; preserva a tabela de cores dos aplicativos e só tem importância para quem tem uma configuração do *display* de 256

cores (portanto desaconselhável para o trabalho com imagens de satélite). Neste caso deve-se usar este botão para reestabelecer as tabelas de cores do *ENVI*, caso o usuário queira trabalhar no *ENVI* sem sair do *ClassEdit*.

O objetivo do *ClassEdit* é poder modificar o resultado de classificação. Para poder efetuar isso com a máxima eficiência, o *ClassEdit* dispõe de opções poderosas e versáteis de visualização e edição, permitindo a seleção de um fundo (por exemplo a imagem original R,G,B; a imagem filtrada; uma banda só, etc.) e de qualquer combinação de classes para ser sobreposta ao fundo. As classes a serem sobrepostas podem ser selecionadas clicando no quadrado colorido ao lado do número e nome da classe ou pressionando as teclas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, a, b, c, d, e, f, para até 15 classes.

Torna-se importante para uma avaliação eficiente da qualidade da classificação atual a possibilidade de mudar rapidamente entre a imagem (em geral selecionado para o fundo) e o resultado da classificação (as classes selecionadas), o que é efetuado no *ClassEdit* apertando a tecla "barra de espaço". Exemplificando: Após ter carregado o *ClassEdit*, seleciona-se as classes 1, 2, 4 e 6 digitando as teclas 1, 2, 4 e 6 no seu teclado (ou clicando com botão esquerdo nos quadrinhos coloridos referentes à essas classes). Na medida em que se digitam as teclas, as classes vão aparecendo uma por uma, sobrepostas à imagem original. Apertando-se a tecla "barra de espaço" uma vez fará com que desapareçam as classes da tela (permanecendo a imagem original); apertando-se novamente a tecla "barra de espaço" fará com que as classes selecionadas reapareçam mais uma vez. Essa mudança entre "classes ligadas" e "classes desligadas" é efetuada com bastante agilidade, permitindo desta forma a avaliação simultânea da imagem e do resultado de classificação.

Uma vez identificados os *pixels* aparentemente "errados" na classificação, existem essas possibilidades para reclassificá-los:

- 1) Marcando os *pixels* com a seleção tipo "Polilínea" ou "Ponto", e associando uma nova classe à todos os *pixels* marcados ("Expandir classe");
- 2) Traçando um polígono ao redor dos *pixels*, e associando uma nova classe à todos os *pixels* dentro do polígono ("Expandir classe");
- 3) Traçando um polígono ao redor dos *pixels*, e redefinindo determinados *pixels* a partir de critérios escolhidos pelo usuário ("Redefinir Pixels").

Nos primeiros dois métodos o usuário apenas escolhe a nova classe a ser associada à todos os *pixels* no polígono. No terceiro método aparece uma janela oferecendo as seguintes opções (Figura 4.5):

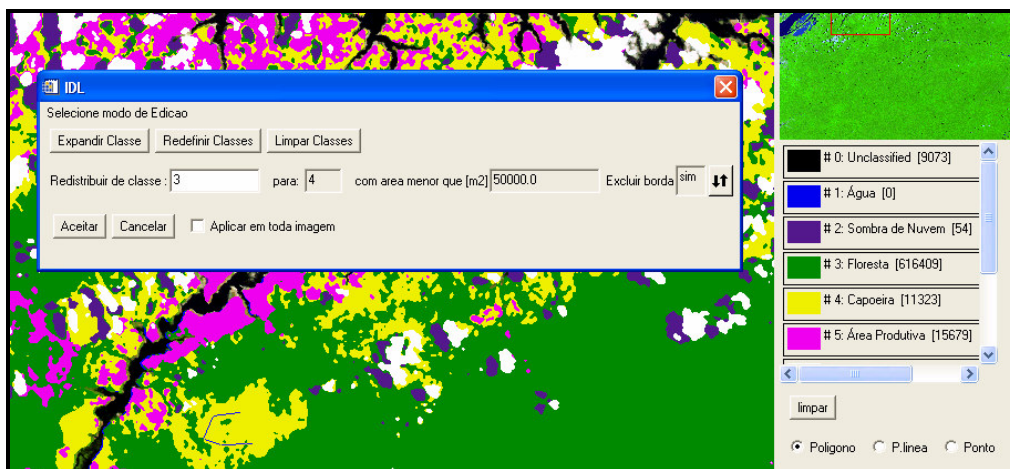


Figura 4.5 – Janela de Modo de Exibição de Classes

No terceiro método de reclassificação destacam-se as seguintes funções:

Função Redistribuir classe: Aqui o usuário pode definir quais a(s) classe(s) que serão afetadas pela redistribuição (os números têm que ser separados por espaço, vírgula ou ponto-e-vírgula). No exemplo acima seriam escolhidos os pixels das classes 3 (classe de florestas).

Função Para: Aqui consta a nova classificação dos pixels selecionados. No exemplo acima o destino final dos pixels selecionados (aqueles que resolvem todas as condições) seria a classe 4 (capoeira).

Função Com Área Menor Que (m²): Neste campo o usuário pode definir um limite para as áreas a serem modificadas. Apenas áreas contínuas menores do que os limites indicados serão redistribuídos. A classe três no exemplo acima (Figura 4.5) que caracteriza a classe de floresta, e no polígono traçado pelo usuário, se esta área for menor do que 50.000 m², então estes *pixels* serão reclassificados para a classe 4 (Capoeira). Caso a imagem original não seja georreferenciada, esse limite deve ser dado em *pixels*.
Observação: Colocar o valor 0 como limite dispensa a avaliação de área.

Função Excluir borda: Ao traçar o polígono, o usuário pode (no exemplo acima, com classe 3 = floresta) ter cortado um fragmento de floresta ao meio; metade do fragmento ficou dentro do polígono, a outra metade fora. Caso essa metade do fragmento dentro do polígono seja menor do que o limite, o algoritmo normalmente redistribuiria esses *pixels* para a nova classe 4 (opção Excluir borda: não). Com a opção Excluir borda: sim (o padrão) as áreas cortadas pelo contorno do polígono serão automaticamente descartadas (inalteradas).

Durante a execução do trabalho, utilizou-se os três métodos de reclassificação, sendo propostas as seguintes classes: água, área antropizada, capoeira, floresta, floresta em exploração, nuvem e sombra de nuvem.

Após o término da reclassificação, o produto final apresentou ruído, devido a presença de pixels isolados, sendo necessário a homogeneização da classificação. Para isso, aplicou-se um filtro mediano 3x3 que visa justamente diminuir o ruído apresentado nas imagens, onde o *pixel* central da máscara é substituído pelo valor mediano dos seus vizinhos, tendo como vantagem preservar as bordas na imagem, além de homogeneizar a imagem final.

Selecionou-se o comando Filtros-Convolução, e escolheu o tamanho da máscara na caixa de diálogos dos parâmetros de convolução, nomeando o arquivo. Carregou-se o resultado da filtragem (uma imagem em preto e branco) numa nova tela. Para colorir essa imagem, mudou-se o cabeçalho com um clique no botão "Editar Cabeçalho de Arquivo *ENVI*", do menu "Arquivo". Mudou-se o tipo de arquivo para "*Classification*" e digitou-se o número das classes incluídas. Para visualizar a imagem filtrada nas mesmas cores do resultado da classificação, chamou-se no menu da janela gráfica a cadeia de comandos "Mapeamento de Cores" - "Mapeamento de Cores de Classificação", mudando-se os nomes e as cores das classes.

Em seguida, exportou-se a imagem (raster) para vetor, segundo é apresentado na Figura 4.6. No menu principal do *ENVI*, clicou-se no ícone "Vetor" e na opção "Conversão Raster para Vetor".

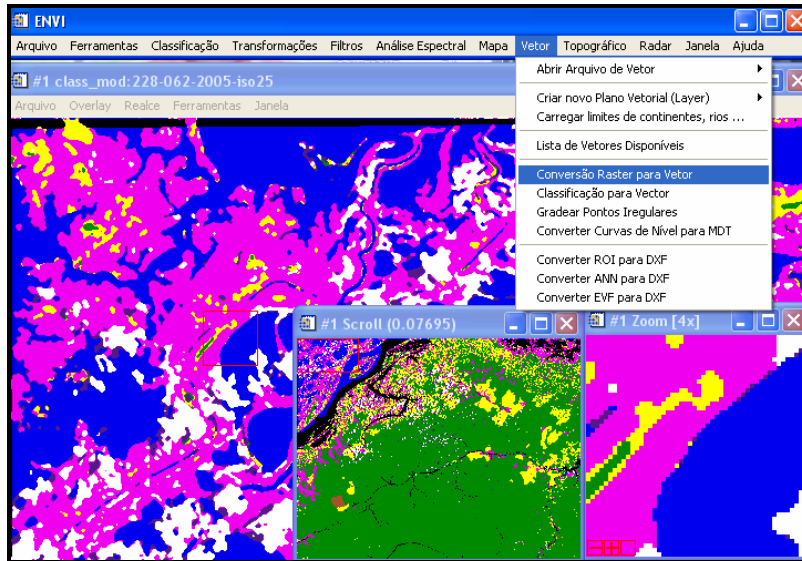


Figura 4.6 – Conversão de raster para vetor

Aparece a caixa “*Raster to Vector Input Band*” (Figura 4.7), onde deve ser escolhida a imagem a converter.

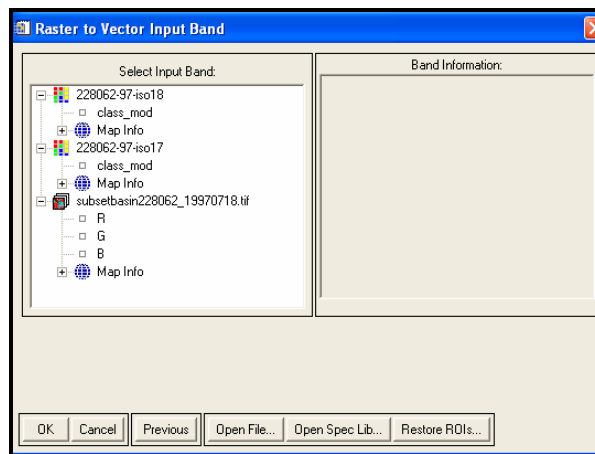


Figura 4.7 – Janela “*Raster to Vector Input Band*”

Após a escolha da imagem a converter, clicou-se em “OK”, e selecionou-se a classe que foi vetorizada, repetindo este procedimento até a conversão de todas as classes. Inicialmente, os vetores foram salvos em EVF (*Envi Vector File*), formato próprio do programa *ENVI* e, logo em seguida converteu-se para o formato “*shapefile*” (SHP).

As classes temáticas, em formato *shapefile* foram abertas no programa *ArcGIS 9.0* e com a utilização da extensão “*Xtools Pro 3.0*” quantificou-se as áreas de cada classe

temática. Os passos para executar a operação foram inicialmente, habilitar a extensão “Xtools Pro 3.0”, depois clicou-se na opção “Table Operations”, aparecendo uma paleta de opções, onde escolheu-se “Calculate Area, Perimeter, Length, Acres and Hectares”, conforme é mostrado na Figura 4.8.

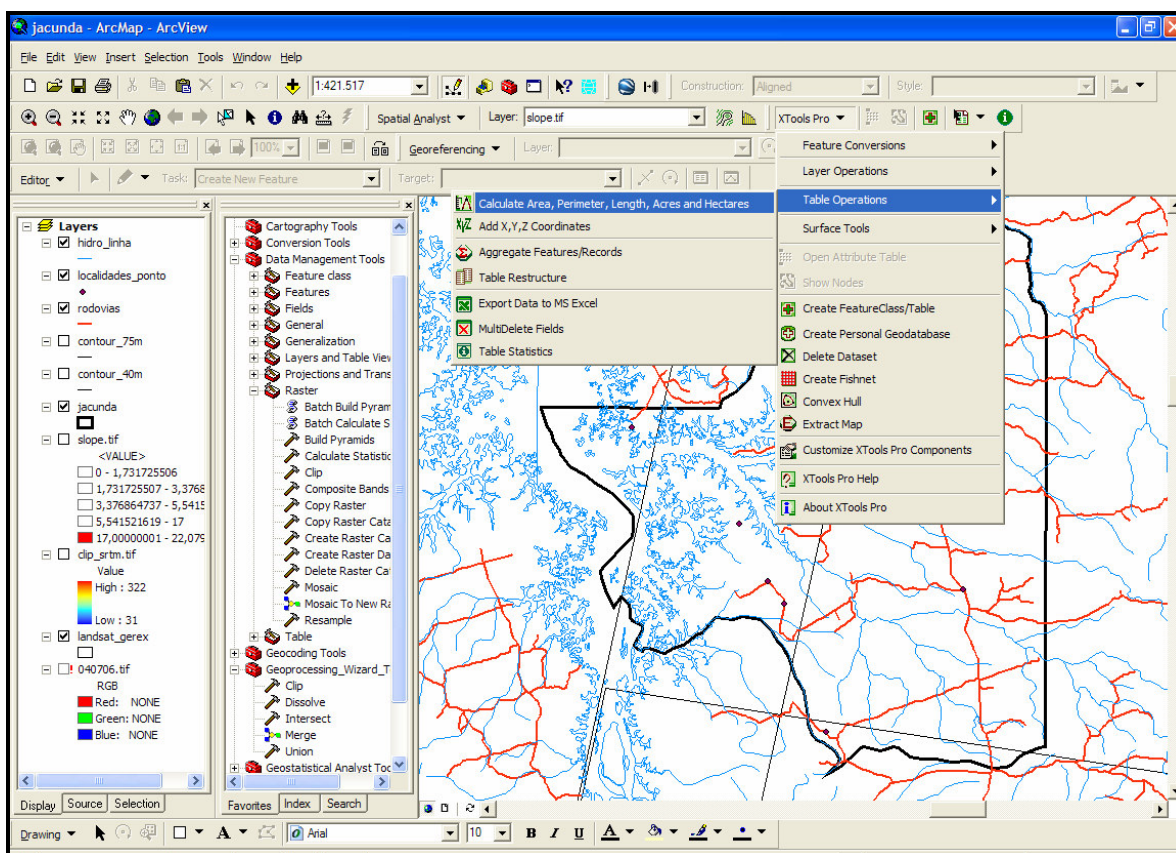


Figura 4.8 – Procedimento para cálculo de áreas no programa ArcGis 9.0

Segundo Moreira (2005) a amostra de uma área grande pode conter 75 a 100 unidades de pontos coletados, visando estimar a exatidão do mapeamento.

Para a avaliação da acurácia da classificação com a verdade de campo foi utilizado o erro de comissão e erro de omissão com aplicação do índice de *kappa*. E, neste trabalho, durante visita de campo realizada em setembro/2006, definiu-se cerca de 76 pontos de coletas, abrangendo o platô que divide as duas bacias hidrográficas, bem como parcelas de áreas contidas em cada uma das bacias, a fim de comprovar a verdade terrestre e possibilitar uma maior exatidão no mapeamento de referência, ou seja, no mapa de uso do

solo e vegetação. As comprovações das averiguações das atividades de campo foram registradas e realizadas análise do bioma classificado, de acordo com as classes de uso pré-definidas. Para cada classe foi representada sua porcentagem em relação à área total, discutindo-se os resultados apresentados.

As comprovações da averiguação das atividades de campo foram registradas através de fotografias como análise do bioma classificado (vide anexo A).

Para a abordagem multitemporal foram utilizadas imagens dos períodos de 1986, 1997, 2001 e 2005, permitindo o acesso a informações sobre a evolução do uso da terra e das alterações quantitativas e qualitativas da cobertura vegetal natural possibilitando desta forma a análise dos biomas alterados entre os diferentes anos comparados. As imagens registradas pelos satélites da Série *Landsat 5 e 7* serviram como base de informações.

Utilizou-se do recurso de construção e aplicação de “máscara” para uma melhor padronização e homogeneização da classificação, que consistiu em levantar a classe “**floresta**” para o ano 2001, e, em seguida aplicar uma máscara desta área para 1997, pois se considerou que áreas de floresta em 2001, já eram floresta em 1997. O mesmo procedimento foi adotado comparando o tema “**floresta**” entre 1986 e 1997.

Para a classe “**água**”, após a classificação da imagem de 2005, que possui data de passagem no período mais seco (10 de setembro), comparando-se com o período das outras cenas, construiu e aplicou-se a máscara para os outros anos.

4.1 EQUIPAMENTOS E PROGRAMAS UTILIZADOS

No desenvolvimento das atividades, foi utilizada infra-estrutura do Setor de Vigilância Ambiental do SIPAM, Setor de Sensoriamento Remoto do IBAMA, além de computador pessoal.

A configuração básica do computador pessoal utilizado foi a seguinte: processador com 2,8 Ghz, disco rígido de 80 Gb, memória RAM de 1024 Mb, unidade leitora e gravadora de CD, placa de vídeo com 128 Mb, placa de rede, mouse ótico e teclado.

Utilizou-se também GPS⁴ *Magellan Meridian Color*, 12 canais com cabo de transferência de dados, e câmera digital SONY, modelo W 30, com resolução de 6.0 mega *pixels*.

A integração e processamento das informações foram realizadas pelos programas *ArcGIS 9.0 for Windows*, *ENVI 4.0* e *WMS*.

Na tabela 4.1 abaixo estão listadas bases cartográficas e produtos de sensoriamento remoto usados neste trabalho, bem como suas características.

Base Cartográfica					
Produto / Fonte	Escala	Folhas	Projeção	Formato	
Bacias Hidrográficas do Igarapé Juruti Grande e rio Aruã (SIPAM/IBGE). Temas: Hidrografia, Delimitação, Estradas, Localidades, Pedologia, Vegetação, Geologia, Geomorfologia, Falhas, Fraturas	1:250.000	Juruti	Geográfica	Digital Shapefile (*.shp)	
Carta dos Títulos Minerários do Estado do Pará (DNPM)			Geográfica Datum Planimétrico SAD 69	Digital Shapefile (*.shp)	
Carta da Base Cartográfica do Município de Juruti (IBGE, 1988)	1:250.000	Juruti SA-21-Z-A	Geográfica	Analógico	
Carta do Estado do Pará (IBGE) Tema: Limites e Sede Municipais,			Geográfica	Digital Shapefile (*.shp)	
Imagem de Radar					
Órbita/Ponto	Sensor	Data	Folha	Formato	
228/062	SRTM	2000		Digital	
RADAM BRASIL		1972	SA-21-Z-A	Digital	
Modelo Digital De Elevação		2000		Digital	
Imagens de Satélite					
Órbita/Ponto	Satélite	Sensor	Data	Bandas	Formato
228/062	LANDSAT-5	TM	05.08.1986 18.07.1997 10.09.2005	3,4,5	Matricial (“raster”) – Digital.
228/062	LANDSAT-7	ETM+	06.08.2001	3,4,5	Matricial (“raster”) – Digital.

⁴ *Global Position System* (Sistema de Posicionamento Global)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A organização dos dados espaciais das bases disponíveis do SIPAM/IBGE (2000), possibilitou a representação cartográfica abaixo (Figura 5.1), onde foram apresentados todos os temas em um único mapa.

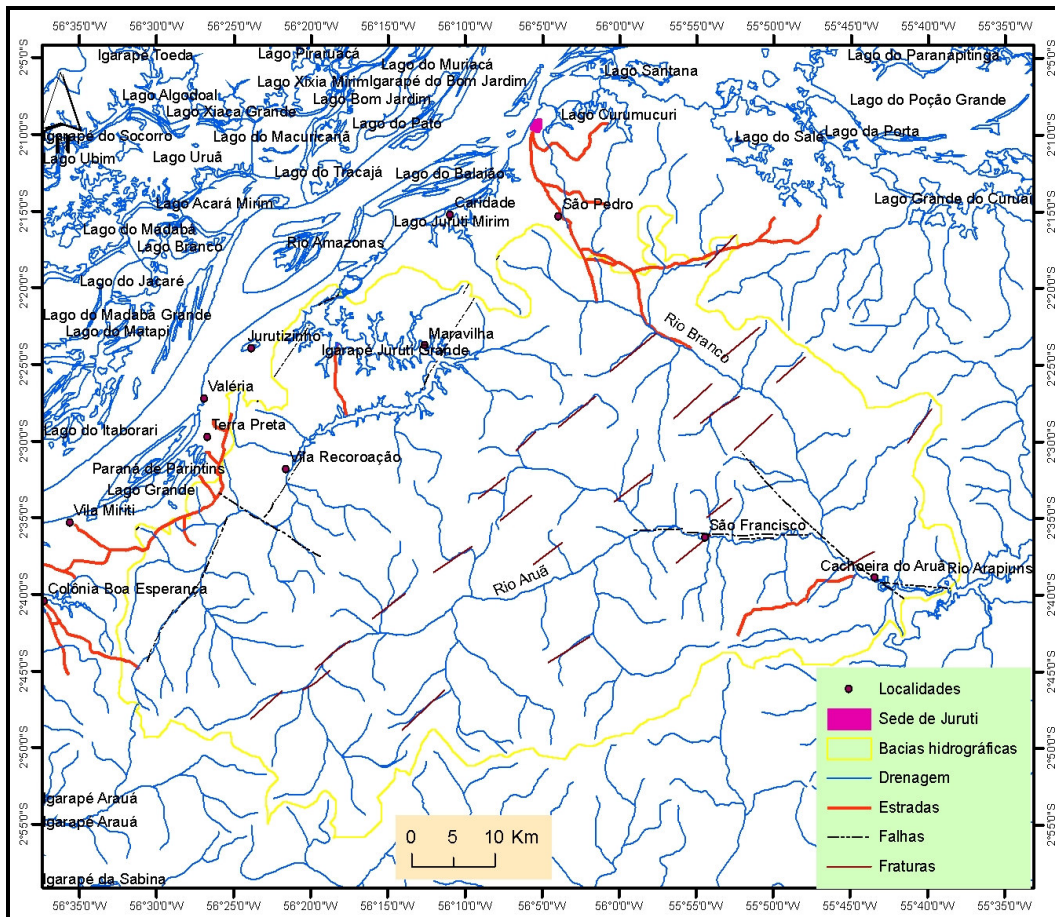


Figura 5.1 – Mapa elaborado com as bases cartográficas oficiais disponíveis (SIPAM/IBGE, 2000)

Utilizando os recursos das bases oficiais disponíveis associados à interpretação visual dos produtos sensores remotos (imagens do satélite *Landsat* 1986, 1997, 2001 e 2005), dos radares *SRTM* (2000) e *GEMS 1000* – Projeto RADAM BRASIL (1972), bem como os dados coletados em campo, elaborou-se um outro sistema de informação geográfica com dados de drenagens e estradas mais completos (Figura 5.2).

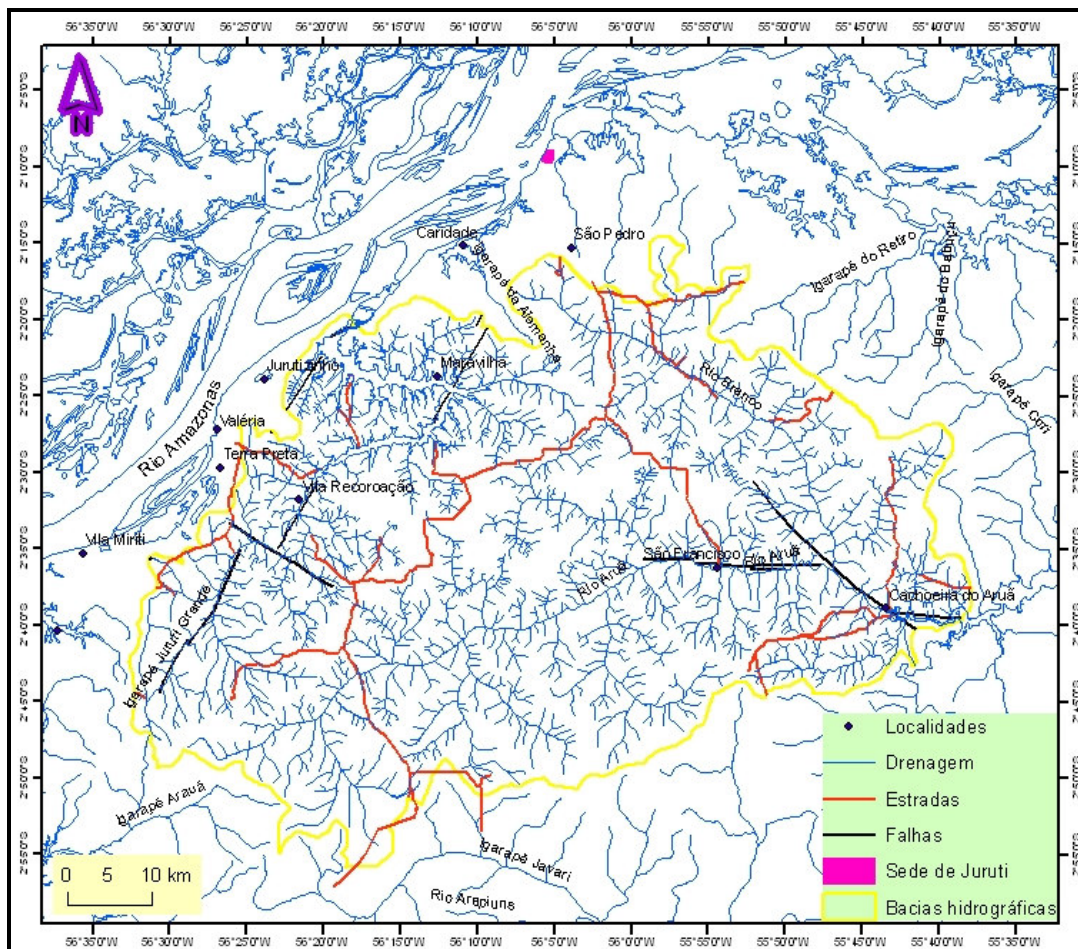


Figura 5.2 – Mapa de drenagem e estradas detalhado da área de estudo

Com base no produto gerado nesta dissertação (Figura 5.2) detectou-se cerca de 350 km de estradas situadas dentro da área de estudo.

O mapa abaixo (Figura 5.3) foi produzido utilizando-se o modelo digital de elevação fornecido pelo SIPAM/IBGE (2000). Este apresenta as cotas topográficas com variação de 25 metros, com destaque para algumas das principais drenagens da região oeste do Pará, como o rio Amazonas, o rio Arapiuns, o rio Aruá e o igarapé Juruí Grande.

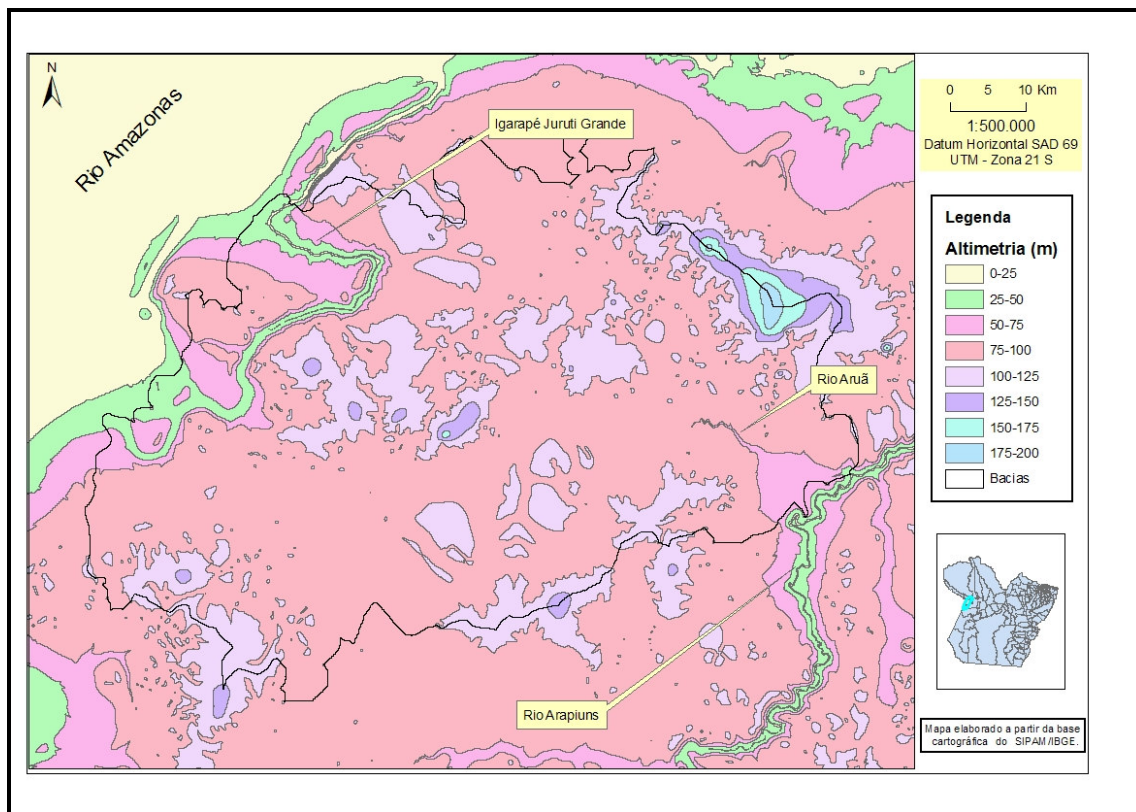


Figura 5.3 – Mapa altimétrico extraído do modelo digital de elevação (SIPAM/IBGE, 2000)

A cota mais baixa corresponde à drenagem mais importante de toda a bacia Amazônica, que é o rio Amazonas. Seu afluente direto, o igarapé Juruti Grande possui gradiente pequeno, situando em cota que varia entre 25 a 75 metros.

O rio Aruã está situado em altitude um pouco mais elevada, com variação entre 50 e 100 metros, indo desaguar no rio Arapiuns, que por sua vez é afluente direto do rio Tapajós.

Em seguida, elaborou-se o mapa de descontinuidades (Figura 5.4), extraídos a partir dos elementos hidrográficos. Para a elaboração deste mapa extraiu-se todas as ordens de drenagem. Após esta fase procedeu-se a retificação da rede, seguindo os procedimentos apontados em Schiedegger (1981) e Summerfield (1991).

A bacia hidrográfica do igarapé Juruti Grande é constituída por canais com forte controle estrutural das direções E-W, NE-SW, NNE-SSW e NW-SE, que também controlam o canal principal. O rio Aruã tem orientação NE-SW no seu curso superior, e orientação E-W até a sua foz afogada no rio Arapiuns. Seu vale, até a confluência com o rio

Branco, é assimétrico, apresentando na margem direita, afluentes maiores, e na margem esquerda, afluentes curtos. Esses afluentes estão orientados nas direções NW-SE e N-S (CNEC, 2004).

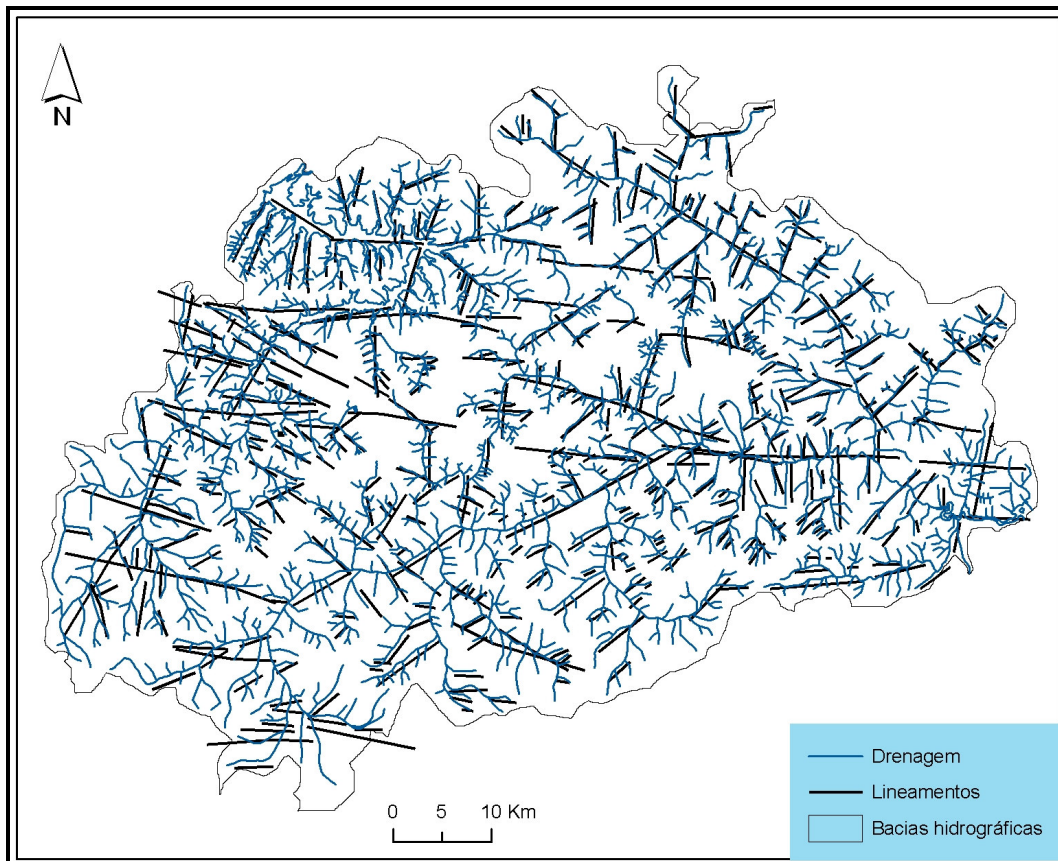


Figura 5.4 – Lineamentos de drenagem da área de estudo

A Figura 5.5 apresenta as interpretações geométricas e cinemáticas das principais estruturas neotectônicas existentes na área de trabalho com análise da rede de drenagem, considerando-se apenas os segmentos retos e assumindo que os mesmos representariam lineações de drenagem. No sentido proposto por Soares e Fiori (1976), detectaram-se as direções: NE-SW, bem marcada e caracterizando feixes extensos, marcados por conjuntos de lineações isoladas e por alinhamentos, concentrando-se sobretudo na porção SE da região investigada, NNE-SSW concentrada na porção NW da área, particularmente próximo ao rio Amazonas. É também composta pela organização de alinhamentos de drenagem. Tanto a direção NE-SW, quanto a NNE-SSW têm organizações que indicam assimetria, podendo caracterizar cisalhamento simples e conseqüente

basculamento de blocos. Uma interpretação inicial sugere a geração de *landforms* tectônicos secundários, associados a movimentação *dip-slip* normal. Este quadro apresentaria certa inconsistência com o modelo macro-regional, ou indicaria complexidades no mesmo. Uma outra ponderação é a de que não se pode desconsiderar os efeitos reológicos decorrentes da presença do “sal” em profundidade, frente aos processos deformacionais neotectônicos (Costa, 2002). Outra direção destacada é a E-W, que segmenta a área ao centro na altura do paralelo (2°30' S). Dispõe-se através do arranjo de lineações isoladas e alinhamentos de drenagens de modo a definir uma estrutura assimétrica, cuja geometria aponta para um duplex direcional extensional, cuja largura máxima deve alcançar por volta de 25 km. Baseado nas assimetrias paisagísticas, nos perfis de SRTM e no modelo geotectônico de deriva da Placa Sul-Americana para Oeste é possível inferir rotação dextral ao mesmo. O *trend* NW-SE é marcado pela concentração de lineações isoladas, e alinhamentos retos e curvilíneos de drenagens, dispostos normalmente em arranjos de forma assimétrica. Encontram-se localizados em dois conjuntos principais, onde o primeiro encontra-se a NE da área de investigação e o segundo na porção SW da mesma. Os dois feixes apresentam mergulhos divergentes. É evidente seu relacionamento com basculamentos de blocos. Uma forte associação com estruturas transtensivas pode ser visualizada. Como estruturas complicadoras são encontradas as orientações N-S afetando a áreas em vários pontos.

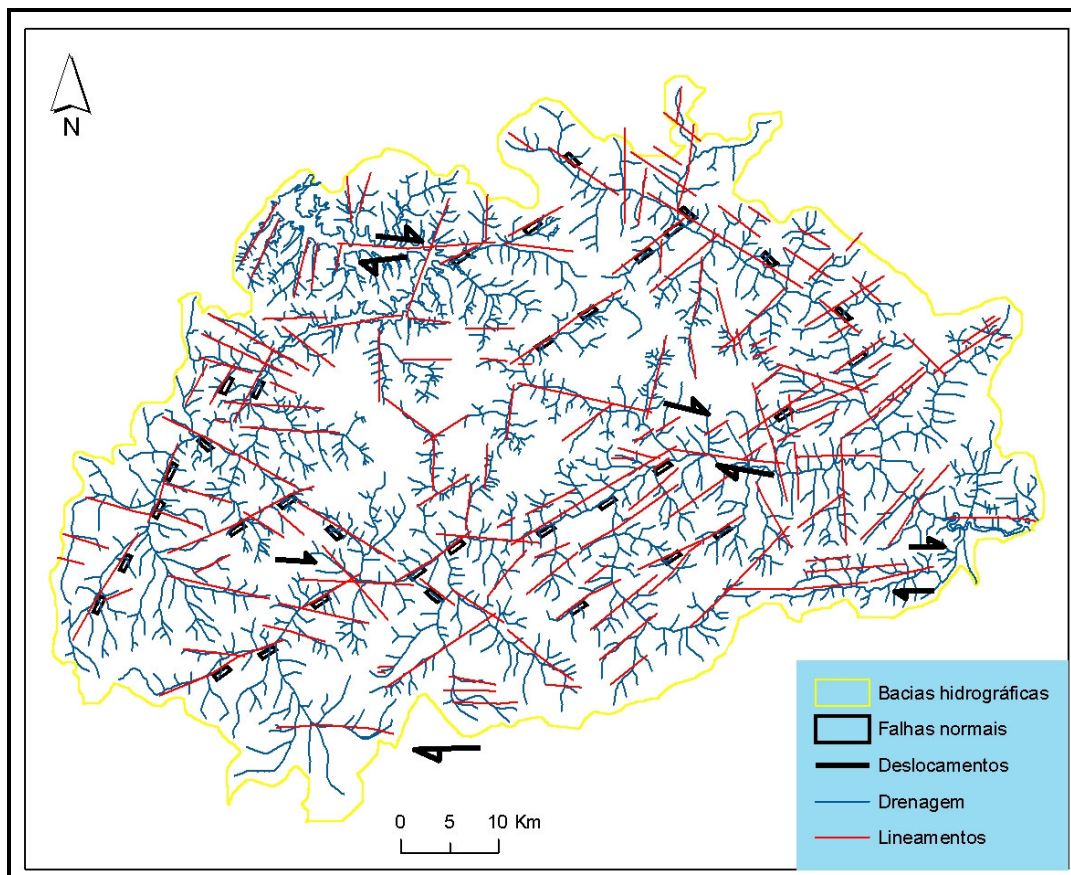


Figura 5.5 – Interpretação geométrica e cinemática das principais estruturas neotectônicas existentes na área de trabalho

A Figura 5.6 mostra o mapa de anomalias de elementos de relevo. Este foi obtido através da aquisição de dados SRTM. Trata-se de uma imagem gerada por processamento de uma matriz de “n” linhas *versus* três colunas (“x”, “y” e “z”). O foco do produto é a distribuição das posições de “z” do topo da crosta, ao longo das condições limite impostas por “x” e “y” estabelecidos na área de trabalho, “a priori”. É notável a orientação geométrica das anomalias paisagísticas de relevo, marcadas pelos níveis mais alaranjados do mapa. Existe uma correlação profunda entre as orientações das anomalias de relevo e as falhas neotectônicas estabelecidas com base na análise da rede de drenagem. Foram estabelecidos os perfis AB, CD e EF, os quais consideraram a possibilidade de resposta máxima na aquisição de dados de “x”, “y” e, sobretudo “z”, ao efeito dinâmico das discontinuidades neotectônicas.

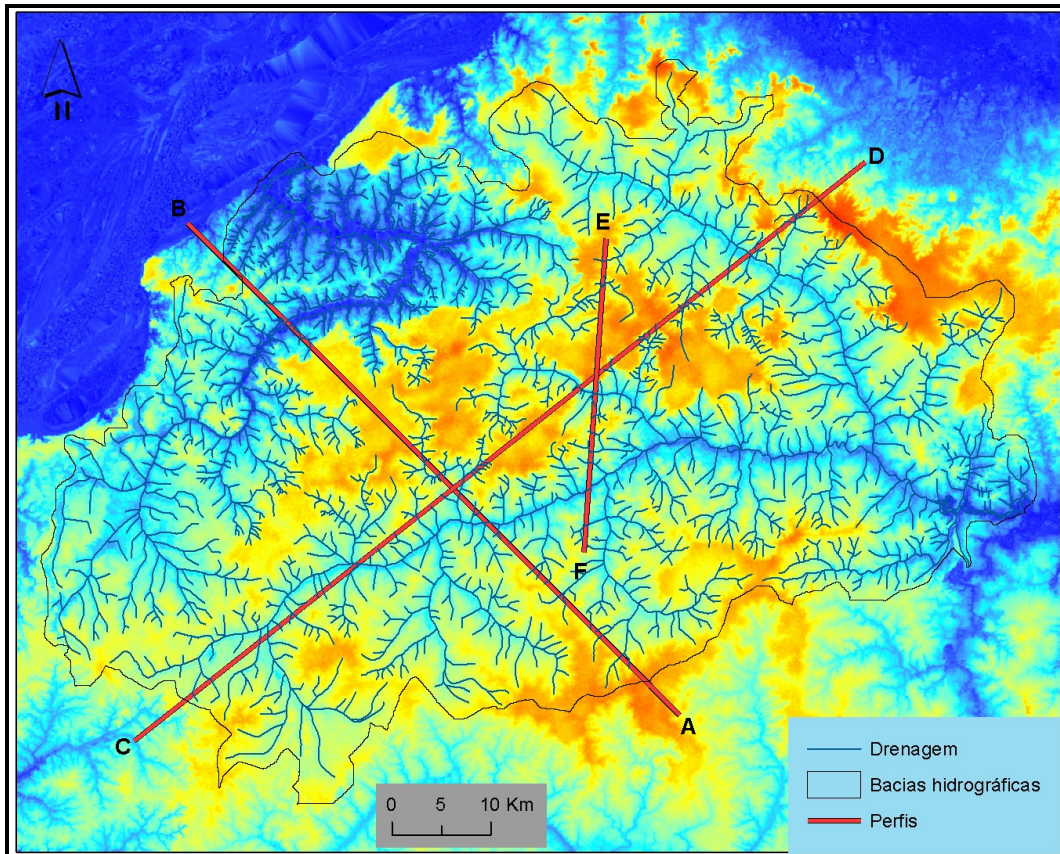


Figura 5.6 – Imagem de radar SRTM das bacias hidrográficas com os perfis

O fatiamento do relevo, segundo as orientações de interesse (na medida do possível paralelo ao mergulho real das estruturas descontínuas) se deu através da utilização do programa *Global Mapper 8.0*, possibilitando então a elaboração dos perfis, os quais são apresentados nas Figuras 5.7 a 5.9.

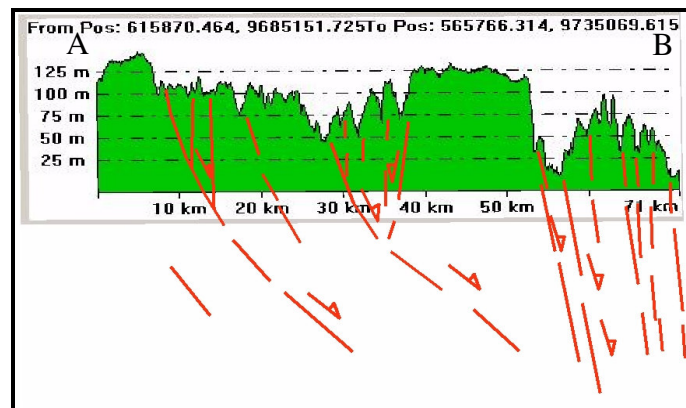


Figura 5.7 – Perfil AB

O perfil AB (Figura 5.7) apresenta nítidos deslocamentos verticais de *summital surfaces* associados ao desenvolvimento de distribuições assimétricas de rupturas de declive e vertente ligadas a uma fase de entalhamento aparentemente muito jovem. O nível geométrico é expresso no *design* por uma estrutura assimétrica, composta por falhas com componente de deslocamento *dip-slip* e provável tendência normal, concentradas na porção NW do perfil. Os níveis de topo de relevo são francamente deslocados. As estruturas mergulham para SE. Foram interpretadas como tendo uma ligeira tendência a tornarem-se mais assintópticas em profundidade. Concentrada na porção SE do perfil, encontra-se uma estrutura com muito agrupamento de elementos descontínuos, sob a forma de feixe interpretado como paralelo em profundidade, com tendência mais subverticalizada e ainda com tendência para SE. O conjunto foi interpretado como compondo uma estrutura em flor negativa. Esse dado contrapõe o modelo macro regional e necessita, portanto, de maiores investigações. Não é descartada nesta oportunidade a possibilidade de inversão de relevo, o que modificaria a interpretação e a ajustaria no modelo proposto por Costa et al. (1996), Hasui (1990), Bemerguy (1997), dentre outros.

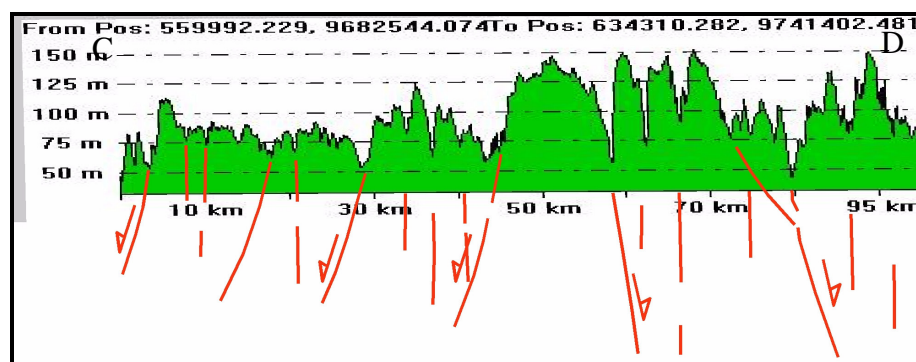


Figura 5.8 – Perfil CD

O perfil CD exibido na Figura 5.8 representa uma disposição de fatiamento orientado a NE-SW. A variação das posições altimétricas dos níveis de topo, associado às assimetrias visualizadas pela disposição das vertentes da fase de dissecação mais jovem, permitem a individualização de dois conjuntos empinados de descontinuidades neotectônicas, ambos com ligeira assintopticidade em profundidade.

O primeiro conjunto, disposto do centro do perfil para a sua margem sudoeste, exibe um conjunto regularmente espaçado, com feixes separados a cada dez quilômetros, mergulhando sistematicamente para SW. O segundo conjunto dispõe-se com tendência a espalhar-se da porção central do perfil em direção a parte NE da área. Este exibe feixes com maior espaçamento, possuindo mergulhos orientados para NE. O arranjo das estruturas permite estabelecer uma organização com tendência simétrica, expressada pela presença de um alto central e com flancos NE e SW abatidos. Trata-se de uma estrutura francamente edificada a partir de falhas neotectônicas com tendência *dip-slip* normal.

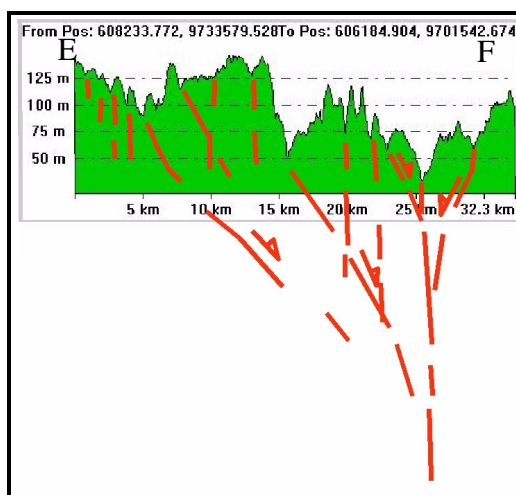
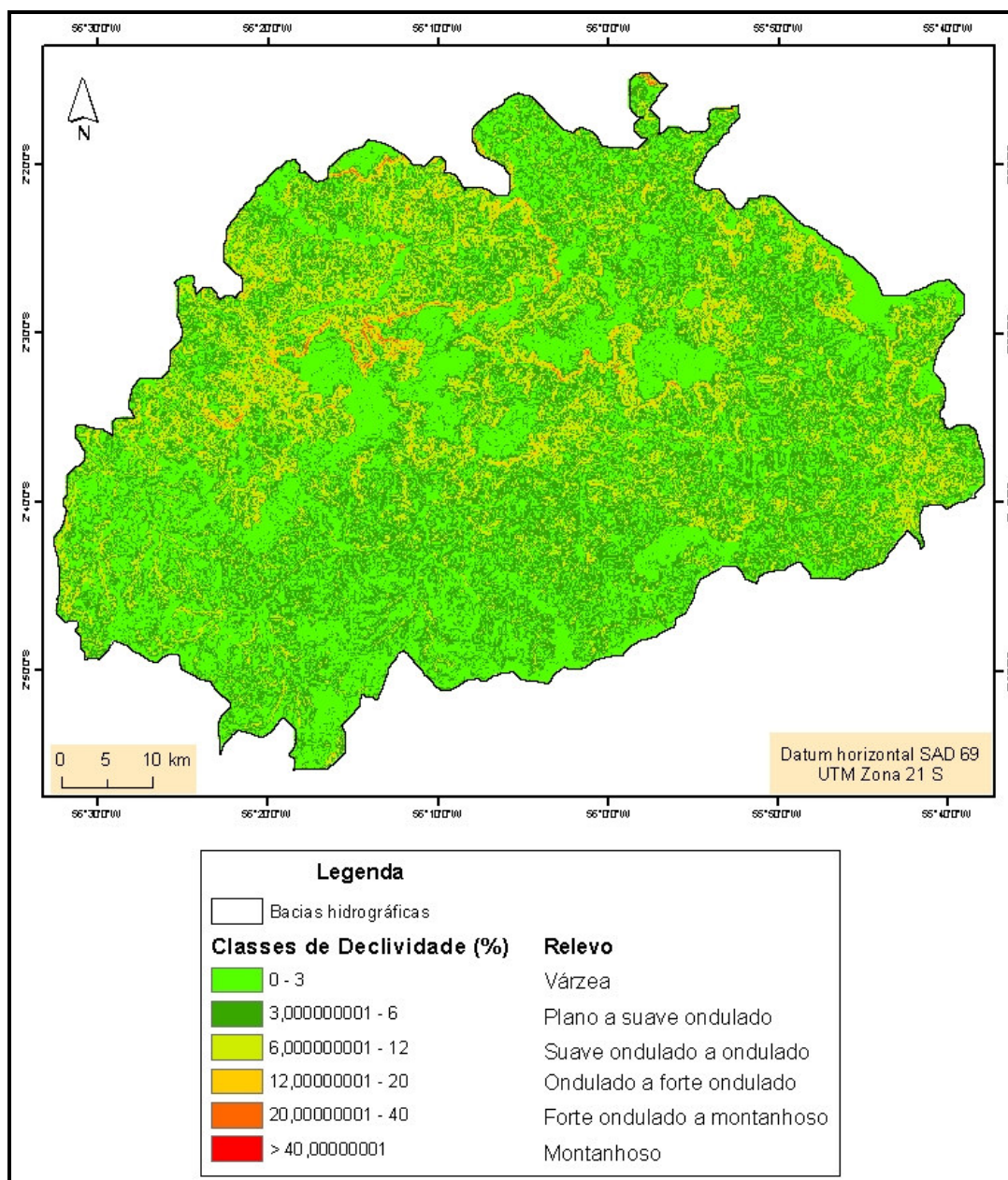


Figura 5.9 – Perfil EF

O perfil EF é apresentado na Figura 5.9 e tem a orientação geral NNE-SSW. A disposição de “z” apresenta desnivelamentos e possíveis rotações dos níveis de topo. Como geometria principal identificou-se um conjunto de estruturas empinadas com mergulho sistemático para SSW, localizadas na porção N, ajustadas a uma estrutura verticalizada, próxima a porção S do perfil. O arranjo foi entendido como uma estrutura em flor negativa, vinculada a evolução dinâmica do duplex direcional negativo localizado na altura do paralelo 2°30’ S e 2°40’ S.

O mapa de declividade é o resultado do cálculo de análise de superfície dos dados SRTM originais, executado pela extensão “*spatial analyst*” do programa *ArcGIS 9.0*, e, na definição das classes foram empregados intervalos variáveis, seguindo a metodologia de De Biase (1993), elucidada na Figura 5.10.

Na Figura 5.10, que representa a correlação entre as classes de declividade (%) com o relevo, há o predomínio de áreas com baixa declividade, em especial as áreas com relevos de várzea e planas a suavemente onduladas. As regiões que apresentam relevos ondulados a fortemente ondulados concentram-se, principalmente, na parte central das bacias hidrográficas. De acordo com os dados originais de elevação do SRTM utilizados, não foram detectadas áreas montanhosas, ou seja, com declividade superior a 40%.



A aplicação do classificador não-supervisionado *isodata* possibilitou a geração dos mapas temáticos de classificação de uso e ocupação do solo para cada um dos quatro anos utilizados como referências. E, dessa forma, os mapas são apresentados nas Figuras 5.11 a 5.14.

O mapa representado pela Figura 5.11 é o resultado da classificação referente ao ano de 1986, com passagem do satélite em 05 de agosto, onde se percebe claramente a vantagem da aplicação da função “máscara” para a classe de florestas, eliminando a quantidade de nuvens e sombra de nuvens existentes na imagem, melhorando a qualidade da classificação.

Em seguida, tem-se o mapa da Figura 5.12 referente ao ano de 1997, cuja data de aquisição da imagem é 18 de julho.

O mapa da Figura 5.13 apresenta o resultado da classificação referente ao ano 2001, cuja data de passagem é 06 de agosto.

Finalmente, tem-se a Figura 5.14 com a representação da classificação de 2005, com data de passagem do satélite em 10 de setembro.

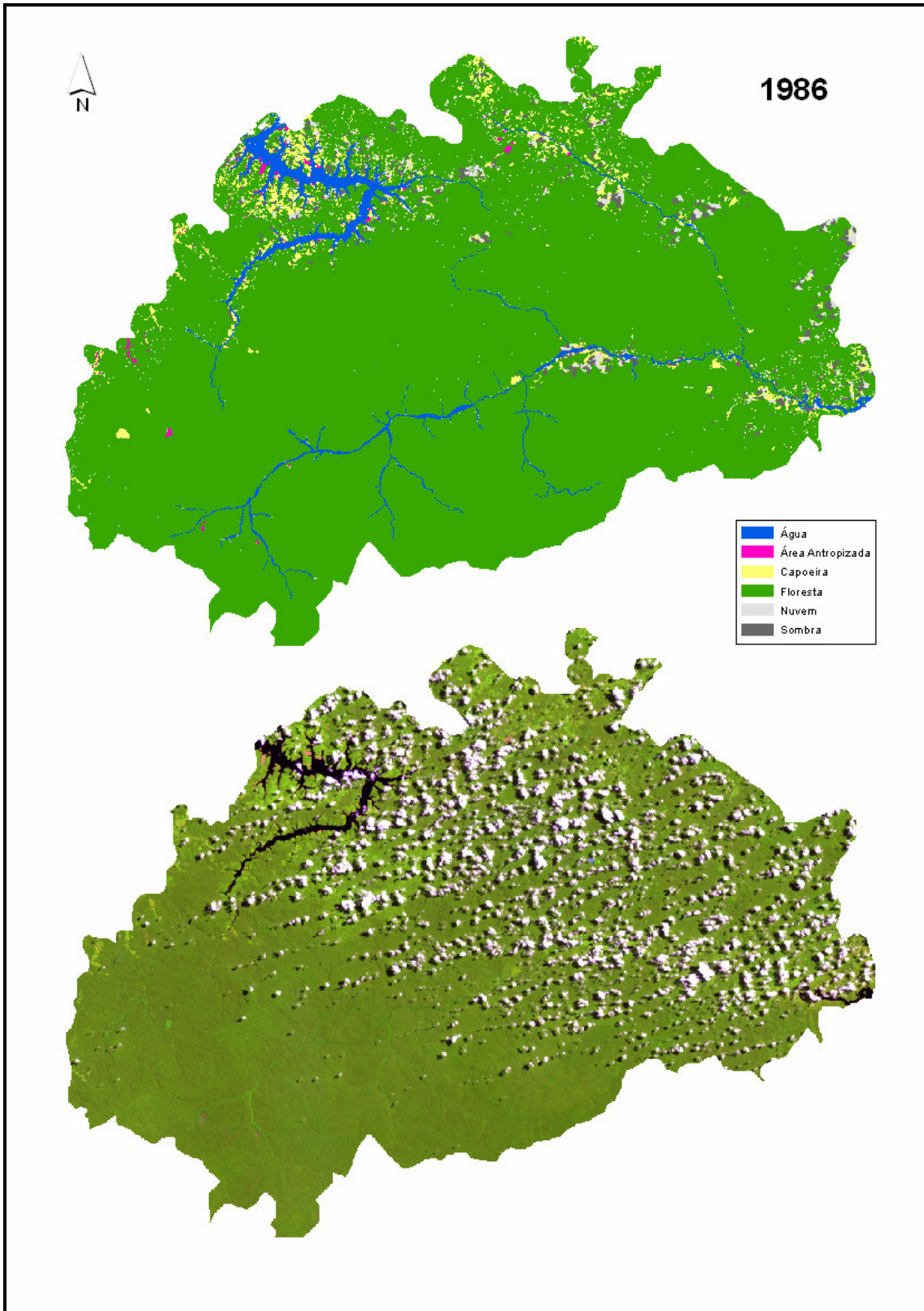


Figura 5.11 – Mapa de uso e ocupação do solo em 05.08.1986

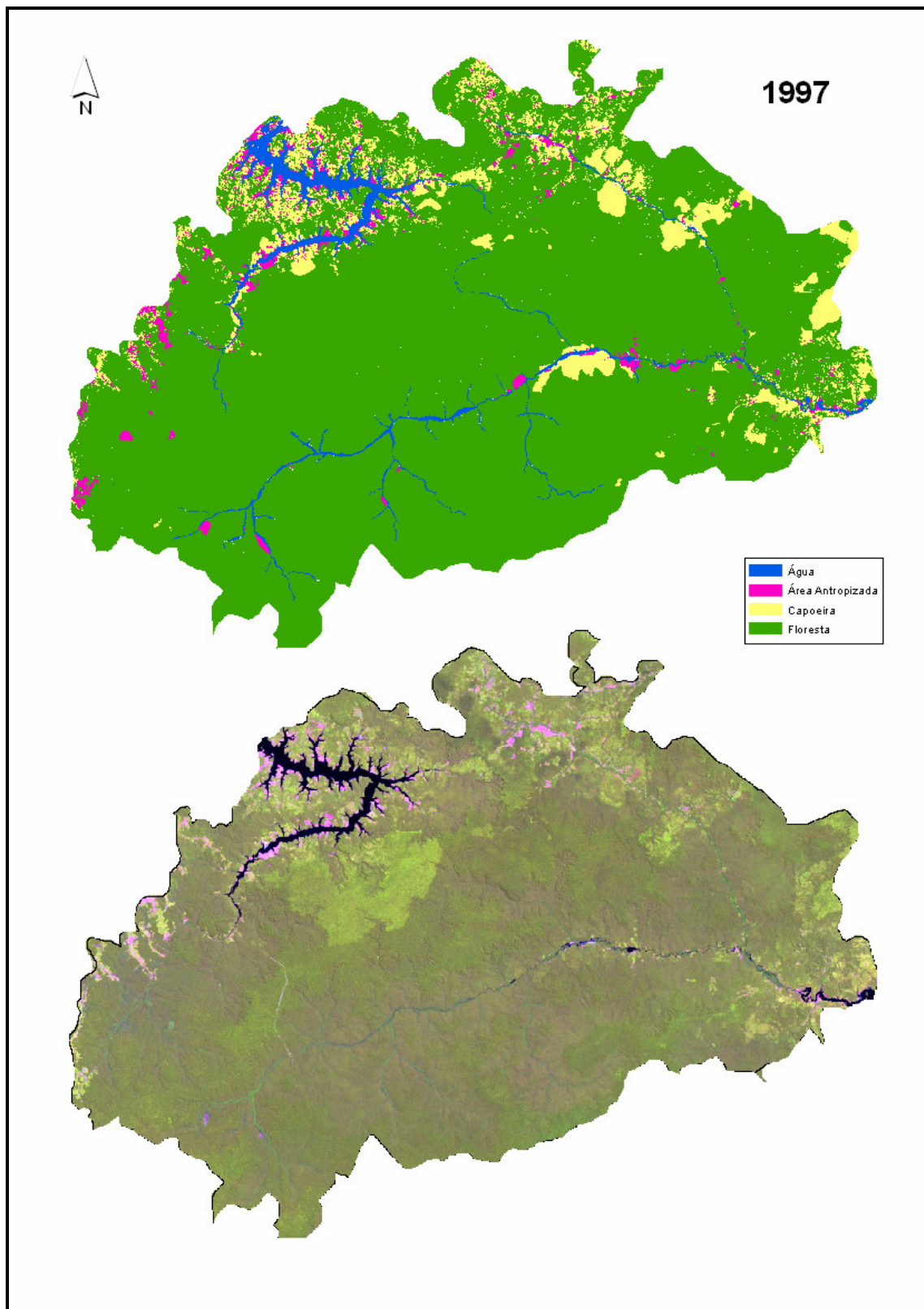


Figura 5.12 – Mapa de uso e ocupação do solo em 18.07.1997

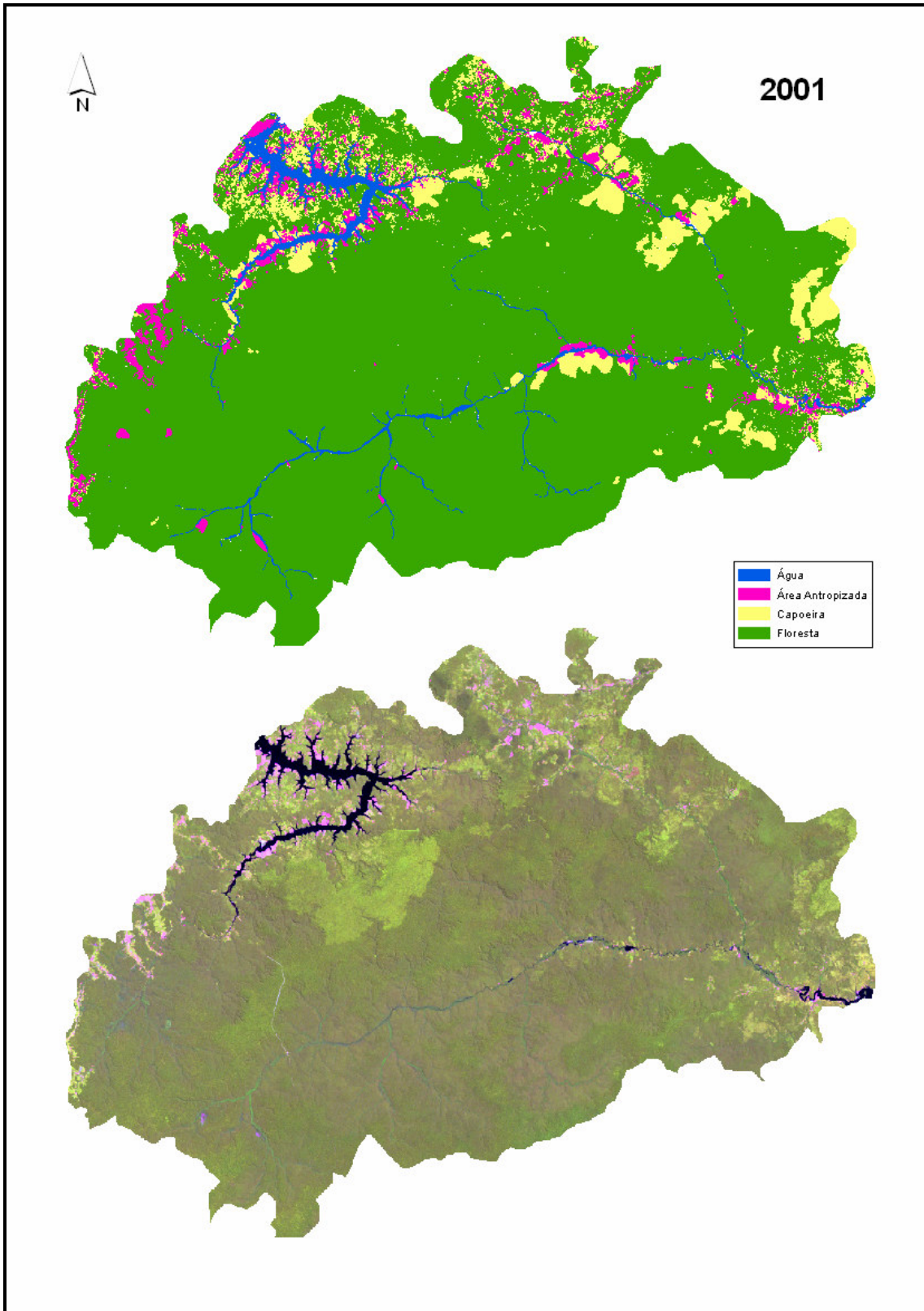


Figura 5.13 – Mapa de uso e ocupação do solo em 06.08.2001

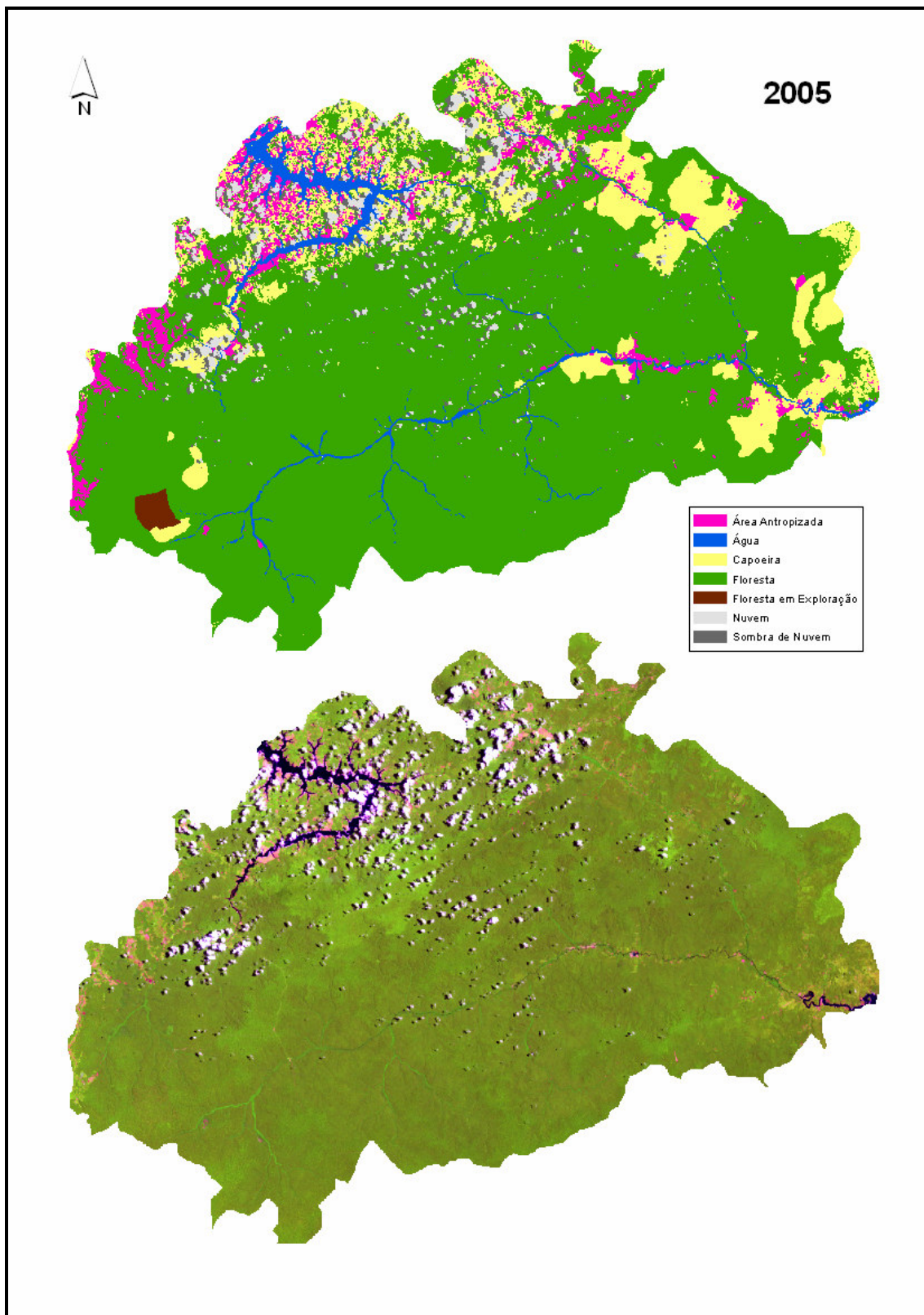


Figura 5.14 – Mapa de uso e ocupação do solo em 10.09.2005

Os gráficos comparativos abaixo (Figuras 5.15 a 5.18) representam cada classe de uso e ocupação do solo em termos de porcentagem com relação à área de estudo, que são as bacias hidrográficas do igarapé Juruti Grande e rio Aruã.

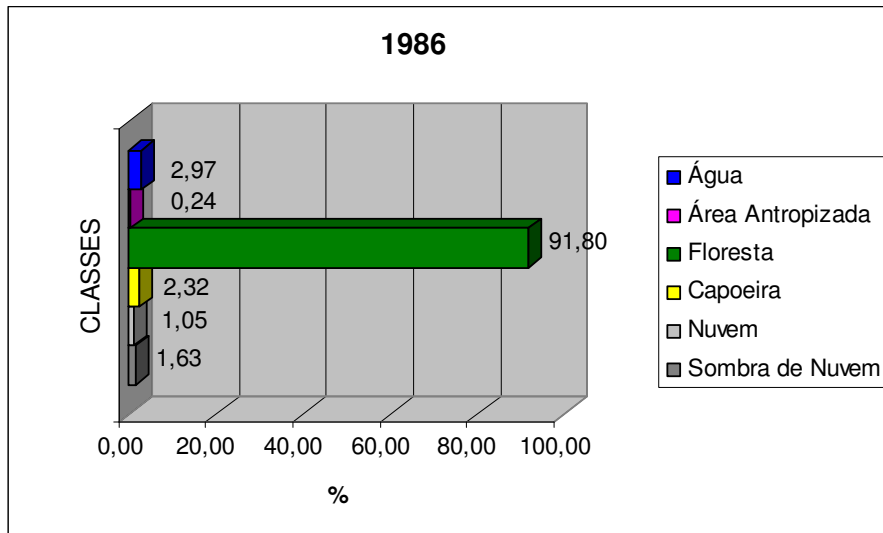


Figura 5.15 – Porcentagens comparativas para cada classe de uso do solo (1986)

Cerca de 2,68% da área total classificada para o ano de 1986 foi “nuvem” ou “sombra de nuvem”, sendo, portanto, uma limitação para a completa classificação da área de estudo neste período.

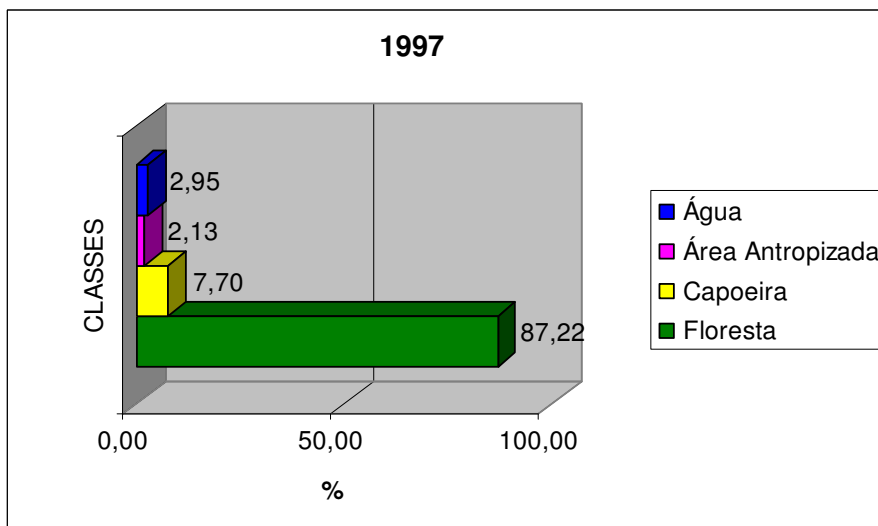


Figura 5.16 – Porcentagens comparativas para cada classe de uso do solo (1997)

Comparando-se os gráficos de 1986 e 1997, percebeu-se um incremento das áreas de capoeira e área antropizada, contrastando com um decréscimo de quase 4,6% de áreas de florestas.

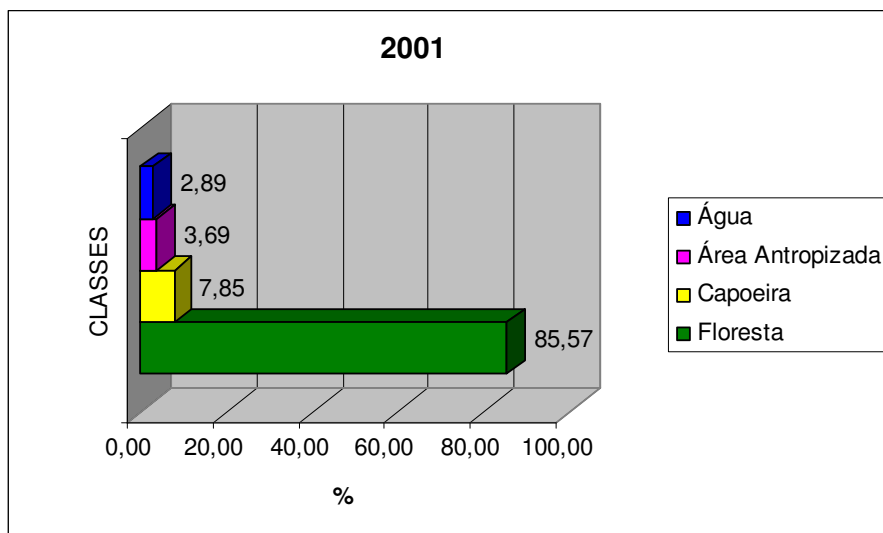


Figura 5.17 – Porcentagens comparativas para cada classe de uso do solo (2001)

A área de floresta apresentou um decréscimo pequeno, comparando-se os períodos de 1997 e 2001, com cerca de 1,65%. As áreas de capoeira e áreas antropizadas continuaram a crescer.

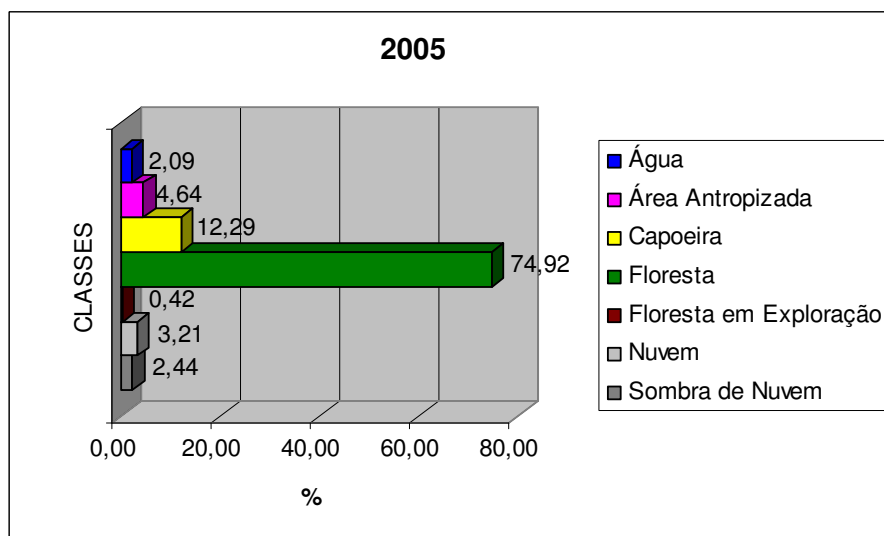


Figura 5.18 – Porcentagens comparativas para cada classe de uso do solo (2005)

Assim como na classificação de 1986, esta também apresenta nuvens e/ou sombra de nuvens, que atingem mais de 5,5% da área total. Quase 5% já é área antropizada, enquanto mais de 12% é capoeira. A área de floresta representa cerca de 75%.

Os 76 pontos obtidos para validação da classificação automática realizada em setembro/2006 são apresentados no mapa abaixo (Figura 5.19).

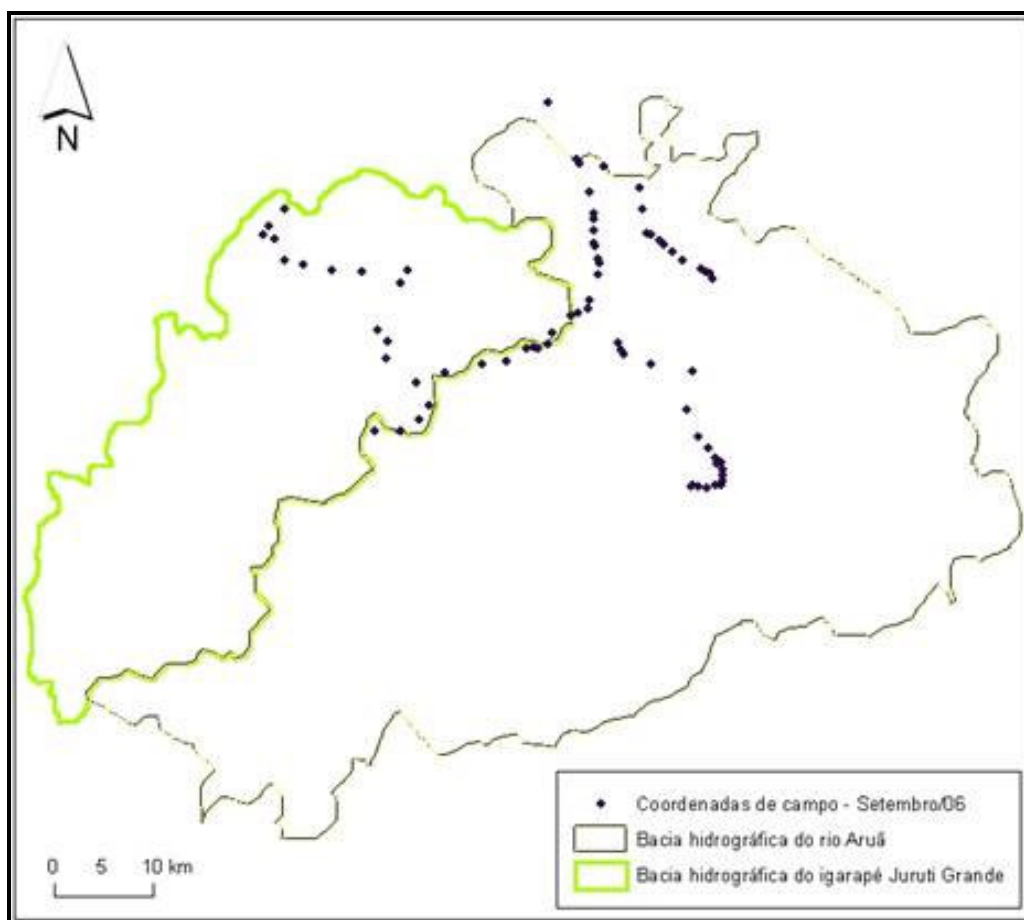


Figura 5.19 – Pontos vistoriados durante o trabalho de campo realizado em setembro/2006

A validação dos resultados de campo para a imagem relativa ao ano de 2005 utilizou como referência o Índice de *Kappa*, visando avaliar a acurácia das classes temáticas.

A tabela 5.1 apresenta a matriz de erro para esta imagem classificada, considerando as classes de uso: água, área antropizada, capoeira e floresta. Calculou-se os erros de comissão e omissão e a acurácia de cada classe. Considerando os valores

encontrados para o erro de omissão e de comissão, obteve-se uma acurácia global média de 79,4 %.

Tabela 5.1 – Matriz de erro para a classificação da imagem *Landsat 228/062*, de 10 de setembro de 2005

		Dados de referência (informações de campo)						Acurácia (%)
		Água	Área Antropizada	Capoeira	Floresta	Total	Erro de Comissão (%)	
Classificação não-supervisionada	Água	14	0	0	0	14	0	100
	Área Antropizada	0	20	2	0	22	9,1	90,9
	Capoeira	0	4	8	2	14	42,9	57,1
	Floresta	0	0	8	18	26	30,8	69,2
	Total	14	24	18	20	76		
	Erro de Omissão (%)	0	16,7	55,6	10,0			
	Acurácia (%)	100	83,3	44,4	90,0			

Acurácia Total = 79,4 %

A somatória dos valores da diagonal principal é 60 (Dp). Dessa forma, a exatidão global calculada foi de 78,9 %. O número total de pontos visitados (N) foi igual a 76.

O próximo cálculo foi a multiplicação da frequência esperada (ef) com o número de acertos para cada categoria, visando definir o valor de *Kappa*.

$$ef_1 = (\text{linha total}_1 * \text{coluna total}_1) / \text{soma total}$$

$$ef_1 = (14 * 14) / 76 = 2,58$$

$$ef_2 = (\text{linha total}_2 * \text{coluna total}_2) / \text{soma total}$$

$$ef_2 = (24 * 22) / 76 = 6,95$$

$$ef_3 = (\text{linha total}_3 * \text{coluna total}_3) / \text{soma total}$$

$$ef_3 = (18 * 14) / 76 = 3,32$$

$$ef_4 = (\text{linha total}_4 * \text{coluna total}_4) / \text{soma total}$$

$$ef_4 = (20 * 26) / 76 = 6,84$$

$$\Sigma ef = ef_1 + ef_2 + ef_3 + ef_4$$

$$\Sigma ef = 2,58 + 6,95 + 3,32 + 6,84 = 19,69$$

$$K = (Dp - \Sigma ef) / (N - \Sigma ef)$$

$$K = (60 - 19,69) / (76 - 19,69) = 40,31 / 56,31$$

$$Kappa = 0,72$$

O índice de 0,72 calculado para a qualidade temática foi considerado como uma classificação *muito boa*, segundo a literatura pesquisada. Essa validação e a determinação da acurácia dos dados são fundamentais, devendo ser uma constante em qualquer dado produzido.

Esta metodologia representou com propriedade as classes de uso existentes, entretanto toda técnica a ser utilizada possui suas limitações e sua utilização deve ser adaptada em função da área de estudo. Em relação a este trabalho, através de levantamento de campo e anamnese realizada junto aos moradores do local, constatou-se que parte da área classificada como floresta, principalmente as situadas no platô que divide as duas bacias hidrográficas da área de estudo, já haviam sido exploradas seletivamente para extração de madeira, inclusive algumas das estradas vicinais existentes foram abertas por madeireiros.

E, em virtude do intervalo temporal das imagens utilizadas para o trabalho variar de 4 a 11 anos e da própria regeneração da floresta, a classe de uso “floresta em exploração” que apresenta como principal característica a predominância de tonalidades verdes, com ocorrências de agrupamento de *pixels* rosa pode ter sido subestimada, não sendo possível sua identificação com maior precisão a partir dos dados disponíveis.

6 CONCLUSÕES

Toda representação cartográfica é uma aproximação da realidade, sendo necessário lançar mão das generalizações para conhecer o espaço geográfico e, diante deste cenário, a ferramenta de geoprocessamento mostrou-se bastante útil para análise ambiental da área de estudo. Ela permitiu a elaboração de diversos produtos representativos, os quais serão importantes, como base de dados a serem utilizados pelos setores produtivos, bem como aqueles da administração pública. Um trabalho como este se faz necessário, em função da região de Juruti (PA) estar passando por grandes transformações, fundamentalmente decorrentes da instalação do projeto de exploração de bauxita (Projeto Juruti).

No que concerne ao Poder Público o desafio da prefeitura municipal de Juruti está diretamente relacionado a sua necessidade de estar preparada para esta nova fase de transformações, onde em breve adquirirá o status de pólo exportador de bauxita, deixando então de ser apenas mais uma cidade ribeirinha da Amazônia.

A própria localização do empreendimento em platôs, nos interflúvios das bacias hidrográficas da área de estudo, potencializa o impacto ambiental deste projeto mineiro, que envolve a construção de lagoas de estabilização, o decapeamento da floresta, a construção de estradas e ferrovias entre outros. Sendo assim, torna-se de fundamental importância a realização de estudos pré-funcionamento desta atividade, para estabelecer um melhor embasamento que facilite à tomada de decisões futuras relacionada a diversos aspectos, como emergências ambientais, planejamento de obras e abertura de novas frentes de lavras, entre outros.

Percebe-se claramente a partir da execução deste trabalho que a área apresenta boa conservação da sua cobertura vegetal, fato que foi ratificado pelos trabalhos de campo na área de estudo, porém, devido à implantação deste grande projeto de mineração, cujas pesquisas foram iniciadas no ano de 2001, a região passa por um ambiente de especulação muito intenso, o qual acarreta elevada pressão sobre os recursos naturais, principalmente os florestais, fato que foi corroborado na análise multitemporal de uso e ocupação do solo dos mapas apresentados. E, desta forma, faz-se necessário periódico monitoramento ambiental nesta área do ecossistema amazônico, principalmente por parte dos órgãos competentes,

como o IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), SECTAM* (Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado do Pará) e SEMA (Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Juruti), visando garantir a manutenção do ecossistema equilibrado. Em relação à empresa privada responsável pelo empreendimento, o desafio é compatibilizar o crescimento econômico juntamente com a administração ambiental.

Por fim, como principais produtos elaborados podem ser citados os mapas: de drenagem em todas as suas ordens; base logística (manifestada pelas estradas existentes na área de investigação); altimétrico extraído de modelo digital de elevação; lineamentos baseado na retificação da rede drenagem; correlação da declividade com o relevo; dinâmica de uso e ocupação do solo (apresentando a sua evolução, com base nos anos de 1986, 1997, 2001 e 2005). É apresentado também o mapa de localização das coordenadas coletadas durante os trabalhos de campo realizados em setembro/2006 para aplicação do índice de *kappa*, visando a validação e medição da acurácia da classificação efetuada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, O. R. **Reconhecimentos Geológicos no Vale do Amazonas.** 1922. Boletim Serv. Geol. Miner. Rio de Janeiro, (3): p. 1-84.
- AMARAL, S. E. do. **Nota sobre a Série Barreiras no Vale do rio Tapajós.** 1954. Boletim Soc. Bras. Geol. 3 (1): p. 27-50
- ASSAD, Eduardo Delgado; SANO, Edson Eyji. **Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura.** 1998. Serviço de Produção de Informação – SPI, Brasília-DF. 434p.
- BEMERGUY, R. L. **Morfotectônica e Evolução Paleogeográfica da Região da Calha do Rio Amazonas.** Tese de Doutorado – Universidade Federal do Pará. Orientação: Prof. Dr. João Batista Sena Costa. 1997. 201 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento. Projeto CD Brasil visto do espaço. Disponível em (<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/txt/landsat.htm#orbita>). Acesso em: 30 de maio de 2006.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Observatório Nacional. Disponível em (http://www.on.br/glossario/alfabeto/e/espec_eletro.html). Acesso em: 25 de nov. de 2005.
- BORGES, M. S. **Neotectônica e Geomorfologia.** 2000. CPRM. Itaituba-PA.
- CNEC Engenharia. **Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA do Projeto Juruti.** 2004. 10 capítulos.
- COSTA, Antonio Roberto de Almeida. **Tectônica Cenozóica e movimentação salífera na Bacia do Amazonas e suas relações com a geodinâmica das placas da América do Sul, caribe, Cocos e Nazca.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará. Orientação: Prof. Dr. João Batista Sena Costa. 2002. Belém-PA. 237 p.
- COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BEMERGUY, R. L.; BORGES, M. S. **Neotectônica da Região Amazônica: Aspectos tectônicos, geomorfológicos, e deposicionais.** Geonomos. 1996. REVISTA DE GEOCIÊNCIAS, v. 4, n. 2, p. 23-44.
- DAEMON, R. F. **Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas.** 1975. Revista Brás. Geoc. 5 (2): p. 78-84.
- DAEMON, R. F.; CONTREIRAS, A. **Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. **Anais.** São Paulo, SBG, 1971, v. 3, p. 79-88.

De BIASE, M. *A Carta Clinográfica: Os Métodos de Representação e sua Confeção*. **Revista de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 45-60, 1993.

DNMET – **Departamento Nacional de Meteorologia**. *Normais Climatológicas (1961-1990)*. 1992. Brasília. 84 p.

DNPM – **Departamento Nacional da Produção Mineral**. *Levantamento de Recursos Naturais*. 1976. Rio de Janeiro, v. 10.

GLCF - Global Land Cover Facility. **Download de imagens Landsat**. Disponível em: (<<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>>). Acesso em: 23 de jun. de 2005.

HASUI, Y. **Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil**. In: Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental do Sudeste Brasileiro, 1. 1990. Belo Horizonte, ANAIS: SBG (Núcleo de Minas Gerais), n. 11.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Juruti: base planimétrica, topográfica e hidrográfica. Juruti, 1988, 63 cm x 80 cm. Escala 1:250.000.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. *Censo Demográfico 2000*. Disponível em (<<http://www.ibge.gov.br/>>). Acesso em: 03 de jun. 2005.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. *Produção da Pecuária Municipal*. 2003a. Disponível em (<<http://www.ibge.gov.br/>>). Acesso em: 24 de nov. 2006.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. *Produção Agrícola Municipal*. 2003b. Disponível em (<<http://www.ibge.gov.br/>>). Acesso em: 24 de nov. 2006.

IBGE; SUDAM - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Superintendência para o Desenvolvimento da Amazônia**. *Projeto Zoneamento das Potencialidades dos Recursos Naturais da Amazônia Legal*. 1990. Rio de Janeiro. 211 p.

FELIPE, Leonardo Brasil. **Implantação de rotinas de criação de modelos digitais de terreno e visualização científica, em PC's e estações gráficas unix (sistema solaris), exemplo da Folha Bauru (SE.22-Z-B) – Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará. Orientação: Prof. Dr. Maurício da Silva Borges. 2003. Belém-PA. 91 p.

JACINTHO, Luiz Roberto de Campos. **Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto como ferramentas na Gestão Ambiental de Unidades de Conservação: O caso da área de proteção (APA) do Capivari-Monos**. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo. Orientação: Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida. 2003. São Paulo-SP. 121 p.

- KLISTER, P. *Historical Resume of the Amazon basin*. 1954. Belém: PETROBRÁS. (mimeo.).
- KUX, H. J. H; BLASCHKE, T. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados – novos sistemas sensores, métodos inovadores**. 2005. Ed. Oficina de Textos, São Paulo. 286 p.
- LIMA, M. I. C. de. **Análise de Drenagem e seu Significado Geológico-Geomorfológico**. Belém, p. 32-34, 2000.
- MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 2005. Ed. UFV, Viçosa. 320 p.
- NOVO, Evelyn Márcia Leão de Moraes. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 1989. Ed. Edgard Blucher, São Paulo. 308 p.
- PRICE, L. I. **Dentes de *Theropoda* num testemunho de sondagem no Estado do Amazonas**. 1960. Academia Bras. Cienc. 3: p. 451-452.
- RADAM BRASIL, Projeto. Radar GEMS 1000, 1972. Imagem de Radar. Banda X. Escala 1:250.000.
- RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Images Analysis: An Introduction**. 1995. Springer-Verlag, Berlin. 340 p.
- ROCHA, Cezar Henrique Barra. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. 2002. Ed. do Autor, Juiz de Fora-MG. 220 p.
- SANTOS, Flávio Augusto Altieri dos. **Processamento digital de imagem de sensoriamento remoto: noções básicas**. 2002. Agência de Cooperação Técnica. 2002. Manaus – AM. 41 p.
- SCHIEDEGGER, A. E. **The geotectonic stress field and crustal movements**. *Tectonophysics*, Volume 71, Issues 1-4, 10 January 1981, Pages 217-226.
- SIPAM – **Sistema de Proteção da Amazônia**. Juruti: base planimétrica, topográfica, hidrográfica, pedológica, geológica e de vegetação. Brasil, 2000. Escala 1:250.000.
- SIPAM;IBGE – **Sistema de Proteção da Amazônia; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Juruti: base rodoviária, hidrográfica e regional. Brasil, 2000. Escala 1:250.000.
- SOARES, P. C.; FIORI, A.P. **Lógica Sistemática na Análise e Interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia**. Not. Geomorfol., 1976, Campinas, 16 (32): 71-104.

- SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*. 2006. Disponível em (<<http://srtm.usgs.gov/mission.html>>). Acesso em: 15 de dez. de 2006.
- STERNBERG, H. O. R. **Vales Tectônicos na Planície Amazônica**. 1950. Rev. Bras. Geogr., Rio de Janeiro, 1950.
- STEWART, J. S.; HANCOCK, P. L. **Neotectonics**. 1994. In: HANCOCK, P. L. *Continental Deformation*. Oxford: Pergamon Press, 1994. Pages 370-408.
- SUDAM – **Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia**. *Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira*. 1984. Belém. 125 p.
- SULSOFT. **Guia do ENVI em Português**. 2006. Disponível em: (<<http://www.envi.com.br/>>). Acesso em: 01 de jun.de 2006.
- SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology: An Introduction to the Study of Landforms**. 1991. Longman/Wiley, London/New York. 537p.
- TANCREDI, Antonio Carlos F. N. S. **Recursos Hídricos Subterrâneos de Santarém – Fundamentos para Uso e Proteção**. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Pará. Orientação: Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças. 1996. Belém-PA. 153 p.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. 1955. *Climatology*, Lab. of Climatology, Centerton, N. J. 8(1).
- TMACKINNON. 2005. Disponível em (<<http://tmackinnon.com/2005/gis/gis1.gif>>). Acesso em: 13 de dez. 2005.
- WIKIPEDIA. 2006. Disponível em (<http://pt.wikipedia.org/wiki/great_observatories_program>). Acesso em: 05 de jan. 2006.

ANEXOS

Anexo A (Registros fotográficos)



Foto: Nicola S. H. Tancredi

Na parte proximal da foto, tem-se uma área de pastagem rasteira, apresentando na parte distal, uma área de capoeira. (área classificada como antropizada)



Foto: Nicola S. H. Tancredi

Áreas classificadas como capoeiras, sendo formadas por árvores de troncos finos, não medindo mais que 10 metros de altura.



Foto: Nicola S. H. Tancredi

Áreas classificadas como capoeiras, constituindo-se em regeneração da mata alterada.



Foto: Nicola S. H. Tancredi

Navegação ao longo do rio Aruã (água), com área florestal ao fundo (floresta).



Foto: Nicola S. H. Tancredi

Ribeirinha residente em comunidade às margens do rio Aruã (água) com floresta nas margens (floresta).



Foto: Antonio Carlos Tancredi

Comunidade São Raimundo (área antropizada), com capoeira ao redor (capoeira)



Foto: Nicola S. H. Tancredi

Área de mata (floresta)



Foto: Nicola S. H. Tancredi

Área de mata com dossel fechado (floresta)

