

Campus de São Carlos

**Aplicação de sensoriamento
remoto e geoprocessamento
para analisar a distribuição da
malária na região do reservatório
de Tucuruí-PA**

Cíntia Honório Vasconcelos

**Orientadora: Profa. Dra. Evlyn Márcia
Leão de Moraes Novo**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Cíntia Honório Vasconcelos

APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO
PARA ANALISAR A DISTRIBUIÇÃO DA MALÁRIA NA REGIÃO DO
RESERVATÓRIO DE TUCURUÍ – PA

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data de entrada no Serviço... 31/05/04
Ass.: *Leandro Corzidi*

DEDALUS - Acervo - EESC



31100048851

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental

Orientadora: Profa. Dra. Evelyne Márcia Leão de Moraes Novo

São Carlos-SP
2004



Class.	TESE EESC
Cutt.	6366
Tombo	T 160/04
Sysno	138 4048

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

V331a Vasconcelos, Cíntia Honório
Aplicação de sensoriamento remoto e geoprocessamento
para analisar a distribuição da malária na região do
reservatório de Tucuruí-PA / Cíntia Honório Vasconcelos.
-- São Carlos, 2004.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2004.
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof^a. Dr^a. Evlyn Márcia Leão de Moraes
Novo.

1. Malária. 2. Sensoriamento remoto. 3. Sistema de
informação geográfica (SIG). I. Título.

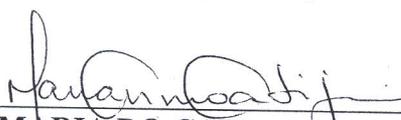
FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Ecólogo **CÍNTIA HONÓRIO VASCONCELOS**

Tese defendida e julgada em 15-04-2004 perante a Comissão Julgadora:

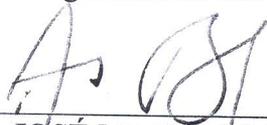


Profa. Dra. **EVLYN MÁRCIA LEÃO DE MORAES NOVO (Orientadora)**
(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE)



Prof. Tit. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Disprovido.



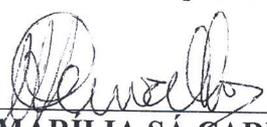
Prof. Tit. **JOSÉ MARIA SOARES BARATA**
(Faculdade de Saúde Pública/USP)

Aprovada



Prof. Dr. **ANTONIO MIGUEL VIEIRA MONTEIRO**
(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE)

Aprovado



Prof. Dra. **MARÍLIA SÁ CARVALHO**
(Fundação Oswaldo Cruz/FIOCRUZ)

Aprovada



Prof. Associado **IVALDO LUIZ GAETA ESPINDOLA**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Engenharia Ambiental



Prof. Tit. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

DEDICO

AOS MEUS PAIS E AO
MEU COMPANHEIRO
ARTUR QUE ME
APOIARAM EM TODOS
OS MOMENTOS

AGRADECIMENTOS

À Professora Dra. Evlyn M. L. M. Novo pela orientação, apoio e amizade. Foi uma honra ser orientada por ela;

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e à CAPES, pela bolsa concedida;

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela infra-estrutura cedida e aos pesquisadores que ajudaram de alguma forma o desenvolvimento do trabalho, em especial, ao meu amigo Cláudio Barbosa da DPI (Divisão de Processamento de Imagens);

À ELETRONORTE (Centrais Elétricas do Norte S.A.) pelo apoio de campo;

À FNS-PA (Fundação Nacional de Saúde do Estado do Pará) pelos dados de malária, cedidos;

Aos membros da banca pelas importantes sugestões;

Ao Professor Dr. Délcio Natal, pelas dicas e informações passadas em sala de aula e no exame de qualificação da tese;

Ao Dr. Ulisses Confalonieri que incentivou a realização da pesquisa;

Às professoras de português Lúcia H. Vasconcelos e Maria Aparecida S. Prego, pela revisão final do texto;

À colega Silvia P. Lacruz, pelas dicas que ajudaram a melhorar a apresentação do trabalho;

A todos os meus amigos e familiares, que direta ou indiretamente me estimularam a finalizar mais esta etapa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 JUSTIFICATIVA	04
3 OBJETIVO GERAL.....	08
3.1 Objetivos Específicos.....	08
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
4.1 Malária: aspectos gerais.....	10
4.1.2 Índice Parasitário Anual (IPA)	14
4.2 Mudanças Climáticas Globais e Doenças Infeciosas.....	15
4.3 Ecologia dos Vetores da Malária Encontrados na Região da UHE Tucuruí... 16	
4.4 Controle e Prevenção da Malária Utilizando Produtos de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica.....	18
4.5 Sensoriamento Remoto Utilizado como Ferramenta pelos Epidemiologistas no Controle de Endemias.....	21
4.6 Controle Global da Malária.....	25
4.7 Caracterização das Macrófitas Aquáticas.....	26
4.8 Sistema de Informação Geográfica e Álgebra de Mapas.....	31
4.9 Importância da Integração SIG e Análise Espacial na Epidemiologia.....	32
4.9.1 Técnicas de Análise de Dados Espaciais: padrões de pontos.....	33

4.9.2 Estimador de Intensidade Kernel.....	34
4.10 Tecnologia dos Sistemas Radares.....	35
4.10.1 Polarização.....	41
4.10.2 Influência da Permittividade e da Rugosidade dos Alvos.....	41
4.10.3 Retroespalhamento (backscatter).....	44
4.10.4 Distorções Geométricas.....	44
4.10.5 Ruído Speckle	46
4.10.6 Processamento Multilook (multi-visada)	47
4.10.7 Filtragem Espacial.....	47
4.10.8 Utilização de Dados de Radar em Áreas Tropicais.....	48
4.11 Processamento de Imagens Digitais.....	49
4.11.1 Correção Geométrica e Registro.....	50
4.11.2 Modelo Linear de Mistura Espectral.....	50
4.11.3 Segmentação de Imagens.....	52
4.11.4 Classificação de Imagens.....	53
4.12 O Desflorestamento na Amazônia.....	53
4.13 A Migração e a Malária na Amazônia Brasileira.....	55
4.14 Caracterização dos Proprietários de Terra na Amazônia Brasileira.....	57
4.15 Impactos do Desmatamento da Amazônia no Clima Regional.....	58
5 MATERIAIS e MÉTODOS.....	60
5.1 Área de Influência da UHE de Tucuruí.....	60
5.2 Abordagem Metodológica.....	63
5.3 Materiais e Equipamentos.....	64
5.4 Procedimentos Metodológicos.....	67
5.4.1 Processamento Digital das Imagens Orbitais TM - Landsat5.....	67
5.4.2 Processamento Digital das Imagens de Radar.....	70
5.4.3 Metodologia Utilizada nos Trabalhos de Campo.....	74
5.4.4 Aplicação de Análise Espacial de Padrões de Pontos.....	75
5.4.5 Metodologia Aplicada para Obter os Mapas de Distribuição da População nos Municípios Estudados para os anos de 1996 e 2001	75

5.4.6 Metodologia Aplicada para Obter os Mapas de Risco de Malária para os Anos de 1996 e 2001	79
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	82
6.1 Avaliação do Uso das Técnicas de Segmentação e Modelo Linear de Mistura nas Imagens TM-Landsat5.....	82
6.2 Avaliação da Dinâmica do Uso e Ocupação da Terra com as Imagens TM – Landsat5 no período de 1996 e 2001	84
6.3 Avaliação da Dinâmica das Classes do Reservatório de Tucuruí, Utilizando Imagens RADARSAT e TM-LANDSAT.....	91
6.4 Avaliação dos Dados de Campo e as Dificuldades para Obtê-los.....	95
6.5 Relação entre os Dados de Dinâmica de Ocupação da Terra, Malária e Dados Sócio-econômicos para os Municípios de Tucuruí, Novo Repartimento e Jacundá.....	97
6.6 Avaliação dos Resultados Obtidos com o Uso da Técnica de Análise Espacial por Padrões de Pontos.....	112
6.7 Avaliação dos Mapas de Distribuição de População Obtidos para os Municípios Estudados nos Anos de 1996 e 2001	114
6.8 Avaliação dos Mapas de Risco de Malária nos Municípios de Jacundá, Novo Repartimento e Tucuruí para 1996 e 2001	120
7 CONCLUSÕES.....	132
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	134
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135
ANEXO A.....	147
ANEXO B.....	150
ANEXO C.....	154
ANEXO D.....	156

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Ciclo do <i>P. vivax</i>	13
FIGURA 2 - Diagrama dos processos envolvidos no ciclo de vida do parasita da malária.	16
FIGURA 3 - Atividade de picar do mosquito <i>Anopheles darlingi</i> na região de Tucuruí.....	18
FIGURA 4 - <i>Typha domingensis</i>	27
FIGURA 5 - <i>Nynphaceea elegans</i>	27
FIGURA 6 - <i>Scirpus cubensis</i> (mortas) presas aos paliteiros, após a redução do nível da água do reservatório de Tucuruí (Pará)	28
FIGURA 7 – <i>Egeria densa</i>	28
FIGURA 8 – <i>Utriculária sp.</i>	28
FIGURA 9a – <i>Pistia Stratiotes</i>	29
FIGURA 9b – <i>Eichhornia crassipes</i>	29
FIGURA 9c – <i>Salvinia auriculata</i>	29
FIGURA 10 – Classificação das plantas aquáticas quanto à distribuição no ambiente aquático.....	30
FIGURA 11 – Efeito da cobertura de nuvens na transmissão de dados do radar para o solo.....	36
FIGURA 12 – Efeito da precipitação na transmissão de dados do radar para o solo.....	36
FIGURA 13 – Capacidade de penetração do sinal de radar na vegetação, conforme o comprimento de onda.....	37

FIGURA 14 – Profundidade superficial em função do conteúdo de água, frequência e tipo de solo.....	38
FIGURA 15 – Geometria de um sistema de radar de visada lateral.....	39
FIGURA 16 – Dimensões básicas do imageamento com visada lateral.....	39
FIGURA 17 – Ângulo de incidência.....	40
FIGURA 18 – Ilustração do funcionamento de um radar de abertura sintética (SAR).....	41
FIGURA 19 a, b e c – Reflexão do sinal do radar de acordo com a rugosidade da superfície.....	43
FIGURA 20 a,b e c – Distorções geométricas.....	46
FIGURA 21 – Localização do reservatório de Tucuruí e dos municípios de Tucuruí, Novo Repartimento e Jacundá no Estado do Pará.....	61
FIGURA 22 – Variação média mensal da vazão do reservatório de Tucuruí observada no período de 1995 a 1997.....	62
FIGURA 23 – Variação média mensal da vazão do reservatório de Tucuruí observada no período de 1995 a 1997.....	62
FIGURA 24 – Comportamento das curvas espectrais para pixels puros de solo, sombra (água) e vegetação.....	68
FIGURA 25 – Recorte do reservatório nas imagens TM e RADARSAT.....	71
FIGURA 26 – Filtros testados na imagem de radar para redução do speckle.....	73
FIGURA 27 – Imagem sintética R (3), G (4) e B(5) e imagem sintética solo (R), sombra (B) e vegetação (G) do modelo linear de mistura segmentada	82
FIGURA 28 – Comparação entre uma área classificada como rebrota na imagem sintética (RGB) e na imagem fração solo.....	83
FIGURA 29a – Comparação entre uma área de queimada e de água na banda 4 TM-Landsat.....	84
FIGURA 29b – Comparação entre uma área de queimada e de água na imagem fração solo.....	84
FIGURA 30 – Mapa temático de uso e ocupação da terra dos municípios de Tucuruí, Novo Repartimento e Jacundá derivado do processamento de imagens do	

sensor Thematic Mapper do satélite Landsat, referente ao ano de 1996.....	85
FIGURA 31 - Mapa temático de uso e ocupação da terra dos municípios de Tucuruí, Novo Repartimento e Jacundá derivado do processamento de imagens do sensor Thematic Mapper do satélite Landsat, referente ao ano de 2001	85
FIGURA 32 – Mapa temático de uso e ocupação da terra do município Jacundá, referente aos anos de 1996 e 2001, da esquerda para a direita.....	86
FIGURA 33 - Mapa temático de uso e ocupação da terra do município de Tucuruí, referente aos anos de 1996 e 2001, da esquerda para a direita.....	86
FIGURA 34 – Mapa temático de uso e ocupação da terra do município de Novo Repartimento, referente aos anos de 1996 e 2001, de cima para baixo.....	87
FIGURA 35 – Gráfico da alteração da área de vegetação nativa nos municípios para o período de 1996 a 2001	89
FIGURA 36 - Gráfico da alteração da área de vegetação em regeneração nos municípios para o período de 1996 a 2001	89
FIGURA 37 – Gráfico da alteração da área de atividade agrossilvopastoril nos municípios para o período de 96 a 2001.....	90
FIGURA 38 a, b e c – Composição RGB da imagem TM (a), imagem monocromática RADARSAT (b) e composição R-radar, G-banda 4 TM e B- banda 5 TM (c)	93
FIGURA 39 – Imagens classificadas do reservatório de Tucuruí para os meses de abril, maio agosto e dezembro.....	94
FIGURA 40 - Casos de malária no município de Tucuruí no período de 1962 a 1995.....	99
FIGURA 41 - Casos de malária no município de Jacundá no período de 1962 a 1996.....	99
FIGURA 42 - Médias mensais de lâminas positivas para a malária no município de Jacundá, no período de 92 a 2002, relacionadas com a precipitação.....	100
FIGURA 43 - Médias mensais de lâminas positivas para a malária no município de Tucuruí, no período de 92 a 2002, relacionadas com a precipitação.....	100
FIGURA 44 - Médias mensais de lâminas positivas para a malária no município de	

Novo Repartimento, no período de 92 a 2002, relacionadas com a precipitação.....	101
FIGURA 45 a - Município de Jacundá com as três localidades plotadas.....	102
FIGURA 46 - Casos de malária em localidades do município de Jacundá em 1995.....	102
FIGURA 47 - Casos de malária em localidades do município de Jacundá em 1996.....	103
FIGURA 48 - Casos de malária em localidades do município de Jacundá em 1997.....	103
FIGURA 49a – Município de Tucuruí com as três localidades plotadas.....	104
FIGURA 49 – Casos de malária em localidades do município de Tucuruí em 1995.....	104
FIGURA 50 - Casos de malária em localidades do município de Tucuruí em 1996.....	105
FIGURA 51 - Casos de malária em localidades do município de Tucuruí em 1997.....	105
FIGURA 52 - Casos de malária em localidades do município de Novo Repartimento em 1995.....	106
FIGURA 53 - Casos de malária em localidades do município de Novo Repartimento em 1996.....	106
FIGURA 54 - Casos de malária em localidades do município de Novo Repartimento em 1997.....	107
FIGURA 55 - Casos de malária no Município de Jacundá nos anos de 2001 e 2002 e a relação com a vazão do reservatório.....	111
FIGURA 56 - Casos de malária no Município de Tucuruí nos anos de 2001 e 2002 e a relação com a vazão do reservatório.....	111
FIGURA 57 - Casos de malária no Município de Novo Repartimento nos anos de 2001 e 2002 e a relação com o reservatório.....	112
FIGURA 58 - Imagem gerada pelo estimador de intensidade Kernel nos municípios de Tucuruí e Novo Repartimento.....	112

FIGURA 59 - Imagem gerada pelo estimador intensidade Kernel no município de Jacundá.....	114
FIGURA 60 - Distribuição da população no município de Jacundá em 1996.....	115
FIGURA 61 - Distribuição da população no município de Jacundá em 2001.....	116
FIGURA 62 - Distribuição da população no município de Tucuruí em 1996.....	117
FIGURA 63 - Distribuição da população no município de Tucuruí em 2001.....	117
FIGURA 64 - Distribuição da população no município de Novo Repartimento em 1996.....	119
FIGURA 65 - Distribuição da população no município de Novo Repartimento em 2001.....	119
FIGURA 66 - Mapas de risco de malária estimados para o município de Jacundá, nos meses de abril, maio, agosto e dezembro de 1996 e 2001.....	121
FIGURA 67 - Mapa de risco de malária estimado para o município de Jacundá com os pontos da FNS georreferenciados no campo.....	122
FIGURA 68 - Mapas de risco de malária estimados para o município de Tucuruí, nos meses de abril, maio, agosto e dezembro de 1996 e 2001.....	124
FIGURA 69 - Mapa de risco de malária estimado para o município de Tucuruí com os pontos da FNS georreferenciados no campo.....	125
FIGURA 70 - Mapas de risco de malária estimados para o município de Novo Repartimento, nos meses de abril, maio, agosto e dezembro de 1996.....	127
FIGURA 71 - Mapas de risco de malária estimados para o município de Novo Repartimento, nos meses de abril, maio, agosto e dezembro de 2001.....	128
FIGURA 72 - Mapa de risco de malária estimado para o município de Novo Repartimento com os pontos da FNS georreferenciados no campo.....	129
FIGURA 73 - IPA médio para as localidades dos municípios de Jacundá, Novo Repartimento e Tucuruí no período de 93 a 2001.....	130
FIGURA 74 - Dispersão dos valores de IPA dos municípios de Jacundá, Novo Repartimento e Tucuruí no período de 93 a 2001.....	131

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Resumo dos estudos sobre mosquitos transmissores da malária.....	19
TABELA 2 – Descrição de algumas doenças transmitidas por artrópodes	24
TABELA 3 – Principais bandas de operação dos sistemas radares	37
TABELA 4 – Relação das imagens de sensoriamento remoto que foram utilizadas.....	65
TABELA 5 – Relação do material cartográfico na escala de 1:100.000 que recobre a área de estudo.....	65
TABELA 6 – Área em Km ² e porcentagem das classes de uso e ocupação da terra no município de Tucuruí em 1996 e 2001.....	88
TABELA 7 - Área em Km ² e porcentagem das classes de uso e ocupação da terra no município de Novo Repartimento em 1996 e 2001.....	88
TABELA 8 – Área em Km ² e porcentagem das classes de uso e ocupação da terra no município de Jacundá em 1996 e 2001.....	89
TABELA 9 - Área em Km ² das classes mapeadas para as datas consideradas	95
TABELA 10 – Total de localidades visitadas no campo e porcentagens de locais com ou sem malária, nos últimos oito anos.....	96

RESUMO

VASCONCELOS, C.H. (2004). *Aplicação de sensoriamento remoto e geoprocessamento para analisar a distribuição da malária na região da UHE de Tucuruí-Pará*. 156 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A malária é a mais importante doença tropical do mundo. Em muitos países, especialmente no continente africano, causa grandes prejuízos com custos médicos e dias de trabalho perdidos. O risco de contrair malária está relacionado a alterações ambientais causadas por atividades como construções de estradas, projetos de mineração, agricultura e irrigação, particularmente em áreas da região amazônica e sudeste asiático. Entre outras causas da expansão desta endemia no mundo, pode-se incluir as mudanças climáticas, desintegração dos serviços de saúde e movimentos migratórios. Em áreas onde a malária é endêmica, o monitoramento das larvas e de populações de mosquitos adultos é de grande importância para o controle da doença. Novas ferramentas são necessárias para este processo, dentre as quais, as técnicas de sensoriamento remoto e os sistemas de informação geográfica (SIG). Essas técnicas têm reduzido custos e tempo nas pesquisas epidemiológicas, pois são usadas em escala regional para identificar tipos de vegetação, alterações ambientais que podem favorecer a proliferação de vetores da doença. Dada à gravidade da malária na região amazônica, este trabalho tem por objetivo entender como os padrões de distribuição espacial dos casos de malária na região da Usina Hidrelétrica de Tucuruí-PA se relacionam com os padrões de ocupação da terra, induzidos por sua

implantação. Foi utilizado um conjunto de dados que incluem imagens TM-LANDSAT5 e SAR-RADARSAT para o levantamento de uso da terra nos municípios de Tucuruí, Novo Repartimento e Jacundá e também para monitorar a variação sazonal do reservatório da UHE de Tucuruí, além de uma série histórica de dados de malária do período compreendido entre 1992 a 2001. Esses dados foram integrados e analisados por meio do software SPRING 3.6. Foi constatado que os municípios de Novo Repartimento e Tucuruí, por possuírem grandes áreas de contato com o reservatório, apresentaram maiores problemas com a malária e que a variação temporal da doença, nesta região, está relacionada com o ciclo do reservatório, com a precipitação e com a dinâmica da população.

Palavras-chave: malária, sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica (SIG).

ABSTRACT

VASCONCELOS, C.H. (2004). *Remote sensing and geoprocessing to analyze malaria distribution at the UHE Tucuruí- Pará region*. 156 p. Thesis (Doctorate) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Malaria is the most important tropical disease in the world. In many countries, especially in the African continent, malaria is responsible for huge economical losses with medical bills and absenteeism. Malaria risk relates to environmental change derived from road construction, mining activities, agriculture and irrigation mainly in forested areas such as Amazon region and southern Asia. Among the causes explaining the spread of this endemic disease in the world, one can include climatic changes, healthy service breakdown and migration. At malaria endemic areas, larva and mosquito monitoring is highly important for disease control. New tools however are needed such as remote sensing and geographical information system in epidemic areas. These techniques have been responsible for reducing the time and cost of epidemiological researches, since they are used in a regional scale for assessing environmental disturbance apt to spreading of malaria vectors. Due to the threat of malaria in the Amazon region, this research aims to understand the relationship between land use changes induced by UHE-Tucuruí construction and the

spatial distribution of malaria incidence in the region. LANDSAT5-TM and RADARSAT-SAR images were used respectively for land use mapping at Tucuquí, Novo Repartimento and Jacundá municipality and for monitoring the seasonal variation of UHE Tucuruí reservoir flooded area. A historic series of malaria data acquired for the National Health Foundation between 1992 and 2001 was also used. These data were integrated and analyzed with the aid of the SPRING 3.6 software. It was determined that Novo Repartimento and Tucuquí with large areas bounded by the reservoir are more prone to malaria incidence and that the time change in the disease in this region is related to the hydrology and reservoir operation, as well as with the precipitation and population dynamic.

Key words: malaria, remote sensing, geographical information system (GIS).

1 INTRODUÇÃO

A partir de 1960, a região Amazônica foi submetida a profundas intervenções ambientais com a implantação de grandes projetos do governo (projetos agrícolas, mineradoras, hidrelétricos, estradas). Essas intervenções do Estado acarretaram um intenso fluxo migratório para a região. No período de 1970-1980 a população urbana da Amazônia passou de 37,7% a 51,8%; grande parte do contingente de pessoas atraídas para a região não conseguiu se fixar na área rural, devido às dificuldades de acesso e pouco incentivo do governo, sendo obrigadas a sobreviver nas periferias das grandes cidades (BARROS, 1996).

O Estado foi omissivo e ineficiente no que se refere à implantação de políticas públicas, principalmente na área de saúde, onde a intervenção da iniciativa privada foi mais acentuada. Esses serviços privados não objetivavam atender às necessidades mínimas da população e se concentraram basicamente, nas áreas dos grandes projetos. A malária, uma das principais endemias da Amazônia, saltou de 53.629 casos em 1970 para 546.095 em 1990, correspondendo a 97,3% dos casos registrados no país (BARROS, 1996).

Esta epidemia está ligada principalmente às mudanças ambientais. O desmatamento agregado ao fluxo migratório de pessoas que passam a ter contato direto com os vetores, acarretam epidemias sem que os órgãos de saúde consigam controlar. De um modo geral, essa população migrante vive em condições precárias de habitação, nutrição e de saúde o que favorece a transmissão da malária e dificulta seu controle. Outro motivo que agrava a situação da malária na Amazônia é a grande quantidade de pessoas suscetíveis à infecção por não possuírem resistência adquirida contra a doença, pois são procedentes de áreas onde a malária não existe há muitos anos (TAUIL, 1984).

Um dos principais impactos ambientais causados pelo plano de

desenvolvimento da Amazônia foi a construção de grandes hidrelétricas como Balbina e Tucuruí. Segundo JUNK (1996), represas influenciam na qualidade da água, principalmente em áreas de floresta devido à decomposição de biomassa. A liberação de nutrientes causa a eutrofização, resultando no crescimento de macrófitas e na formação de gás sulfídrico e metano nas camadas inferiores da água.

As áreas afetadas pelos grandes lagos, principalmente, na região dos trópicos, apresentam temperaturas elevadas, alta precipitação e umidade, estão vulneráveis à malária, porque, durante a fase larval, os vetores dos parasitas desta doença requerem um ambiente aquático, freqüentemente com presença de vegetação (WASHINO & WOOD, 1994).

Segundo TADEI (1996), na fase de pós-enchimento do reservatório de Tucuruí, constatou-se um aumento significativo das espécies do gênero *Anopheles* (68.532 espécimes) enquanto 9.652 foram coletados durante o pré-enchimento do reservatório.

Em áreas onde a malária é endêmica, o monitoramento das larvas e de populações de mosquitos adultos é de grande importância na orientação do controle da doença. Novas ferramentas são necessárias para este processo, dentre as quais as técnicas de sensoriamento remoto e os sistemas de informação geográfica (SIG).

Os dados de sensoriamento remoto têm sido usados por muitos epidemiologistas, em escala regional, para identificar tipos de vegetação e monitorar variações temporais e espaciais de suas características, tais como: densidade, estrutura, biomassa, as quais podem favorecer a proliferação de vetores de doenças (BECK *et al.*, 1992). Estas características da vegetação devem ser associadas às características dos vetores como: capacidade vetorial, preferência alimentar, suscetibilidade à infecção.

A aplicação de sensoriamento remoto para o monitoramento da Amazônia, entretanto, é dificultada pela densa e freqüente cobertura de nuvens. Dados orbitais adquiridos por sensores ópticos, como os do sensor TM a bordo do satélite LANDSAT, limitam-se ao período seco de junho a agosto (COSTA *et al.*, 1997). O problema da cobertura de nuvem, entretanto, pode ser superado pelo uso de

sensores ativos de microondas, visto que esta faixa do espectro não é afetada pelas condições meteorológicas (NOVO, 1988).

Para este trabalho, a utilização das imagens de radar são importantes para obter dados do reservatório de Tucuui na estação de chuva, época em que há pouca informação dessa área devido à grande cobertura de nuvens. O objetivo é analisar a variação da cobertura de plantas aquáticas e paliteiros durante todos os períodos do ano. Segundo FORATTINI (2002) as plantas aquáticas realizam o papel de abrigo natural para as larvas anofelíneas, alguns autores adotam a terminologia larvas anofelinas, mas neste trabalho é empregada a terminologia utilizada por FORATTINI (2002). TADEI *et al.*, (1991) verificaram que após o enchimento do reservatório de Tucuui, as macrófitas se desenvolveram em larga escala, ocupando extensas áreas na superfície, levando ao aumento da população de mosquitos dos gêneros *Anopheles* e *Mansonia*, além de outros insetos.

2 JUSTIFICATIVA

A malária é um problema sério de saúde em todo o mundo, principalmente nos países tropicais e subtropicais. Aproximadamente, 300 milhões de pessoas são acometidas por esta doença e um milhão de mortes ocorrem anualmente (WHO, 2004). Portanto, o estudo sobre a incidência e o conhecimento da ecologia dos vetores é fundamental para auxiliar os órgãos de saúde no combate à doença.

TADEI *et al.* (1983), previam que a construção da UHE Tucuruí ocasionaria profundas modificações no habitat natural devido à dimensão da obra, levando ao desmatamento de áreas extensas; à colonização da região, o que acarretaria na eclosão de epidemias de doença na área, especialmente a malária que é endêmica na Amazônia.

Estudos realizados na área da UHE Tucuruí nas fases de pré e pós-enchimento do reservatório, mostraram que, enquanto na primeira fase, a média de alados por local era de 79,82 na segunda, foi constatado um aumento de até duas vezes e meia na frequência populacional, a qual atingiu a média de 204,65 (TADEI, *et al.* 1993). Em Balbina (AM), antes da intervenção humana, a frequência de *Anopheles* era de 0,51 mosquitos/pessoa/hora e após a intervenção humana aumentou para 1,5 mosquitos/pessoa/hora (TADEI, *et al.* 1998).

Em outras regiões onde ocorreu construção de grandes barragens, também se observou alteração na frequência de vetores de patógenos como o mosquito transmissor do *Plasmodium*, do vírus da febre amarela e do caramujo transmissor da esquistossomose (*Schistosoma mansoni*); nos países africanos ocorreu também a proliferação da filariose, transmitida por mosquitos que precisam da água na fase larval (MULASHI, 1995).

Pesquisas entomológicas realizadas pela SUCAM no Paraná na área onde hoje se situa o reservatório de Itaipu, entre o período de 1966 a 1969, constataram baixa frequência do mosquito transmissor da malária. Esse resultado foi devido às próprias características do Rio Paraná que não era propício à formação de remansos. Após o fechamento da barragem, surgiram criadouros de anofelíneos, em consequência do alagamento, e da proliferação de macrófitas aquáticas (*Eichhornia* sp.), que se desprendem do alto curso do Paraná e chegam intactas ao lago, as quais podem transportar larvas do mosquito por grandes distâncias (CONSOLIM & GALVÃO, 1973).

Segundo MULASHI (1995), a construção das barragens de Kariba no Zâmbia/ Zimbábue, Kainji na Nigéria, Cabora Bassa em Moçambique, Masinga no Quênia, Kafue no Zâmbia e Kossu na Costa do Marfim, levou a um acentuado aumento na incidência da esquistossomose, malária e filariose. Este aumento é devido às condições favoráveis criadas pela construção das represas para a proliferação dos vetores que transmitem essas doenças. Além disso, a construção de lagos artificiais leva ao deslocamento e ao reassentamento de milhares de pessoas sem um planejamento adequado em áreas com instalações sanitárias precárias.

TADEI *et al.* (1988a) constatou que as localidades com interferência do reservatório na região de Tucuruí como os igarapés, que tiveram seus níveis alterados pela invasão das águas; os meandros que originaram pequenos lagos e lagoas propiciaram a proliferação de macrófitas, tornaram-se excelentes sítios de reprodução dos mosquitos transmissores de doenças como a malária.

Os problemas de saúde pública nas áreas de hidrelétricas, principalmente aquelas localizadas nas regiões tropicais e sub-tropicais, não são de todo conhecidos. Portanto, a realização de pesquisas é de fundamental importância para medidas de prevenção e controle de endemias (MÜLLER, 1995).

As técnicas de sensoriamento remoto e SIGs, estão sendo utilizadas pelos epidemiologistas em diversas partes do mundo como ferramentas auxiliares na identificação de focos de vetores. Esta tecnologia permite relacionar índices de ocorrência de doenças e características do homem e seu ambiente, o que possibilita observar exatamente a área geográfica e determinar como os fatores físicos (rios, montanhas, vegetação) podem influenciar na disseminação ou controle de uma

doença (CLINE, 1970).

Segundo ROBERTS & RODRIGUES (s.d.) para que isso seja possível, é importante conhecer a ecologia do transmissor da doença para: a) identificar que determinantes ambientais podem estar relacionados com sua abundância; b) definir a escala de detecção; c) analisar determinantes ambientais passíveis de detecção a partir das imagens de satélites; e finalmente, analisar a validade dos dados orbitais mediante informações obtidas *in situ*. Os resultados de estudos dessa natureza podem ser usados para preparar e executar esquemas regionais de controle de vetores, prever eventos futuros, planejar e desenvolver projetos de prevenção de doenças.

A proliferação do mosquito *Anopheles* é variável no tempo e no espaço. Esta variabilidade é controlada por condições ambientais, as quais podem ser detectadas por sistemas sensores (ROBERTS *et al.*, 1996). Estes pesquisadores usaram dados de satélite para prever a distribuição do mosquito transmissor da malária em Belize a partir do levantamento das características do local de ocorrência e obtiveram um acerto de 90%. Em quatro das oito áreas que previram ter alta probabilidade de ocorrência do vetor, encontraram o *An. pseudopunctipennis* e nas áreas de baixa probabilidade este mosquito não foi encontrado. A espécie *An. darlingi*, outro importante vetor da malária, foi encontrada em todas as áreas com alta probabilidade e não ocorreu nos locais de baixa probabilidade.

No Brasil, a utilização das técnicas de sensoriamento remoto para a epidemiologia ainda é restrita, pois falta pessoal especializado nos órgãos de saúde para sua utilização. As verbas destinadas ao combate das doenças são insuficientes, por isso a utilização de técnicas que auxiliem no controle destas, pode reduzir custos e aumentar a eficiência na prevenção de endemias, principalmente em áreas de difícil acesso como a Amazônia.

Nos países em desenvolvimento como o Brasil, o controle de doenças infecciosas se torna cada vez mais difícil pela falta de estrutura sócio-econômica. O reaparecimento de doenças mostra a magnitude do problema da saúde. Segundo a nova diretriz recomendada pela Organização Mundial de Saúde (OMS), a estratégia de erradicação da infecção deve ser abandonada para adotar uma

estratégia de controle. Sua principal característica é o estudo epidemiológico em indivíduos e grupos sociais definidos e dos fatores de risco determinantes da incidência das doenças em nível local (OPAS, 1991).

Tendo em vista a necessidade de urgência no controle de doenças, este trabalho pode ser útil para orientar e agilizar as ações da vigilância epidemiológica no controle e prevenção da malária na região da UHE Tucuruí.

3 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo entender:

- 1) As relações entre os padrões de distribuição espacial dos casos de malária na região da Usina Hidrelétrica de Tucuruí-PA e os padrões de ocupação da terra induzidos por sua implantação;
- 2) As relações entre as variações sazonais da distribuição espacial dos casos de malária e a operação do reservatório de Tucuruí.

3.1 Objetivos Específicos

- ❖ Identificar áreas propícias a formação de habitats dos mosquitos transmissores da malária (*An. darlingi*) nos municípios de Tucuruí, Novo Repartimento e Jacundá, utilizando imagens TM- LANDSAT5;
- ❖ Utilizar uma série de imagens obtidas pelo sistema RADARSAT durante os anos de 96 e 97 para determinar a variação sazonal da superfície alagada pelo reservatório e pela comunidade de plantas aquáticas;
- ❖ Compilar dados georreferenciados de casos de malária por localidades (vilas, fazendas, sítios, etc.) nos anos de 1996 e 2001, dados anuais de IPA (Índice Parasitário Anual) por município, no período de 1992 a 2001 e dados de campo dos municípios de Tucuruí, Jacundá e Novo Repartimento;
- ❖ Integrar os dados de malária e de sensoriamento remoto em um sistema de informação geográfica (SIG);
- ❖ Investigar as relações entre as variações sazonais da superfície alagada pelo

- reservatório de Tucuruí, plantas aquáticas e a ocorrência de casos de malária;
- ❖ Aplicar estatística espacial para analisar a distribuição no espaço dos casos de malária georreferenciados.
 - ❖ Aplicar álgebra de mapas para relacionar as variáveis distância ao reservatório; uso e ocupação da terra; distribuição da população humana; entre outras, para obter um mapa de risco de malária para os municípios de Tucuruí, Novo Repartimento e Jacundá.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Malária: aspectos gerais

A palavra *malária* é de origem italiana e significa “mal ar” porque antigamente acreditava-se que estava relacionada com a contaminação do ar em regiões pantanosas. *Paludismo* ou *impaludismo* originou-se do francês com o mesmo significado (SUCEN, 2000).

A malária está presente em quase todo o mundo, especialmente em países tropicais e subtropicais onde as temperaturas entre 20°C e 25°C e umidade relativa acima de 60% são freqüentes, favorecendo o desenvolvimento dos mosquitos vetores e do parasita (MARTENS *et al.*, 1995).

Um fator de grande importância que contribui para a disseminação da malária para regiões anteriormente isentas é a introdução de vetores. Um exemplo disso é o caso do *Anopheles gambiae*, trazido para o Brasil em 1931 a bordo de navios. Esta espécie foi disseminada de Natal, Rio Grande do Norte, para o Ceará em 1938, as epidemias causaram um elevado número de óbitos (DEANE, 1988).

Os parasitas da malária humana pertencem ao filo *Protozoa* subfilo *Sporozoa*, subordem *Hemosporina*, família *Plasmodiidae*, gênero *Plasmodium*. As quatro espécies de importância na parasitose humana são: *P. falciparum* (Welch, 1897), *P. vivax* (Grassi e Felletti, 1890), *P. malariae* (Laveran, 1881) e *P. ovale* (Stephens, 1922).

Os mosquitos transmissores da malária humana são do gênero *Anopheles*, da família *Culicidae*, subordem *Nematocera*, ordem *Diptera*. Enquanto os *Anopheles* machos se alimentam somente de néctar e de seiva vegetal, as fêmeas, além do comportamento referido, necessitam de sangue para o desenvolvimento

dos óvulos. As fêmeas depositam os ovos em diversas coleções hídricas que apresentam baixas concentrações de matéria orgânica. O período de desenvolvimento que compreende os estágios de ovo, larva, pupa e mosquito adulto pode variar de 7 a 20 dias, dependendo da disponibilidade de alimento e temperatura (SUCEN, 2000).

O ciclo de vida das espécies humanas de parasitas da malária é essencialmente o mesmo, com uma fase sexuada (esporogonia) que ocorre no mosquito *Anopheles* e uma fase assexuada (esquizogonia) que ocorre no hospedeiro vertebrado (GILLES, 1993). Devido a isso, o homem é considerado hospedeiro intermediário e o mosquito hospedeiro definitivo. Na Figura 1, encontra-se esquematizado o ciclo completo da malária. A seguir será descrito o ciclo do *P. vivax* no mosquito e no homem, segundo GILLES (1993).

Ciclo do parasita no mosquito (ciclo sexuada). A fêmea do mosquito *Anopheles* ingere sangue humano infectado com parasitas da malária e juntamente com as células vermelhas do sangue ela ingere os gametócitos, células sexuadas. A maturação do gametócito feminino irá formar o gameta feminino ou macrogameta, enquanto que o gametócito masculino irá formar o gameta masculino ou microgameta. No estômago do mosquito o microgameta fecunda o macrogameta, formando o zigoto. No período de 18 a 24 horas, o zigoto se torna alongado e móvel e passa a se chamar oocineto. O oocineto se aloja entre a parede externa e as células epiteliais do estômago do mosquito e se transforma em uma pequena esfera com membrana elástica, chamando-se agora de oocisto. No processo de maturação do oocisto, ocorre a esporogonia (meiose seguida de mitoses), formando os esporozoítos que rompem a membrana do oocisto e migram para as glândulas salivares do mosquito. Quando esse mosquito for realizar o repasto sangüíneo, os esporozoítos serão injetados no hospedeiro vertebrado.

Ciclo do parasita no homem (ciclo assexuada). Após a picada do mosquito, os esporozoítos são inoculados e caem na corrente sangüínea onde permanecem por meia hora. Depois os esporozoítos desaparecem do sangue, muitos são fagocitados e outros penetram nas células do fígado (hepatócitos). Para o *P. vivax* provavelmente para o *P. ovale*, os esporozoítos podem permanecer em estado de latência nas células do fígado e causam recaídas meses depois, estes são

denominados de hipnozoítos. No *P. falciparum* e *P. malariae* os esporozoítos não formam hipnozoítos, eles realizam uma única vez o ciclo hepático. Nas células hepáticas os esporozoítos se reproduzem por esquizogonia (mitose) e recebem o nome de esquizonte. A fase de reprodução assexuada que ocorre no fígado é chamada de esquizogonia exoeritrocítica. No fim do estágio pré-eritrocítico, os esquizontes rompem e liberam, na corrente sangüínea, milhares de merozoítos. Parte destes parasitas, agora postos em liberdade, é englobada por células fagocitárias e destruída, entretanto, outra parte se fixa nos glóbulos vermelhos dos vasos sinusóides do fígado. Para o *P. vivax* e *P. ovale* muitos desses merozoítos invadem novamente as células hepáticas e permanecem na forma latente.

Os merozoítos liberados no sangue invadem os eritrócitos e passam a se chamar trofozoítos (possui forma de anel). O trofozoíto jovem na hemácia cresce e se divide por processo assexuado (esquizogonia eritrocítica). O núcleo do parasita se divide entre 3 e 5 vezes, seguido também da divisão do citoplasma, formando o esquizonte. Os esquizontes maduros irão se dividir e formar os merozoítos. Quando o processo de esquizogonia é completado, os merozoítos são liberados no plasma. Estes irão invadir eritrócitos sadios e o processo irá se repetir. A multiplicação continua e, aproximadamente, em duas semanas já existe número suficiente de parasitas para determinar os sintomas clínicos. Após fases sucessivas de esquizogonia, aparecem as estruturas sexuadas, denominadas gametócitos. Após invadir novos eritrócitos, os gametócitos crescem, sem ocorrer divisão do núcleo, e amadurecem tornando-se formas infectantes para o mosquito. Foi observado que em algumas espécies de plasmódio os gametócitos amadurecem à noite, sendo uma adaptação do parasita porque coincide com a principal hora do repasto sangüíneo dos *Anopheles*.

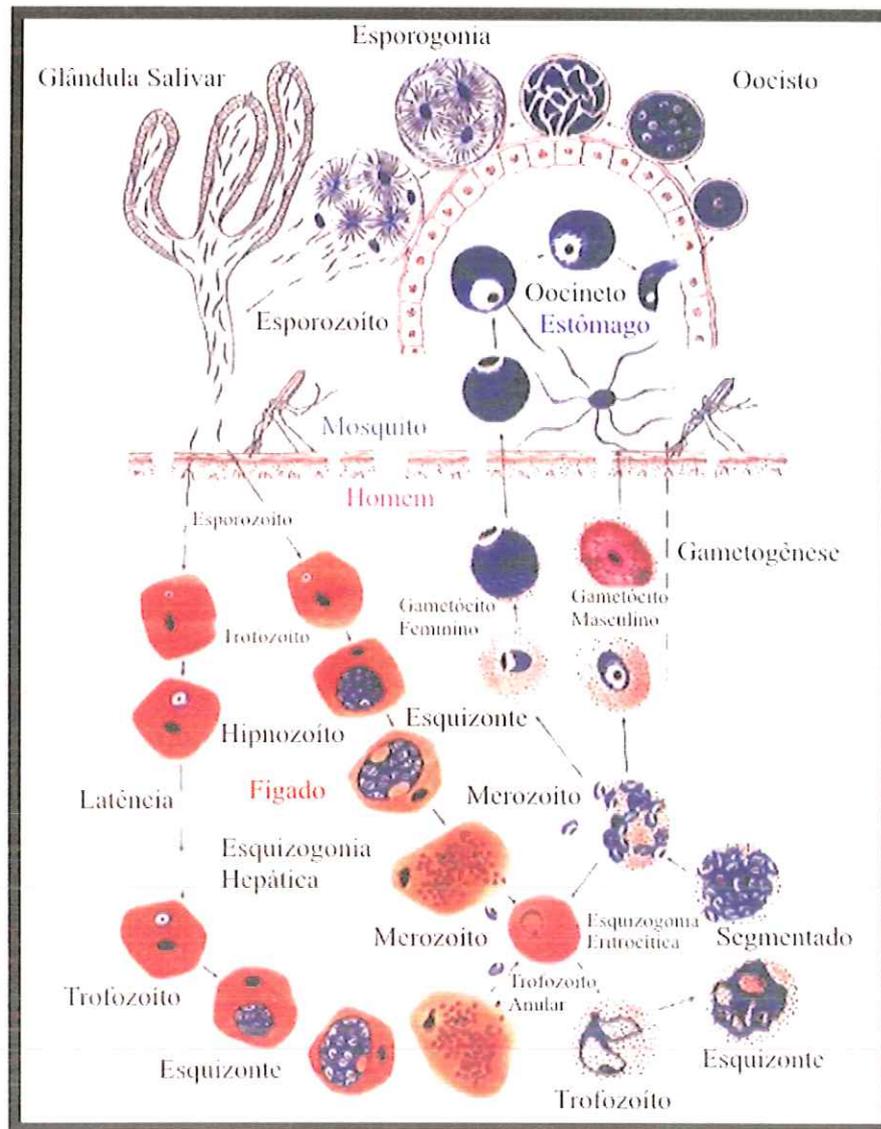


Figura 1 – Ciclo do *P. vivax*.
 Fonte: CICLO DO *P. vivax* (2003)

O período de incubação é o tempo que vai da picada do mosquito infectado até o aparecimento do primeiro sintoma e apresenta uma duração de 15 dias, em média. Antes do paciente apresentar o primeiro acesso malárico, os principais sintomas são mal-estar, dor de cabeça, indisposição. Em seguida, a febre acentua-se e alguns dias depois, o paciente apresenta o acesso malárico que é caracterizado por calafrio, febre, calor e suor. Cada espécie apresenta a

periodicidade própria para a repetição desses acessos, sendo que o *P. vivax* é de 48 horas (terçã benigna), o *P. falciparum*, 36 a 48 horas (terçã maligna) e o *P. malariae*, 72 horas (quartã), mas nem sempre esses acessos surgem tão bem caracterizados. Na malária pelo *P. falciparum*, além do acesso malárico, ocorre uma anemia mais intensa do que nas outras espécies e pode causar hemorragia cerebral e óbito (NEVES, 1991).

4.1.2 Índice Parasitário Anual (IPA)

O IPA é um índice de positividade de malária que expressa o número de exames positivos por mil habitantes em determinado local e período. A fórmula do cálculo do IPA encontra-se na eq.(1). É um índice utilizado para estimar o risco de se adoecer por malária em determinado lugar, sendo importante para subsidiar e avaliar o planejamento e ações de políticas voltadas para o controle da doença.

$$\text{IPA} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de exames positivos registrados em determinado local e período}}{\text{População da área, no mesmo local e período}} \times 1000 \quad (1)$$

De acordo com o IPA, as áreas podem ser classificadas conforme o grau de risco:

- Área sem risco: IPA < 1;
- Área de baixo risco: IPA de 1 a 9;
- Área de médio risco: IPA de 10 a 49;
- Área de alto risco: IPA ≥ 50.

Os resultados apresentados para todo o município podem não expressar adequadamente a real situação de risco em suas diferentes localidades. As maiores limitações deste índice é que seu indicador se refere a lâminas que podem ser casos novos ou várias lâminas de uma mesma pessoa. Outro problema é que seu denominador (população) pode dificultar a estratificação de áreas de risco, principalmente em municípios de maior densidade populacional (DATASUS, 2004).

4.2 Mudanças Climáticas Globais e Doenças Infecciosas

O resultado das mudanças ambientais inclui alteração na composição atmosférica, degradação dos solos, escassez de água, perda de biodiversidade. O desenvolvimento econômico-social e o aumento substancial da população até 2050, principalmente nos países pouco desenvolvidos, serão uma das causas dos problemas ambientais. Dentre esses problemas há o aumento de antigas e novas doenças infecciosas, ameaçando a vida de milhões de pessoas em todo o mundo (McMICHAEL *et al.*, 1998).

Emissões antropogênicas de gases na atmosfera, vinculados ao desmatamento induzem ao aquecimento da superfície da Terra. É também aceito pelos cientistas que este aquecimento pode causar uma expansão de insetos transmissores de doenças como a malária, febre amarela, dengue, leishmaniose, entre outras, principalmente nos trópicos (MASSAD & FORATTINI, 1998).

A atividade biológica e a distribuição geográfica do parasita da malária (espécies do gênero *Plasmodium*) e do vetor (*Anopheles* spp.) são sensíveis a variações climáticas, especialmente temperatura e precipitação. Para prever a influência das variações climáticas sobre a distribuição e incidência da malária no ano de 2100, MARTENS *et al.* (1995) utilizaram modelagem matemática. O modelo avalia os efeitos das mudanças globais sobre a malária e consiste da ligação de vários módulos ou sistemas: sistema do clima, sistema da malária que subdivide em (humano e do mosquito) e sistema de impacto. Estes sistemas são ligados diretamente de forma que a saída de um é entrada do outro. A precipitação e temperatura são os principais fatores que atuam no potencial risco de transmissão da malária, esses fatores são derivados do sistema climático (Figura 2). A interação entre o sistema humano e do mosquito determina o grau de transição entre população humana susceptível, infectada e imune. O sistema de impacto estima o impacto na saúde descrito pela morbidade e mortalidade da malária. Os cientistas concluíram que um aumento da temperatura pode levar à expansão das áreas de ocorrência de malária. As principais mudanças ocorreriam em áreas onde os mosquitos transmissores já existem, mas os parasitas são limitados pela temperatura.

A precipitação exerce influência sobre a malária porque parte do ciclo do mosquito ocorre na água. As chuvas em quantidade moderada podem facilitar a proliferação dos mosquitos vetores, mas se ocorrerem, em excesso, destroem os criadouros dos mosquitos, eliminando assim as larvas que ficam depositadas em poças d'água, nas margens de rios, por exemplo. A precipitação também pode elevar a umidade relativa e conseqüentemente a longevidade do mosquito adulto (MARTENS *et al.*, 1995).

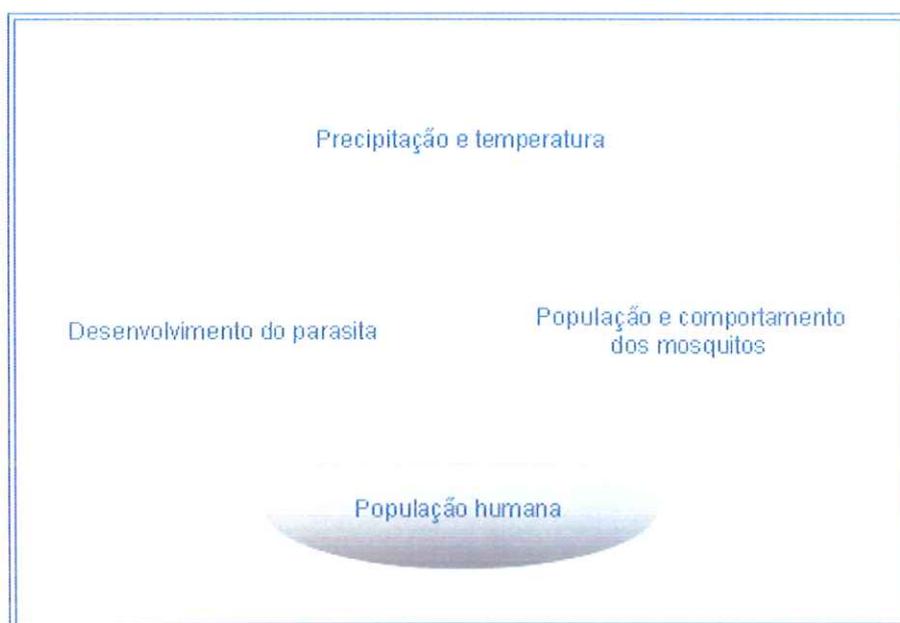


Figura 2 - Diagrama dos processos envolvidos no ciclo de vida do parasita da malária. Fonte: Modificado de MARTENS *et al.*, 1995.

4.3 Ecologia dos Vetores da Malária Encontrados na Região da UHE Tucuruí

O estudo da ecologia dos vetores permite avaliar o nível de vulnerabilidade de uma determinada área, quantificando os fatores de risco, o que possibilita formular medidas mais eficazes no controle da malária (TADEI *et al.*, 1998).

Segundo o levantamento realizado na região de Tucuruí por TADEI *et al.* (1983) foi constatada a ocorrência de doze espécies de anofelíneos, distribuídas em três subgêneros:

- Subgênero *Nyssorhynchus* (Blanchard, 1902): *An. nuñez-tovari* (Galbadon, 1940); *An. triannulatus* (Neiva & Pinto, 1922); *An. oswaldoi* (Peryassú, 1922); *An. darlingi* (Root, 1926); *An. albitarsis* (Lynch Arribáizaga, 1878); *An. rondoni*

(Neiva & Pinto, 1922); *An. noroestensis* (Galvão & Lane, 1937); *An. rangeli* (Gabaldón, Cova-García & Lopez, 1940); *An. evansae* (Brèthes, 1926).

- Subgênero *Arribalzagia* (Theobald, 1903): *An. intermedius* (Chagas, 1908); *An. mediopunctatus* (Theobald, 1903).
- Subgênero *Anopheles* (Meigen, 1818): *An. mattogrossensis* (Lutz & Neiva, 1911).

As espécies *An. intermedius* e *An. rondoni* existiam na UHE de Tucuruí na fase de pré-enchimento do reservatório e desapareceram na fase de pós-enchimento e as espécies *An. argyritarsis* e *An. benarrochi* surgiram após a formação da represa (TADEI *et al.*, 1993). *An. braziliensis* era ausente na área, mas foi capturado cinco anos depois do enchimento do lago (TADEI *et al.*, 1998).

Larvas das espécies *An. nuñez-tovari*, *An. triannulatus* e *An. oswaldoi* foram encontradas em criadouros de características variáveis (criadouros permanentes ou temporários, totalmente expostos ou não à luz solar, águas claras ou turvas, com variações na concentração de matéria orgânica). Para a espécie *An. albitarsis* os criadouros também eram muito diversificados, enquanto que a espécie *An. mediopunctatus* foi detectada apenas em criadouros localizados no interior da mata e em local sombreado. Em relação ao *An. darlingi*, considerado o vetor mais eficiente, responsável pela epidemia ou hiperendemia da malária na Amazônia (DEANE, 1988) foram encontradas larvas em ambientes diversificados (às margens do rio Pucuruizinho, em troncos de árvores que se localizavam dentro das águas do rio em local profundo e em lugares de remanso junto às folhas secas; em poças no leito do mesmo rio que se formaram na época seca; em uma lagoa de água limpa próximo à vegetação das margens composta por capim canarana (*Echinochloa spectabile*) e uma espécie do gênero *Nymphaea*; no igarapé Taurizinho em local sombreado com presença de folhas secas). Em todos os criadouros citados as águas eram relativamente claras (TADEI *et al.*, 1983).

Segundo TADEI *et al.* (1988b) formas imaturas de *Anopheles* foram capturadas entre as raízes de *Eichornia crassipes*, *Salvinia auriculata*, *Pistia stratiotes* e associações destas. As espécies de macrófitas aquáticas: *Paspalum repens*, *Scirpus cubensis*, *Lemma sp.* e *Utricularia foliosa*, também foram registradas no reservatório.

Segundo TADEI *et al.* (1993), a atividade de picar da espécie *An. darlingi*, apresenta um padrão bimodal, ou seja, com um pico no início da noite e outro ao amanhecer, geralmente este último com menor intensidade (Figura 3). Com relação ao *An. nuñez-tovari*, *An. triannulatus*, *An. albitarsis* entre outras, o horário de maior atividade dessas espécies está entre 19:00 e 20:00 horas.

TADEI *et al.* (1998) observaram um nível elevado de antropofilia para *An. darlingi*, pois 59% dos exemplares foram capturados sugando o homem e na vegetação próxima às casas.

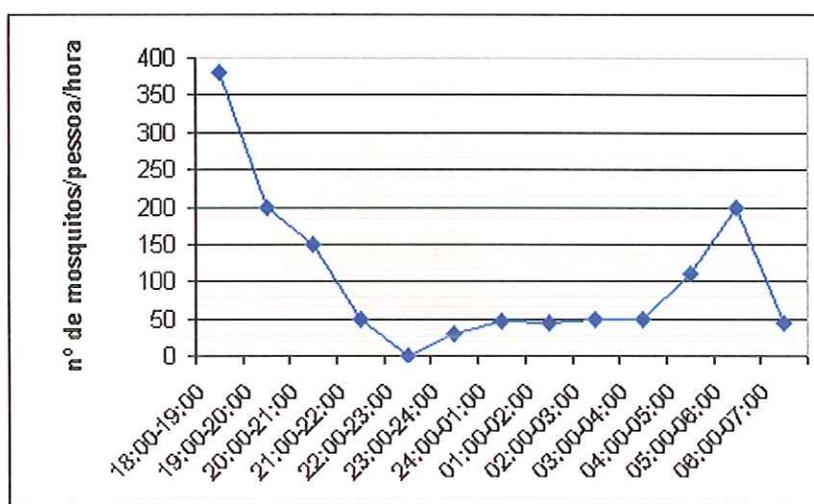


Figura 3 - Atividade de picar do mosquito *An. darlingi* na região de Tukurú.
Fonte: Modificado de TADEI *et al.* (1998).

4.4 Controle e Prevenção da Malária Utilizando Produtos de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica

Na Tabela 1 observa-se um resumo de alguns estudos sobre os vetores da malária.

Tabela 1- Resumo dos estudos sobre mosquitos transmissores da malária.

AUTORES	LOCAL	ESPÉCIE	HABITAT	TÉCNICAS
Tadei <i>et al.</i> (1983)	área de influência do reservatório de Tucuruí	<i>An. nuñez-tovari</i> , <i>An. triannulatus</i> , <i>An. oswaldoi</i> (ambos na forma larvária)	Totalmente expostos à luz solar; sombreados; águas limpas ou turvas; com alta ou baixa conc. de matéria orgânica	coletas de campo
Tadei <i>et al.</i> (1983)	área de influência do reservatório de Tucuruí	<i>An. albicansis</i> , <i>An. mediopunctatus</i> <i>An. darlingi</i> (ambos na forma larvária)	Próximos de habitações; local sombreado na mata e às margens de rios, respectivamente	coletas de campo
Tadei <i>et al.</i> (1993)	área de influência do reservatório de Balbina	<i>An. mediopunctatus</i> <i>An. oswaldoi</i>	às margens de rios Próximo a ambientes Alterados	coletas de campo
Beck <i>et al.</i> (1994)	Chiapas, México	<i>An. albimanus</i>	Área de transição do pântano e pasto não manejado	TM-LANDSAT
Pope <i>et al.</i> (1994)	Chiapas, México	<i>An. albimanus</i>	Áreas alagadas, corpos d'água com vegetação	TM-LANDSAT
Roberts <i>et al.</i> (1991)	Tapachula, México	<i>An. albimanus</i> <i>An. Pseudopunctipennis</i>	Margens de corpos d'água permanentes	dados de SR não especificados
Beck <i>et al.</i> (1992)	Califórnia, EUA	<i>An. Freeborni</i>	Plantação de arroz Irrigada	TM-LANDSAT5 NS-001-TMS; Daedalus TMS
Roberts <i>et al.</i> (1996)	Belize (Am. Central)	<i>An. Pseudopunctipennis</i> <i>An. darlingi</i>	Floresta próxima às casas, Canais	SPOT XS 20x20m, bandas verm e infra-verm., SIG
Rejmankova <i>et al.</i> (1995)	Norte de Belize	<i>An. albimanus</i>	Áreas pantanosas com cianobactérias e margens de rios com vegetação emergente ou flutuantes	SPOT 20x20m, bandas verde, verm. e infraverm., SIG

Segundo ROBERTS *et al.* (1991) conhecer as áreas de crescimento das espécies transmissoras da malária é um pré-requisito para utilizar dados de sensoriamento remoto a fim de quantificar e monitorar essas regiões de modo eficaz. Os autores usaram dados ambientais para classificar os habitats onde as larvas dos mosquitos *An. albimanus* e *An. pseudopunctipennis* estariam presentes ou ausentes. Com várias combinações de variáveis como a altitude em relação ao nível do mar (nesta região varia entre 0-850m); presença de plantas aquáticas de

diferentes gêneros (*Eichhornia*, *Cyperaceae*); características da água (concentração de PO_4 , sólidos totais dissolvidos, algas filamentosas e profundidade); identificaram corretamente de 60 a 100% das áreas positivas e negativas para as larvas dos vetores citados em Tapachula, México.

POPE *et al.* (1994), integraram dados de sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica e pesquisas de campo para prever a dinâmica das populações de *Anopheles* em Chiapas, México. Imagens TM-Landsat foram analisadas na época de chuva (limitada devido às nuvens) e de estiagem, identificando 16 unidades de cobertura do solo. Habitats individuais foram classificados dentro dessas unidades usando análise de agrupamento ("clustering").

Outro estudo realizado na região de Chiapas (México) utilizou imagens TM-Landsat (no período das chuvas e no período da seca) para identificar vilarejos com alto risco de transmissão da malária. As cenas foram submetidas a uma classificação não supervisionada e a duas etapas de análise (discriminante e de regressão linear). Ambas indicaram que os principais elementos da paisagem para explicar a abundância do vetor *An. albimanus* foram o pasto não manejado e a área de transição para pântanos. Funções discriminantes geradas por esses dois elementos foram capazes de distinguir corretamente entre vilarejos com alta e baixa abundância, apresentando 90% de acerto (BECK *et al.*, 1994).

BECK *et al.* (1992) consideram as plantações irrigadas de arroz habitats ideais para vetores da malária. O mosquito da espécie *An. freeborni*, foi associado com a proximidade de culturas de arroz, na Califórnia. Os autores deste trabalho concluíram que as plantações onde havia maior cobertura vegetal e próximas às pastagens, apresentavam maior produção de larvas de anofelíneos que aquelas com menor cobertura vegetal e distante das pastagens com criação de animais. A combinação de componentes espaciais e espectrais pode aumentar a eficiência na identificação de áreas com alta infestação por vetores de doenças, antecipando as atividades de controle.

Dados SPOT-HRV (Stellite Pour l'Observation de la Terre) foram também utilizados com sucesso para prever a densidade do mosquito *An. albimanus* ao norte de Belize. REJMANKOVA, *et al.* (1995), basearam-se na distância entre áreas com habitações humanas de vários tamanhos e próximas ao rio e locais

pantanosos. Por essa combinação de classes, eles selecionaram dois grupos: aqueles localizados a menos de 500 metros do habitat do vetor e a mais de 1500 metros. As áreas com distâncias maiores que 1500 metros do habitat apresentaram uma baixa densidade do mosquito ($<0,5$ mosquitos/pessoa/min.), enquanto que as áreas com distâncias menores de 500 metros apresentaram maior densidade ($>$ ou igual a $0,5$ mosquitos/pessoa/min.).

Dados do satélite SPOT foram utilizados por ROBERTS *et al.* (1996) para prever a distribuição do vetor da malária em Belize. O critério usado para determinar a densidade dos mosquitos foi a distância das casas ao habitat dos vetores (*An. pseudopunctipennis* e *An. darlingi*) como por exemplo: florestas, córregos, etc. As cinco classes de cobertura do solo usadas para prever a distribuição do mosquito apresentaram uma exatidão maior que 90%.

4.5 Sensoriamento Remoto Utilizado como Ferramenta pelos Epidemiologistas no Controle de Endemias

Uma das aplicações de sensoriamento remoto no controle de endemias é o monitoramento da cobertura vegetal através do cálculo de índices de vegetação, os quais podem ser associados à densidade, estágio fenológico e vigor da vegetação. CROSS *et al.* (1996), por exemplo, usaram o índice de vegetação normalizado (NDVI) para prever a distribuição do *Phlebotomus papatasi* no sudoeste da Ásia. Mensalmente foram calculados os valores de NDVI para cada estação meteorológica, espalhada na área de estudo, durante doze anos.

Para definir a distribuição sazonal do vetor para cada localidade, mês e ano, as variáveis (temperatura mínima, máxima, umidade relativa, ponto de orvalho, entre outras) foram analisadas. Os valores de NDVI extraídos de imagens NOAA foram então relacionados com os dados de probabilidade de ocorrência ou ausência do vetor. Os resultados indicaram que entre os valores (0,00 e 0,06) de NDVI haveria maior probabilidade da presença do mosquito *Phlebotomus papatasi*.

POPE *et al.* (1992) usaram imagens Landsat TM para identificar áreas que servem como sítios de reprodução do mosquito transmissor da RVF (Rift Valley Fever), no Quênia. Essas áreas são chamadas "dambos". Imagens do radar de

abertura sintética (SAR) com alta resolução, nas bandas L, C e X foram também utilizadas para discriminar áreas inundadas e não inundadas. A melhor banda para fazer esta distinção foi a L com polarização HH. Esta informação extraída pelo sensor de microondas é significativa para o estudo e monitoramento de possíveis áreas de proliferação de vetores nas diferentes estações do ano. As imagens de radar, por não estarem sujeitas a interferências atmosféricas significativas, captam dados nos períodos de chuva e permitem mapear distintamente as áreas alagadas, devido ao comportamento dos alvos nessa faixa do espectro.

Em duas comunidades de Westchester County, Nova Iorque, DISTER *et al.* (1997) usaram imagens Landsat TM para descrever a composição da paisagem em propriedades residenciais onde a Lyme é endêmica. As áreas de transmissão tinham sido caracterizadas como regiões que apresentavam florestas decíduas e áreas residenciais, o que permitia maior contato entre o vetor (carrapato *Ixodes scapularis*), cães e humanos (hospedeiros). Classificações de cobertura do solo e dados de soro-prevalência dos cães foram combinados em um SIG. Foi determinado que a soro-prevalência dos cães estava correlacionada positivamente com a presença de floresta decídua e negativamente correlacionada com classes urbanas. Portanto, as propriedades que apresentavam esse tipo de vegetação estavam mais propensas à contaminação.

Vários métodos de sensoriamento remoto foram testados para realizar o estudo de habitats de larvas dos mosquitos *Aedes vigilax* e *Culex annulirostris* (área pantanosa aberta e floresta inundada) em Queensland, Austrália. Segundo os autores do estudo, DALE *et al.* (1998), a fotografia aérea foi o método mais simples, mas as fotos nem sempre são atuais e a exatidão pode variar de foto para foto. As fotografias aéreas infravermelho-coloridas foram utilizadas com sucesso para identificar partes específicas da área pantanosa, onde ovos e larvas da espécie *Aedes vigilax* foram encontrados. O sensor termal e o radar de abertura sintética (SAR) detectam informações sob o dossel da vegetação e possuem alta resolução, produzindo também bons resultados em áreas abertas, mas são métodos caros e com maior grau de dificuldade para serem utilizados com maior frequência.

Dois missões de fotografia aérea por ano são recomendadas (uma missão no inverno e outra no verão) para fazer levantamentos do habitat do mosquito

Psorophora columbiae em plantações de arroz no Texas. O uso de fotografia aérea permite realizar uma avaliação detalhada das condições do habitat do vetor e com isso obter maior eficiência no seu controle. Além disso, esta técnica associada ao estudo de campo reduz custos em relação ao estudo de campo convencional (WELCH *et al.*, 1989).

HAYES *et al.* (1985) conduziram estudos associando plantas aquáticas, áreas alagadas com habitats dos mosquitos *Culex tarsalis* e *Aedes vexans* nos arredores da represa Lewis e Clark Lake no Rio Missouri entre Dakota do Sul e Nebraska, Estados Unidos. Foram utilizadas imagens do sistema Landsat 1 e 2. As áreas caracterizadas como criadouros ou não do mosquito foram correlacionadas com os tipos de vegetação, o que resultou em três classes: área permanentemente inundada, freqüentemente inundada e ocasionalmente inundada. Para a espécie *Culex tarsalis*, a classe permanentemente inundada poderia ser o habitat de maior potencial para a criação deste vetor, enquanto que a classe ocasionalmente inundada corresponderia a de menor potencial. Já para a espécie *Aedes vexans* ocorreria o oposto. A resolução das imagens Landsat 1 e 2 não foi adequada para delinear precisamente comunidades de plantas e habitats do mosquito, pois estes sistemas tinham uma resolução espacial de 80 metros. Hoje, há vários sistemas com alta resolução espacial e temporal, o que permite realizar estudos como este obtendo resultados melhores.

A Tabela 2 apresenta algumas doenças transmitidas por artrópodes, quais as formas de transmissão, quais os principais sintomas e as áreas endêmicas.

Tabela 2 - Descrição de algumas doenças transmitidas por artrópodes:

DOENÇA	VETOR	DEFINIÇÃO	TRANSMISSÃO	SINTOMAS	REGIÃO
Lyme	Carrapatos infectados com a bactéria <i>Borrelia burgdorferi</i>	Doença infecciosa transmitida por algumas espécies de carrapatos de veados ou cervos	Para humanos ou animais pela picada do carrapato infectado. A bactéria passa para a corrente sanguínea	Erupção na pele; febre; fadiga; dores musculares; pescoço enrijecido	Nordeste, Meio-Atlântico, Norte Central e costa do Pacífico dos EUA e Europa
Rift Valley Fever	Várias espécies dos mosquitos <i>Aedes</i> e <i>Culex</i> infectados com o vírus RVF do gênero <i>Phlebovirus</i>	É uma doença que causa febre aguda e afeta animais domésticos e humanos. Está relacionada com aumento da população de mosquitos em anos chuvosos	Pela picada dos mosquito. O homem pode também se infectar com o sangue de animais contaminados	Febre e anormalidades no fígado. Alguns pacientes podem ter febre hemorrágica inflamação do cérebro e doenças oculares	Leste e sul da África; região do sub-Saara e Madagascar
Leishmaniose Tegumentar Americana	Diversas espécies de flebotomíneos	É uma doença infecciosa causada por espécies de protozoários do gênero <i>Leishmania</i>	Animais silvestres ou cães domésticos são contaminados pela picada do mosquito. O homem é infectado por mosquitos que se alimentaram de sangue contaminado dos animais silvestres ou dos cães. Se o mosquito picar um homem infectado, ao picar outra pessoa ele não irá transmitir a doença para esta pessoa	ulceração na pele, podem ocorrer lesões mucosas e cartilaginosas. Pode afetar as funções vitais levando ao óbito	Em quase todo o Hemisfério Ocidental
Encefalite Japonesa	Mosquitos <i>Culex</i> da família <i>Culicidae</i>	é uma infecção viral aguda do sistema nervoso central	Depois de picar animais domésticos infectados, especialmente porcos, o mosquito transmite a doença ao homem pela picada	Sintomas suas (febre, dor de cabeça, sintomas gastrointestinais de anorexia). Pode progredir para infecção do cérebro	China, Korea, sudeste asiático, subcontinente indiano, Japão, Taiwan, Singapura, Hong-Kong, leste da Rússia

Fonte: CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2000; FILHO, R.M., 2000; LAM, S.K., 2000; UNION SQUARE MEDICAL ASSOCIATES, 2000.

4.6 Controle Global da Malária

Na Conferência Ministerial de Amsterdã de 1992, foram enunciados os objetivos do controle global da malária:

- I. Prevenção da mortalidade;
- II. Redução da morbidade e das perdas econômicas e sociais (SILVEIRA & REZENDE, 2001).

Para que estes objetivos se concretizem em redução e controle da malária nos diversos países que estão propensos a esta infecção, há que se considerar as diferenças sociais, ambientais e econômicas de cada região.

A Estratégia Global para o Controle da Malária (EGCM) possui quatro elementos básicos para sua implementação:

1. Rapidez no diagnóstico e tratamento;
2. Planejamento e implementação de medidas preventivas de controle de vetores;
3. Detectar, prevenir e conter epidemias;
4. Melhorar a capacidade dos serviços de saúde.

Na Região das Américas (países da América Central, México e América do Sul), países estão reorientando suas metas de controle da malária de acordo com a EGCM. Apenas com a prática do primeiro elemento, maior rapidez do diagnóstico e tratamento, resultou na queda da taxa de mortalidade decorrente da malária em 36%, aproximadamente. Em 1994 a taxa bruta de mortalidade por *P. falciparum* foi de 8,3 para cada 1.000.000 habitantes e em 1998 foi de 3,0 para cada 100.000 habitantes. Não esquecer que estes números são gerais, pois, neste mesmo período, houve países que registraram aumento de mortes por malária maligna, como Peru (39 mortes em 94 e 56 em 98) e Venezuela (17 em 94 e 26 em 98). Ao analisar alguns dados de SILVEIRA & REZENDE (2001) na Amazônia brasileira, em 1994 foram examinadas mais de 2000 lâminas, enquanto que em 1998 o número de lâminas examinadas reduziu-se para 1500, podendo ter influenciado no número de casos positivos para malária do tipo maligna, causada pelo *P. falciparum*.

A implementação de uma estratégia de controle enfrenta três principais problemas: resistência institucional à mudança; falta de recursos humanos treinados e redução dos orçamentos e na efetiva aplicação dos recursos disponíveis (SILVEIRA

& REZENDE, 2001). Segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde), os gastos públicos com saúde no Brasil, em relação aos países da América Latina, estão entre os menores segundo apontam os dados do PIB. Em 1995 o Brasil destinava 3,5% do PIB para a saúde, este número foi reduzido para 3,3% em 2000 e em 2001 foram destinados 8,8%. Apesar deste aumento, o Brasil ainda investe muito pouco nesta área. Para se ter uma idéia, a Argentina destina 21% de seu PIB para a saúde.

Estas barreiras podem ser amenizadas se os programas de controle forem realizados em conjunto com órgãos federais e regionais e com o envolvimento das pessoas de cada localidade. Um bom exemplo desse tipo de parceria é o programa de "Ação conjunta para o controle da malária no Maranhão". Neste programa foi estabelecido capacitar 100% das equipes de profissionais da área de saúde nos 49 municípios de risco de malária, além de promover o envolvimento dos gestores municipais (prefeitos e secretários de saúde). O Plano foi iniciado após um alarmante número de casos diagnosticados no ano de 2000, que chegou a 70.000 casos distribuídos em 49 municípios. Após um ano de implementação do Plano de controle da malária, a incidência caiu 48% (UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO, 2003).

Essas medidas tomadas no Maranhão, talvez sejam as mais eficientes e de menor custo para controlar a malária na Amazônia. Porque é praticamente impossível evitar que as populações, principalmente as de áreas rurais, entrem em contato com os vetores. Telas nas janelas, borrifar inseticidas nas paredes, uso de mosquiteiros, seriam medidas mais pontuais e difíceis de implementar, primeiro pelos custos, segundo pelos hábitos da população e terceiro pelas características dos principais mosquitos transmissores.

4.7 Caracterização das Macrófitas Aquáticas

Macrófita aquática é o termo utilizado para caracterizar vegetais que habitam desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos. A distribuição das espécies no ambiente aquático é variável e, dependendo do grau da adaptação da espécie, ela habita regiões mais rasas ou mais profundas (UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO DO SUL, 2003). Estas plantas podem ser classificadas em:

- Macrófitas aquáticas emersas: enraizadas no sedimento, porém as folhas crescem para fora d'água. Ex: *Typha domingensis* (Figura 4). Segundo HOEHNE (1948), as plantas do gênero *Typha* são designadas de ervas aquáticas e lacustres. Este gênero contém nove espécies, sendo que apenas a *T. domingensis* aparece no Brasil de forma nativa.



Figura 4 - *Typha domingensis*

- Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes: enraizadas no sedimento e com folhas flutuando na superfície da água. Ex: *Scirpus* sp. e *Nymphaea elegans* (Figura 5).



Figura 5 - *Nymphaea elegans*

Segundo NOERNBERG (1996), em Tucuruí as plantas do gênero *Scirpus*, geralmente *Scirpus cubensis*, encontram-se associadas a árvores mortas, conhecidas por paliteiros (Figura 6).



Figura 6 - *Scirpus cubensis* (mortas) presas aos paliteiros, após a redução do nível da água do reservatório de Tucuruí-PA

- Macrófitas aquáticas submersas enraizadas: enraizadas, crescendo totalmente debaixo d'água. Ex: *Egeria densa* (Figura 7).



Figura 7 - *Egeria densa*

- Macrófitas aquáticas submersas livres: Permanecem flutuando debaixo d'água. Podem se prender a pecíolos e caules de outras macrófitas. Ex: *Utriculária* sp. (Figura 8).

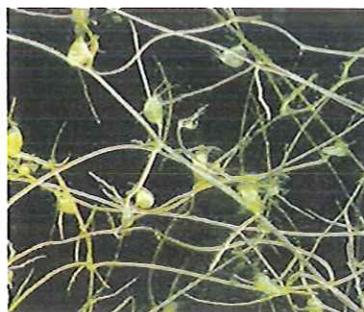


Figura 8 - *Utriculária* sp.

- Macrófitas aquáticas flutuantes: Flutuam livremente na superfície da água. Ex: *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes* e *Salvinia* sp. (Figuras 9a, b e c) (http://www.ufscar.br/~probio/info_macrof.html).

O gênero *Salvinia* tem registrado mais de doze espécies. A maior de todas é a *Salvinia auriculata* que não espalma as folhas, porém as apresenta muito juntas, eretas e fortemente ásperas, com aparência de orelhas torcidas (HOEHNE, 1948). Por isso é chamada popularmente de orelha-de-rato e é bastante comum no reservatório de Tucuquí.



Figura 9a - *Pistia stratiotes*



Figura 9b - *Eichhornia crassipes*



Figura 9c - *Salvinia auriculata*

Segundo NOERNBERG (1996) a *Eichhornia* sp. e a *Pistia* sp., devido às longas raízes fibrosas, abrigam larvas e ovos de insetos transmissores de doenças. A

Eichhornia sp., por apresentar uma estrutura vertical, pode se mover facilmente, sendo uma boa estratégia de dispersão para os mosquitos.

Na Figura 10, encontram-se esquematizados os tipos de macrófitas aquáticas de acordo com a distribuição no ambiente aquático.

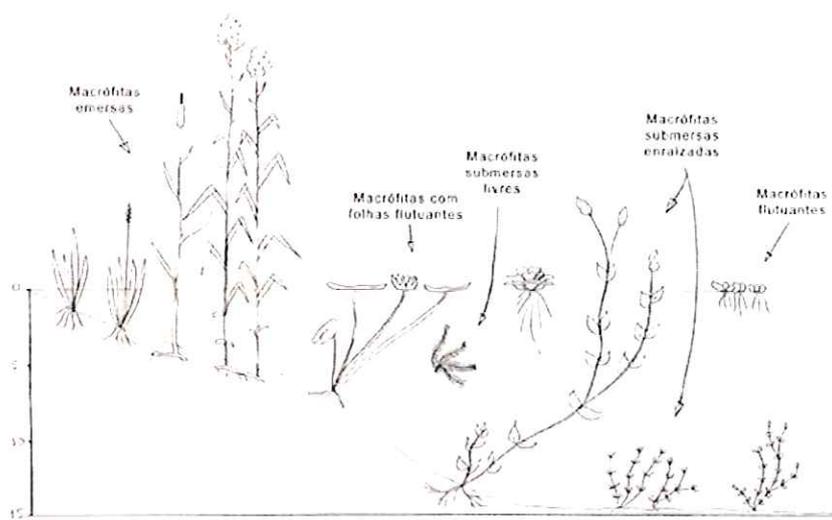


Figura 10 - Classificação das plantas aquáticas quanto à distribuição no ambiente aquático
Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 2003.

A proliferação de plantas aquáticas (macrófitas) nos sistemas lacustres ocorre devido à eutrofização do corpo d'água que é causada pelo excesso de nutrientes fosforados e nitrogenados. A principal fonte desses nutrientes são os fertilizantes e adubos, utilizados na agricultura e que são carregados pelas chuvas.

Alguns autores como TADEI (1991), FORATTINI (2002), JUNK (1996) correlacionam o aumento de macrófitas à proliferação de vetores de doenças em reservatórios de hidrelétricas. Estas plantas criam condições favoráveis nos criadouros para as larvas dos mosquitos. Algumas larvas de mosquitos como os *Mansoniini* dependem da vegetação aquática para realizar as trocas respiratórias, nelas se fixando (FORATTINI, 2002). Apesar das larvas dos mosquitos vetores da malária (*Anopheles*) não dependerem diretamente dessa vegetação, estas formam ambientes favoráveis a sua proliferação (sombreamento, proteção contra predadores, disponibilidade de alimento).

Para as aplicações epidemiológicas e também para a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, é extremamente importante caracterizar as espécies de macrófitas. Segundo NOERNBERG (1996), os diferentes gêneros de macrófitas

possuem características muito diferentes como forma, arranjo das folhas, tamanho, as quais afetam a interação com a radiação eletromagnética o que poderia impossibilitar a discriminação dessas plantas por meio de radares que operam na faixa das microondas.

GRACIANI (2003) observou que a imagem óptica (TM - LANDSAT 5) separou corretamente as macrófitas flutuantes e água, enquanto que a imagem RADARSAT permitiu discriminar *Typha* e paliteiros. Quando usou a fusão entre imagens ópticas e de radar, foi possível separar os gêneros *Cyperacea sp*, *Scirpus sp* e *Typha sp*.

4.8 Sistema de Informação Geográfica e Álgebra de Mapas

Um sistema de informação geográfica (SIG) é um sistema de computador para manejo de dados espaciais (BONHAM-CARTER, 1996). A palavra sistema se justifica dado ao fato de um SIG ser composto por vários componentes interrelacionados. A palavra informação é atribuída ao processo de conversão de dados armazenados em informações a partir de sua manipulação e processos de consulta (CÂMARA, 1995). O termo geográfico se deve ao fato de que os dados possuem localizações conhecidas ou passíveis de cálculo, em termos de coordenadas geográficas (latitude, longitude) (BONHAM-CARTER, 1996).

Segundo CÂMARA (1995) um SIG possui os seguintes componentes: interface com o usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento, visualização e plotagem, armazenamento e recuperação.

As classes de dados geográficos são divididas em Campo e Objeto. A primeira, denominada campo geográfico ou geo-campo é formada por variáveis espacialmente contínuas, ou seja, é possível definir seus valores em qualquer posição da região de estudo, como por exemplo, temperatura. Enquanto a classe de objetos geográficos ou geo-objeto é formada por variáveis que apresentam descontinuidade espacial, como, por exemplo, determinada cultura (BARBOSA, 1999).

A álgebra de mapas pode ser compreendida como uma extensão da álgebra tradicional, com um conjunto de operadores em que as variáveis manipuladas são

campos geográficos. As operações geo-campos podem ser classificadas como pontuais, zonais e de vizinhança (CÂMARA, 1995). Neste trabalho foram aplicadas apenas operações pontuais, tal que o valor resultante em cada posição geográfica do geo-campo destino depende somente dos valores na mesma posição geográfica do geo-campo de origem, ou seja, não ocorre influência dos valores dos atributos das posições vizinhas no geo-campo origem sobre o resultado atribuído à mesma posição geográfica do geo-campo destino (BARBOSA, 1999).

As principais operações pontuais sobre geo-campos são: soma, subtração, divisão, multiplicação, média, máximo/mínimo, funções trigonométricas, combinação Booleana, fatiamento, reclassificação e ponderação (CÂMARA *et al.*, 2001).

4.9 Importância da Integração SIG e Análise Espacial na Epidemiologia

A tecnologia de análise de dados no contexto de sua localização vem sendo cada vez mais valorizada na gestão do sistema de saúde, por auxiliar um planejamento baseado na análise da distribuição espacial das doenças, da localização dos serviços e dos riscos ambientais, entre outros aspectos prioritários.

O enfoque epidemiológico incorpora a pessoa ao ambiente e suas relações. “Entretanto, saúde pública e ambiente são intrinsecamente influenciados pelos padrões de ocupação do espaço: não basta descrever as características das populações, mas é necessário localizar o mais precisamente possível onde estão acontecendo os agravos, que serviços a população está procurando, o local de potencial de risco ambiental. Planejamento, monitoramento e avaliação de programas, estudo de contexto sócio - econômico, vigilância em saúde, todas as ações essenciais à reorientação das ações do setor saúde são beneficiadas por uma visão, incorporando a distribuição espacial. Alguns municípios vêm desenvolvendo trabalhos com SIG, buscando detectar padrões na distribuição dos eventos, de forma a discutir medidas preventivas, sejam elas de caráter assistencial, ambiental ou educativo” (CONSELHO NACIONAL DE SECRETÁRIOS MUNICIPAIS DE SAÚDE, 1999).

4.9.1 Técnicas de Análise de Dados Espaciais: padrões de pontos

O bom conhecimento da variação dos dados relacionados à saúde é de fundamental aspecto para estudos epidemiológicos. A representação e a identificação de padrões espaciais têm um importante papel na formulação de políticas na saúde pública (NOBRE & CARVALHO, 1994).

A análise espacial de padrões pontuais tem como objetivo determinar a tendência da distribuição dos dados observados a apresentarem algum padrão sistemático particular, ou seja, alguma forma de regularidade, agrupamento ou aleatoriedade. Pode-se também determinar a escala espacial de ocorrência ou a influência de uma fonte externa particular sobre sua distribuição (BAILEY & GATRELL, 1995).

Formalmente, um padrão pontual pode ser definido como uma série de localizações (s_1, s_2, \dots), dentro de uma região de estudo R , onde eventos de interesse são observados.

Do ponto de vista estatístico, um padrão de pontos espaciais pode ser definido, em termos do número de eventos, ocorrendo em uma sub-região A , da região de estudo R . Formalmente, isto pode ser representado como um conjunto de variáveis aleatórias $\{Y(A_i), A_i \subseteq R\}$ onde, $Y(A_i)$ é o número de eventos que ocorrem na sub-área A . Neste contexto, um padrão de pontos espaciais pode ser caracterizado em termos das propriedades de primeira e segunda ordem. As propriedades de primeira ordem, consideradas globais ou de grande escala, correspondem a variações no valor médio do processo no espaço, e são descritas em termos de intensidade $\lambda(s)$ do processo, isto é, do número de eventos por unidade de área no ponto s . Formalmente, isto pode ser definido como:

$$\lambda(s) = \lim_{ds \rightarrow 0} \left\{ \frac{E(Y(ds))}{ds} \right\} \quad (2)$$

onde:

E é a esperança, ds é uma pequena região em torno de s e ds a área desta região.

As propriedades de segunda ordem, denominadas locais ou de pequena escala, representam a dependência espacial do processo e são provenientes da

estrutura de correlação espacial entre pares de eventos por unidade de área, na região de estudo R .

4.9.2 Estimador de Intensidade Kernel

O estimador de intensidade Kernel permite a análise do comportamento de primeira ordem de padrões de pontos. Este estimador é uma função bi-dimensional que gera uma superfície sobre a região de estudo, onde o valor em cada ponto desta superfície é proporcional à intensidade de amostras por unidade de área. Se s representa uma localização qualquer na região de estudo R e s_1, \dots, s_n as localizações dos eventos observados, então a intensidade da distribuição, $\hat{\lambda}(s)$, pode ser estimada por (BAILEY & GATRELL, 1995).

$$\hat{\lambda}(s) = \frac{1}{\delta_i(s)} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{(s-s_i)}{\tau}\right) \quad (3)$$

A função $k()$ é uma função de densidade de probabilidade bivariada, escolhida de forma adequada para construir uma superfície contínua sobre os dados. O parâmetro τ é denominado largura de faixa e controla a "suavização" da superfície gerada; trata-se do raio de um disco centrado no ponto de estimação s dentro do qual os eventos presentes s_i contribuem para a estimativa da intensidade $\hat{\lambda}$. Outra forma de obter a função $k()$ é a função de quarta ordem:

$$k(u) = \begin{cases} \frac{3}{\pi} (1-u^2)^2 & \text{para } u^2 \leq 1 \\ 0 & \text{para } u^2 > 1 \end{cases} \quad (4)$$

Usando a eq.(4) a $\hat{\lambda}(s)$, torna-se:

$$\hat{\lambda}_\tau(s) = \sum_{h_i \leq \tau} \frac{3}{\pi \tau^2} \left(1 - \frac{h_i^2}{\tau^2}\right)^2 \quad (5)$$

Onde:

h_i é a distância entre o ponto s e a localização do evento observado s_i . A região de influência dentro da qual os eventos observados contribuem para a estimativa da intensidade é portanto, um círculo de raio τ centrado em s .

Se a largura de faixa τ escolhida for muito pequena, a superfície obtida poderá apresentar descontinuidade, enquanto que um τ muito grande poderá resultar em uma superfície bastante suavizada, mascarando a existência de clusters.

4.10 Tecnologia dos Sistemas Radares

O termo RADAR deriva do inglês *radio detection and ranging* (detecção em faixas de rádio e medição de distância). Os radares operam na faixa das microondas do espectro eletromagnético, incluindo comprimentos de onda de 1mm a 1metro. A mais importante razão para o uso da faixa das microondas é a capacidade que o sistema imageador apresenta de penetrar nuvens e precipitações, além de ser independente do Sol como fonte de iluminação, o que permite a aquisição de dados a qualquer hora do dia ou da noite. Nas Figuras 11 e 12, encontra-se esquematizado o efeito da cobertura de nuvens e da precipitação na transmissão de dados por radar. Notar que acima de 4 cm de comprimento de onda, esses efeitos praticamente não interferem. A terceira razão para o uso das microondas é simplesmente porque as informações captadas são diferentes daquelas registradas na região do visível e do infravermelho, o que lhes dá um caráter complementar (ULABY *et al.* 1981).

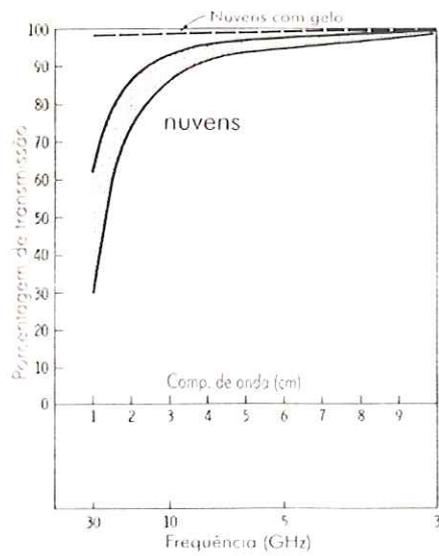


Figura 11 – Efeito da cobertura de nuvens na transmissão de dados do radar para o solo. Fonte: ULABY *et al.* (1981).

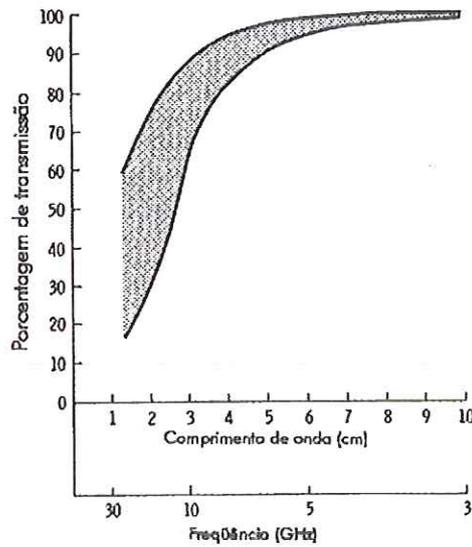


Figura 12 – Efeito da precipitação na transmissão de dados do radar para o solo. Fonte: ULABY *et al.* (1981).

Os radares operam em um comprimento de onda ou frequência específicos, geralmente representados por letras (X, C, P). As letras mais comuns utilizadas para designar as bandas de microondas estão na Tabela 3.

Tabela 3 – Principais bandas de operação dos sistemas radares:

Banda	Comp. de onda (cm)
L	15 a 30
S	8 a 15
C	4 a 8
X	2,4 a 4
K	1,7 a 2,5; 0,75 a 1,2

Fonte: ESA (2003).

Outra importante característica dos sistemas que operam na faixa das microondas é a capacidade de penetrar na vegetação, maior que a radiação óptica. Pode ser observado, na Figura 13, que os maiores comprimentos de onda (λ) penetram mais que os λ menores, sendo esta penetração modulada pelo teor de umidade dos alvos. Para alvos, com menor teor de umidade, a penetração é maior. Na Figura 14, observando a relação entre umidade, freqüência e tipo de solo, podemos notar que a capacidade de penetração é maior para os três diferentes tipos de solo, quanto menor for o teor de umidade e freqüência (ULABY *et al.*, 1981).

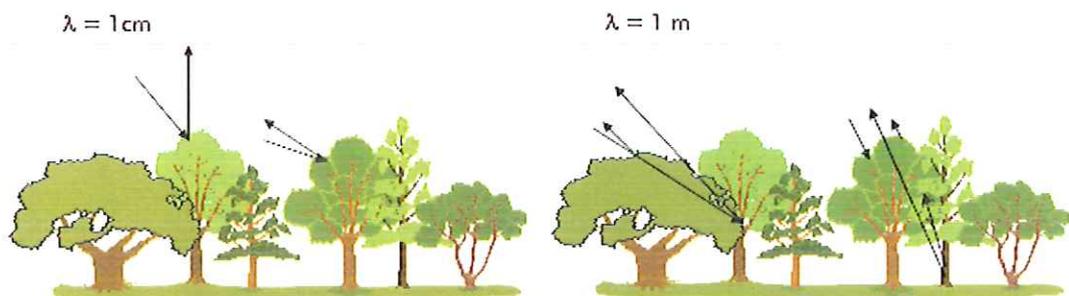


Figura 13 – Capacidade de penetração do sinal de radar na vegetação conforme o comprimento de onda.

Fonte: Modificado de ULABY, *et al.* (1981).

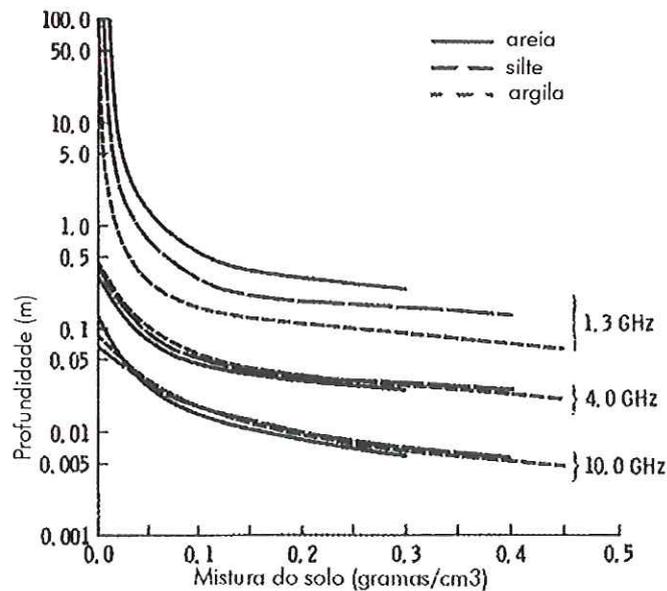


Figura 14 – Profundidade superficial em função do conteúdo de água, frequência e tipo de solo.

Fonte: ULABY, *et al.* (1981).

Os sensores de microondas são classificados em passivos e ativos. O primeiro grupo utiliza a energia emitida pelos corpos na região das microondas. As diferenças de brilho pela variação da temperatura podem ser relacionadas a diferentes materiais. Esse tipo de sensor tem sido usado para monitorar as camadas de gelo nos pólos (NASA, 2003).

Os sensores ativos geram a energia em microondas necessária para iluminar a cena e captam os ecos apresentando-os sob a forma de imagens. Uma antena, montada em um avião ou espaçonave, transmite um sinal de radar de visada lateral (side-looking) em direção à superfície da Terra. O sinal refletido conhecido como eco, é retroespalhado na superfície e recebido em frações de segundo pela mesma antena. O brilho ou a amplitude desse eco recebido é medido e registrado, sendo posteriormente processados no formato de uma imagem bidimensional do terreno. A geometria de um sistema de radar é diferente daquela utilizada pelos sensores ópticos. Similar aos sistemas ópticos, a plataforma percorre em direção à linha de vôo (A) com o nadir (B) abaixo da plataforma. O feixe de microondas é transmitido obliquamente em direção à faixa de iluminação do vôo (C). A resolução em Range (D) refere-se à resolução na direção perpendicular ao deslocamento da plataforma (across track) e é também conhecida por resolução transversal e a resolução em

azimute (E) refere-se à resolução paralela à direção do voo (*along-track*) (ESA, 2003). A Figura 15 mostra a geometria de um sistema radar de visada lateral.

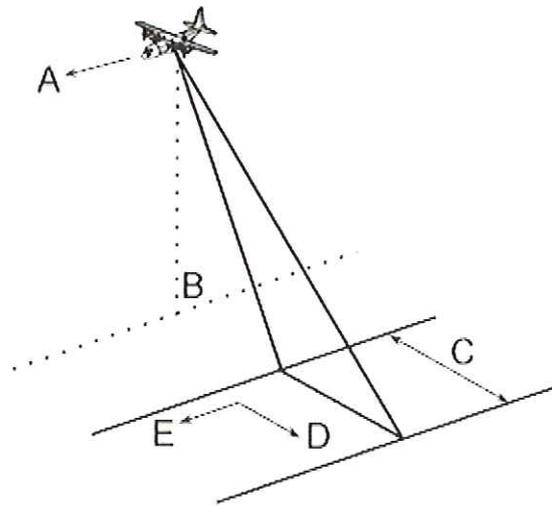


Figura 15 – Geometria de um sistema de radar de visada lateral
Fonte: ESA (2003)

Neste tipo de geometria são definidas duas dimensões básicas e dois ângulos: linha de visada (*slant range*), distância no solo (*ground range*), ângulo de depressão (β) e ângulo de incidência (ϕ). A Figura 16 mostra as dimensões básicas do imageamento com visada lateral. A linha de visada (s) é determinada a partir da diferença de tempo entre a emissão e a recepção do pulso radar (Δt) e a velocidade da luz (c), como mostra a eq.(6):

$$s = c\Delta t/2 \quad (6)$$

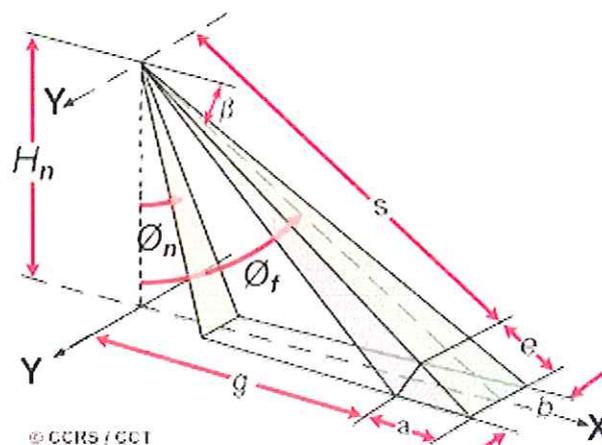


Figura 16 - Dimensões básicas do imageamento com visada lateral
Fonte: CCRS (2004).

Onde:

H_n = altura do voo

- β = ângulo de depressão
- ϕ_n = ângulo de incidência próximo
- ϕ_f = ângulo de incidência distante
- s = linha de visada
- g = distância no solo
- a = resolução da distância no solo (na direção x)
- b = resolução em azimute (na direção y)

O ângulo de incidência é o ângulo que se forma entre o feixe do radar e o alvo. O ângulo de incidência pode ajudar a determinar a aparência do alvo em uma imagem (Figura 17) (CCRS, 2004).

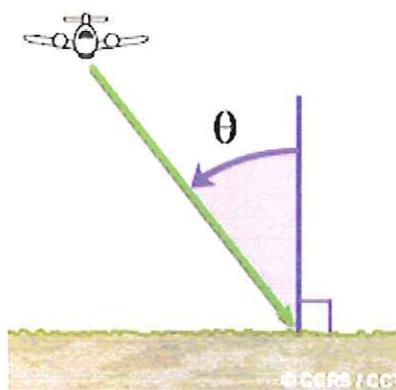


Figura 17 – Ângulo de incidência

Fonte: CCRS (2004).

São dois tipos de radares imageadores de visada lateral SLAR:

1. Sistema de radar de abertura real (SLAR ou RAR). Este é o sistema mais simples. Sua resolução em azimute é determinada pelo comprimento físico da antena e pelo comprimento de onda, o que resulta em baixa resolução. Neste tipo de sistema, para se obter boa resolução, a antena teria tamanhos desproporcionais. A vantagem dos radares RAR é por exigir técnicas de processamento mais simples, mas o uso dos dados é limitado a operações de baixa altitude e a curtos comprimentos de onda, devido à deterioração da resolução em azimute e às interferências dos efeitos da atmosfera.
2. Sistema de radar de abertura sintética (SAR). Este sistema gera imagens de alta resolução. Como a direção da linha de visada muda ao longo da trajetória da plataforma do radar, uma abertura sintética é produzida pelo processamento do sinal que tem o efeito de aumentar o comprimento da antena. A maior vantagem desse sistema sobre o de abertura real é a resolução em azimute, a qual independe da distância entre o radar e o alvo. Na Figura 18, encontra-se esquematizado um

sistema de radar de abertura sintética (ESA, 2003; ULABY *et al.*, 1981; DAMIÃO & MÁXIMO, 1997).

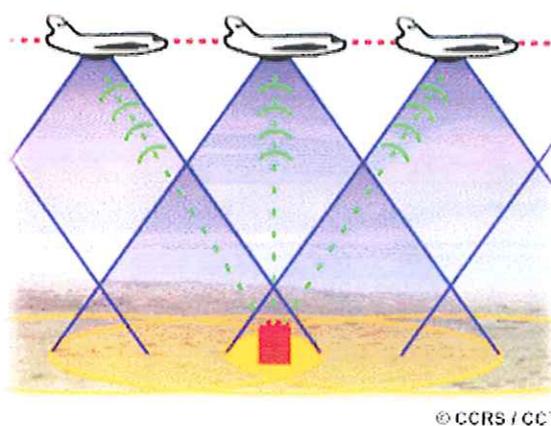


Figura 18- Ilustração do funcionamento de um radar de abertura sintética (SAR).
Fonte: CCRS (2004).

4.10.1 Polarização

Segundo NOERNBERG (1996) a polarização é a propriedade de uma onda eletromagnética descrever uma variação, na direção e na amplitude do vetor campo elétrico, em relação ao tempo.

Os sistemas de radar são construídos para transmitir radiação na polarização vertical (V) ou horizontal (H). Isto significa que o campo elétrico da onda está em um plano vertical ou horizontal. O radar pode receber também a radiação polarizada verticalmente ou horizontalmente e algumas vezes receber e transmitir na mesma polarização (ESA, 2003). Por exemplo, a designação HV significa que o radar emite radiação polarizada na horizontal e recebe na vertical ou HH, onde a polarização é horizontal, tanto para emissão quanto para a recepção da onda eletromagnética.

NOERNBERG (1996), ao estudar o comportamento espectral de plantas aquáticas no reservatório de Tucuruí, utilizando sensor SAR-C, verificou que a polarização que apresentou melhor capacidade de discriminar as diferentes classes foi a HH.

4.10.2 Influência da Permitividade e da Rugosidade dos Alvos

Fatores como permitividade e a rugosidade contribuem para alterar a intensidade do brilho ou o retorno do sinal para o radar. A permitividade define a interação energia-matéria que caracteriza o alvo. Ela expressa a relação entre as características da radiação no vácuo e no meio considerado. Para meios sem absorção, dizemos que o material é isolante ideal. Como no ambiente praticamente não existe um dielétrico ideal, define-se a permitividade como sendo uma variável complexa:

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (7)$$

onde:

ϵ' é a constante dielétrica (energia armazenada na forma de campo elétrico) e ϵ'' é o fator de perda (energia armazenada sob a forma de calor) (DAMIÃO & MÁXIMO, 1997).

O sinal do radar penetra mais profundamente em materiais com baixo valor de constante dielétrica e reflete com maior eficiência naqueles com altas constantes (NASA, 2003). As propriedades da constante dielétrica são fortemente dependentes do conteúdo de água da superfície. A penetração é maior quando há menor conteúdo de água. Em áreas onde o volume de água é permanente a refletividade é alta (TREVETT, 1986).

A segunda propriedade do material é a rugosidade. Materiais diferem um do outro pela rugosidade da superfície. A rugosidade refere-se a pequenas irregularidades, formando a textura da superfície do material ou do objeto. A rugosidade é um parâmetro importante para ser considerado na interpretação de alvos em imagens de radar, porque ela permite diferenciar tipos de solo que possuem diferentes texturas, tipos de vegetação, entre outros alvos. Por exemplo, a textura do dossel de uma floresta é diferente de uma plantação cultivada e a textura de um solo preparado para o cultivo é diferente de uma área onde predomina areia. Este parâmetro depende do comprimento de onda da radiação, do ângulo de incidência e das irregularidades da superfície. Quanto maior o comprimento de onda menos rugosa é a superfície do alvo. Pelo critério de Rayleigh, a radiação será refletida specularmente se o comprimento de onda for maior que 8 vezes a altura

média das rugosidades da superfície. Caso isso não se verifique, a reflexão deixa de ser direcional e passa a ser difusa. O critério de Rayleigh é dado pela eq.(8) (HENDERSON & LEWIS, 1998).

$$h \leq \lambda / (8 \cos \theta_{in}), \quad (8)$$

onde:

h : irregularidades da superfície; λ : comprimento de onda; θ_{in} : ângulo de incidência.

Na Figura 19 a, b e c, podem-se observar três superfícies com graus diferentes de rugosidade. Na Figura 19a, em que a superfície é lisa, a energia emitida pela antena é refletida especularmente e quase nenhum sinal retorna à antena, conseqüentemente essas áreas aparecem na imagem na cor preta. Nas Figuras 19b e c observa-se que, com o aumento da rugosidade, a intensidade do sinal refletido é reduzida, o que proporciona o aumento da intensidade de energia que retorna à antena, conhecida como componente de retroespalhamento. Quanto maior a intensidade de energia que retorna à antena, mais brilhante o alvo será representado na imagem (TREVETT, 1986).

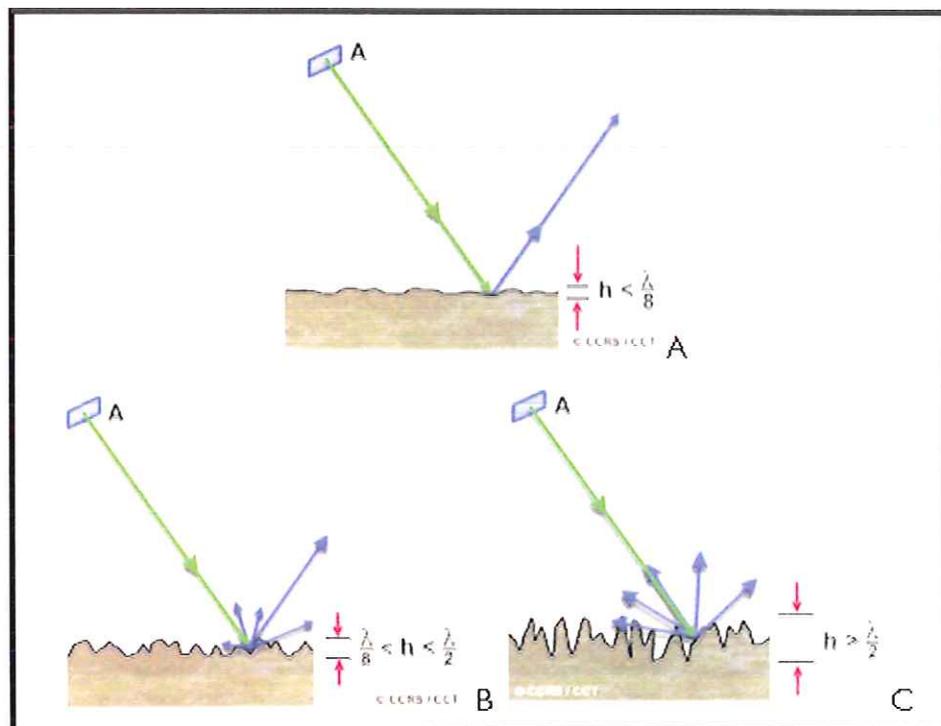


Figura 19 a, b e c – Reflexão do sinal do radar de acordo com a rugosidade da superfície.

Fonte: CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING (2004).

4.10.3 Retroespalhamento (backscatter)

O retroespalhamento é a porção do sinal emitido pelo radar que após interagir com o alvo, retorna e é captado pela antena. Áreas na imagem de radar com baixo retroespalhamento aparecem em tons de cinza escuro ou preto, enquanto áreas claras representam alto retroespalhamento. Isto significa que para as áreas escuras, o sinal foi refletido especularmente, não retornando sinal ao radar e para as áreas claras, grande parte do sinal retornou para a antena. O retroespalhamento irá variar conforme as propriedades elétricas dos alvos, textura, grau de umidade, comprimento de onda e polarização. Superfícies ou objetos com maior grau de umidade aparecem em tons de cinza claro, enquanto as superfícies secas aparecem em tons escuros. Os corpos d'água, como rios e lagos se comportam como superfícies lisas, refletindo especularmente o sinal e por isso aparecem em tons escuros.

A vegetação possui geralmente uma rugosidade moderada e, na maioria dos comprimentos de onda utilizados pelos radares, ela aparece em cinza ou em tons de cinza claro. Superfícies inclinadas na direção do radar causam um forte retroespalhamento e aparecem claras na imagem, enquanto a superfície oposta não é iluminada e aparece escura. Em áreas urbanas onde existem prédios ou em áreas alagadas com vegetação, pode ocorrer reflexão de canto (double-bounce). O sinal interage primeiro com o asfalto ou com a água e é refletido por essas superfícies (lisas) e interage novamente com outro alvo (prédio ou vegetação, por exemplo) para depois retornar ao radar. Nesse tipo de reflexão o alvo irá aparecer na imagem de radar na cor branca ou em tons de cinza muito claros, devido ao alto retorno do sinal (ESA, 2003).

4.10.4 Distorções Geométricas

O *encurtamento* (foreshortening) é uma distorção geométrica relevante e muito comum em áreas onde o relevo é acidentado. Quando um elemento da superfície está mais elevado que aqueles que estão próximos a ele, este irá interceptar primeiro o sinal do radar e será imageado primeiro, causando um efeito

chamado de encurtamento (*foreshortening*). A encosta ab que é projetada no plano da imagem da Figura 20a aparece encurtada no segmento $a'b'$.

Quando o ângulo de incidência é menor que a inclinação do terreno, ocorre o fenômeno chamado *inversão* (*layover*), que são casos extremos de encurtamento. Este fenômeno causa a inversão da ordem dos elementos do terreno quando representados na imagem de radar. Observa-se na Figura 20b que o ponto b está mais próximo que a e é imageado primeiro pelo radar, causando a *inversão* (TREVETT, 1986).

Quando um radar de visada lateral (SAR) produz uma imagem de terreno montanhoso, a encosta que não é iluminada forma sombra, impedindo a aquisição de informações sobre ela. Ao utilizar ângulos de incidência maiores, a área sombreada será menor, mas a distorção geométrica é acentuada. Para amenizar o problema seria necessário obter imagens com diferentes ângulos de incidência (HENDERSON & LEWIS, 1998). Na Figura 20c (sombreamento), observa-se que para o segmento cd não existem dados.

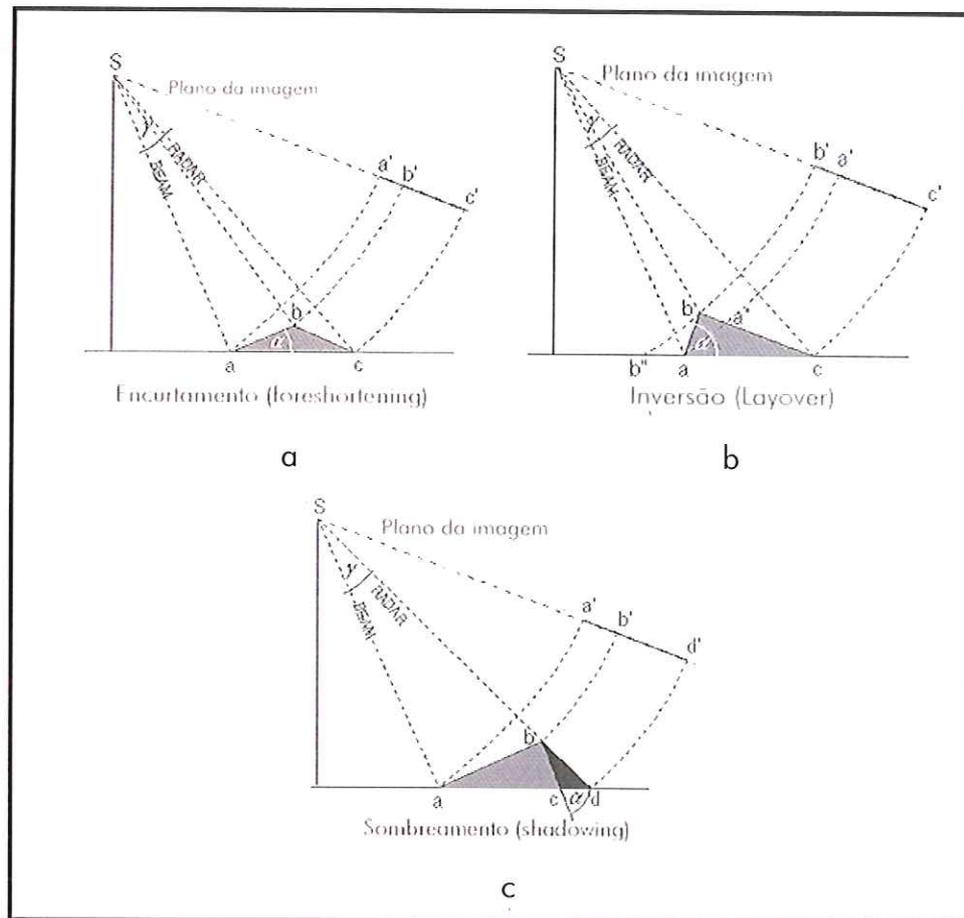


Figura 20 a, b e c – Distorções geométricas.
Fonte: ESA (2003).

4.10.5 Ruído Speckle

O "speckle" é um ruído que degrada a imagem de radar. O retorno do sinal para a antena poderá apresentar grandes flutuações. Para alvos muito próximos, a onda eletromagnética refletida por eles é coerente, ou seja, mesma amplitude, fase ou polarização. Devido a isso, as ondas refletidas por esses alvos sofrem interferências, gerando uma imagem que, em alguns pontos não foi registrado sinal de retorno, e, em outros, o sinal recebido foi muito maior que o sinal médio de um dos alvos, por esse motivo, as imagens de radar possuem uma aparência granulada (TREVETT, 1986). O "speckle" pode dificultar a interpretação das imagens; por isso é necessário usar técnicas de redução de ruído. Mas, infelizmente a maioria dessas técnicas causa perda de resolução e de informação. As técnicas mais empregadas para obter uma imagem com maior relação sinal-ruído é o processamento

“multilook” (multi-visada) e o uso de alguns filtros espaciais.

4.10.6 Processamento Multilook (multi-visada)

O “speckle” da imagem pode ser reduzido ao obter sub-imagens estatisticamente independentes. Estas sub-imagens são obtidas ao dividir a abertura sintética do radar em “looks” do tempo de integração. Segundo SANTA’ANA (1995), o tempo de integração é a diferença entre os instantes de entrada e saída de um alvo P no campo de visada da antena e define também o comprimento sintético desta.

Esse processo provoca degradação na resolução azimutal e, quanto maior o número de looks, maior será essa degradação, porque reduz o tamanho sintético da antena. Cada “look” será processado separadamente, depois as imagens resultantes serão casadas e realiza-se uma operação de média nos pixels, obtendo-se uma imagem com resolução azimutal menor, porém com menor nível de ruído.

4.10.7 Filtragem Espacial

Segundo SANTA’ANA (1995) a filtragem espacial é uma técnica de realce aplicada pixel a pixel. Mas, apesar de ser uma transformação pixel a pixel ela não vai depender apenas do nível de cinza de um pixel, mas sim dos níveis de cinza dos pixels vizinhos.

Os filtros adaptativos são particularmente úteis no processo de remoção do ruído speckle porque utilizam o desvio padrão dos pixels de uma região para calcular o novo valor de cada pixel, ou seja, o valor original do pixel é substituído por um valor calculado que satisfaz o critério de desvio padrão. Essa característica faz com que os filtros adaptativos, diferentemente dos típicos filtros passa-baixa ou de suavização, preservem as bordas da imagem e os detalhes finos. Exemplo de filtros adaptativos:

- Filtro de Frost (Frost, 1982): é um filtro convolucional linear derivado da minimização do erro médio quadrático sobre o modelo multiplicativo do ruído. Neste filtro incorpora-se a dependência

estatística do sinal original, uma vez que se supõe uma função de correlação espacial exponencial entre pixels vizinhos. Aconselha-se o uso desse filtro quando se deseja ter uma boa relação de sinal-ruído com mínima perda de resolução.

- Filtro de Lee (Lee, 1981) e Kuan/Nathan (Kuan *et al.*, 1987), baseiam-se no modelo multiplicativo do ruído e são denominados Local Linear Minimum Mean Square Error (Menor erro quadrático local linear médio). São denominados filtros locais, porque a estimativa do sinal a priori (desconhecida) é baseada na estatística local do pixel a ser filtrado. Linear porque realiza uma linearização por expansão em série de Taylor da multiplicação do sinal e ruído em torno da média, utilizando apenas os termos lineares. O resultado da linearização transforma o modelo multiplicativo do ruído em aditivo, ou seja, o ruído e o sinal tornam-se independentes, e minimum mean square error, porque minimiza o erro médio quadrático utilizando o filtro de Wiener. O Filtro de Lee é um filtro adaptativo e geral. A diferença entre os filtros de Lee e Kuan/Nathan é que no filtro de Kuan/Nathan não se realiza nenhuma aproximação (SANTA'NA, 1995).

4.10.8 Utilização de Dados de Radar em Áreas Tropicais

O monitoramento de regiões tropicais, a exemplo da Amazônia, por sensores remotos sensíveis, apenas, à região do visível do espectro eletromagnético, fica comprometido, pois esses sensores estão sujeitos à interferência de nuvens e brumas que são intensas nessa região, limitando-se ao período seco. A utilização dos radares RADARSAT, JERS, ERS permitiram o estudo de processos dinâmicos em áreas tropicais como, por exemplo, a análise da variação espacial de plantas aquáticas em reservatório (NOERNBERG *et al.*, 1999).

O RADARSAT é um satélite canadense equipado com SAR (Radar de Abertura Sintética) e utiliza a banda C com 5,6 cm de comprimento de onda e polarização HH. Segundo MELO & POSSADA (1999) as imagens RADARSAT foram

de grande utilidade para o levantamento de dados em zonas úmidas tropicais na Colômbia, pois as condições climáticas (alta nebulosidade e precipitação) limitavam o uso dos sistemas ópticos de imageamento.

SILVA & ABDON (1999) também utilizaram imagens deste satélite canadense para identificar áreas inundadas e diferenciar tipos de vegetação no Pantanal. A imagem Radarsat foi excelente para delimitar áreas inundadas em cursos d'água, mas não permitiu discriminar água sob vegetação arbórea e arbustiva densas. Segundo COSTA *et al.* (1998) os comprimentos de onda curtos da banda C são retro-espalhados pelo dossel antes de atingirem a superfície da água, não dando origem ao efeito de "double-bounce", responsável pela elevada intensidade do sinal registrado em áreas de florestas inundadas.

Uma outra aplicação importante das imagens de radar é na identificação e monitoramento de áreas de risco de inundação. GIRAUT *et al.* (1999) e BUSTAMANTE & AVEDAÑO (1999) usaram imagens Radarsat para confeccionar um mapa de inundação que facilitaria a ação das autoridades na tomada de decisão, minimizando os impactos que uma grande enchente causaria.

COSTA *et al.* (1998) combinaram a banda L (JERS) e a banda C (RADARSAT) para classificar os diferentes habitats da planície de inundação do Rio Amazonas. A banda C foi mais sensível às plantas aquáticas e água, enquanto a banda L permitiu maior discriminação entre floresta inundada e plantas aquáticas. A classificação realizada com a combinação entre as bandas L e C melhorou em 10% quando comparada à classificação feita apenas com a banda C. Mesmo aumentando a separabilidade entre classes, a combinação das bandas L e C não permitiu a discriminação entre floresta inundada e plantas aquáticas e floresta de pasto.

4.11 Processamento de Imagens Digitais

Segundo MASCARENHAS & VELASCO (1989) entende-se por processamento digital de imagens a análise e a manipulação destas, via computador com o objetivo de facilitar a identificação e a extração das informações.

4.11.1 Correção Geométrica e Registro

As imagens de sensoriamento remoto precisam ser corrigidas segundo algum sistema de coordenadas para terem precisão cartográfica. A transformação de uma imagem, para que esta obtenha propriedades de escala e projeção é chamada de correção geométrica (CRÓSTA, 1992).

Segundo RICHARDS (1986) as distorções geométricas das imagens podem estar relacionadas a fatores como rotação da Terra durante o imageamento, curvatura da Terra; ao grande campo de visada de alguns sensores; variações na altitude, velocidade e atitude da plataforma.

“Para que duas imagens sejam perfeitamente coincidentes no espaço é necessário que sofram um tipo de transformação espacial conhecido por *registro*”. O registro se faz necessário para realizar uma análise multitemporal, sobrepondo imagens de datas diferentes, juntar imagens adjacentes para a montagem de um mosaico, sobrepor imagens de sensores diferentes (CRÓSTA, 1992).

4.11.2 Modelo Linear de Mistura Espectral

A radiância registrada por um satélite é a soma das radiâncias de vários materiais que estão dentro do campo de visada do sensor. Esta radiação detectada é a resultante da mistura de muitos materiais diferentes mais a contribuição atmosférica (SHIMABUKURO & SMITH, 1991). É desejável, entretanto, que se possa conhecer a proporção desses materiais em um pixel. Para isso, podem ser utilizados modelos que permitam a decomposição do pixel em seus componentes puros. O modelo linear de mistura espectral é uma ferramenta, para o processamento digital de imagens, que permite separar as contribuições espectrais de cada objeto dentro de um pixel, a partir de um conjunto de componentes puros da imagem (PEREIRA *et al.*, 1998a).

A fórmula do modelo linear de mistura pode ser escrita como:

$$r_i = \sum_{j=1}^n (a_{ij} x_j) + e_i \quad (9)$$

Onde:

r_i : observação na banda i

x_j : proporção da componente j

a_{ij} : assinatura espectral para a componente j na banda i

e_i : erro na banda i

n : nº de componentes

Com a seguinte restrição:

$$\sum x_j = 1 \quad (10)$$

$$0 \leq x_j \leq 1$$

A partir da aplicação do algoritmo de mistura são geradas tantas imagens quanto forem as componentes puras identificadas pelo modelo. No caso específico do modelo desenvolvido por SHIMABUKURO & SMITH (1991) são consideradas componentes puras de um pixel de imagem TM – Landsat: a vegetação, a sombra e o solo, sendo possível, portanto, decompor cada pixel de uma imagem nas proporções de sombra, vegetação e solo que o compõem. Essas imagens são conhecidas por imagens-fração.

Resultados de diversas pesquisas demonstraram que a imagem fração sombra é excelente para separar áreas de floresta e áreas desflorestadas, devido à diferença da quantidade de sombra presente no dossel. As áreas de floresta apresentavam maior proporção desta componente que as áreas desflorestadas.

MOREIRA *et al.* (1998) testaram o modelo de mistura espectral para identificar e mapear áreas de soja e milho. Obtiveram resultados melhores na classificação supervisionada, empregando o modelo linear de mistura, comparados aos resultados da mesma classificação, a partir de dados originais do Landsat - TM.

YI *et al.* (1998) também utilizaram imagens – fração sombra, vegetação e solo do sensor TM – Landsat para mapear uso do solo. Observaram que a imagem fração da componente sombra distingue muito bem entre áreas ocupadas por culturas agrícolas de áreas de floresta e cerrado. Enquanto as imagens fração das componentes solo e sombra fornecem informações significativas para diferenciar culturas agrícolas de pastagem natural.

4.11.3 Segmentação de Imagens

A segmentação é o processo em que uma imagem é subdividida em partes constituintes ou regiões, tendo como base propriedades dos pixels, como nível de cinza e textura (HUSSAIN, 1991). Esta técnica é uma das mais importantes para o processamento digital de imagens, porque é nesta etapa que objetos ou outras entidades de interesse são extraídas para um subsequente processamento.

Segundo MASCARENHAS & VELASCO (1989) as técnicas de segmentação podem ser classificadas em três métodos: detecção de bordas, detecção de regiões e limiarização.

Neste trabalho o método usado foi o de detecção de regiões e possui como principais vantagens: a compressão dos dados, pois em uma imagem há menor quantidade de regiões do que de pixels; ocorre a conexão e a diferenciação das regiões. As desvantagens do método são: a uniformidade das imagens é feita por suposição; uma região poderia ser erroneamente segmentada, além disso, pode haver propriedades da superfície que produzam regiões espectralmente heterogêneas (HUSSAIN, 1991).

O algoritmo de segmentação por crescimento de região consiste em agrupar pixels ou sub-regiões em grandes regiões. A agregação é o método mais simples que inicia com um conjunto de pontos, designados "sementes" e destes pontos crescem regiões através da incorporação a cada "semente" dos pixels vizinhos, possuindo propriedades similares como nível de cinza, textura e cor (GONZALEZ & WINTZ, 1987).

Para realizar uma segmentação é necessário que o usuário determine o limiar de similaridade e o limiar de área. O primeiro é o limiar mínimo, ou seja, "a diferença mínima entre o valor de um pixel e o valor médio da região contígua a ele para que este pixel possa ser agrupado a essa região. Se a diferença entre o valor do pixel e a média da região vizinha for maior que o valor de similaridade definida pelo usuário, o pixel não irá pertencer àquela região. O segundo limiar significa o menor valor de área (em pixel) para que uma região seja separada de outra (BARBOSA *et al.*, 2000)".

4.11.4 Classificação de Imagens

A classificação automática de imagens de sensoriamento remoto tem como objetivo associar para cada pixel da imagem um significado real (vegetação, solo, água, etc.). Quando essa operação é efetuada para todos os pixels de uma determinada área, o resultado é um mapa temático com a distribuição geográfica de temas (vegetação, solo, área urbana, etc.) (CRÓSTA, 1992).

Segundo RICHARDS (1986) a classificação supervisionada é o procedimento mais usado para realizar análises quantitativas de dados de sensoriamento remoto. Essa classificação envolve os seguintes passos: definir as classes nas quais a imagem será segmentada; escolher os pixels mais representativos para cada classe (esses pixels serão as amostras de treinamento); usar as amostras de treinamento para estimar os parâmetros do algoritmo de classificação; usar o classificador treinado para associar todos os pixels da imagem a uma das classes definidas; produzir mapas temáticos que sintetizam os resultados da classificação.

ALVES *et al.* (1998) testaram cinco algoritmos de classificação (fatiamento, classificação não supervisionada de regiões com o algoritmo ISOSEG, classificação supervisionada de regiões com o algoritmo Bhattacharya, classificação de uma imagem composta de bandas de vegetação, solo e sombra com o algoritmo de máxima verossimilhança e classificação das bandas TM3, TM4 e TM5 também utilizando o algoritmo de máxima verossimilhança com o objetivo de discriminar as classes floresta e área desflorestada na região central do estado de Rondônia. Todos os classificadores obtiveram coeficiente $K > 0,8$, mas a classificação com a imagem composta das bandas de vegetação, solo e sombra apresentou o maior acerto com menor erro para distinguir entre áreas de floresta e áreas desflorestadas.

4.12 O Desflorestamento na Amazônia

A Bacia Amazônica ocupa uma área de aproximadamente 6.600.000 Km² pertencente ao Brasil, Colômbia, Equador, Peru, Bolívia e Venezuela. Por ser tão imensa dá a impressão de que a floresta é infinita e talvez por isso, por muito tempo não se deu importância ao desmatamento e a ocupação dessa área. Segundo

JORDAN (1986), a história mostra que essa aparente infinidade de floresta é apenas uma ilusão, pois grandes coberturas florestais como as que cobriam Wisconsin e Michigan, nos Estados Unidos, praticamente desapareceram e que a floresta Amazônica pode levar menos tempo a se extinguir que estas florestas norte americanas.

Apesar do desmatamento da Amazônia estar ocorrendo em todos os países da bacia, no Brasil é mais intenso, sendo este o país que fornece dados mais precisos sobre alterações da cobertura da terra nessa região. As estimativas anuais de desmatamento são geradas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, utilizando imagens de satélite as quais permitiram verificar que no período de 10 anos, entre 1988 e 1998, a área desmatada foi de 174.000 Km² com média de desmatamento na Amazônia brasileira de 15.000 Km² por ano, sendo que no período de 1994-1995 este número saltou para 29.000 Km². As principais áreas desmatadas coincidiram com a fronteira agrícola que avança em direção ao norte dos estados do Pará, Tocantins, Mato Grosso, Rondônia e Acre, formando o chamado "arco do desmatamento". Os estados que mais desmataram foram Mato Grosso (por volta de 60.000 Km²), seguido do Pará (57.000 Km²) e Rondônia (23.000 Km²) (WOOD, 2002).

Além da perda de áreas de floresta pelo desmatamento para abertura de estradas, construção de hidrelétricas, agricultura e pastagens há o problema de incêndios. As florestas densas são naturalmente mais resistentes ao fogo, pois possuem vegetação de grande porte que retém maior umidade, enquanto áreas alteradas são menos resistentes. Segundo COCHRANE *et al.* (2002), as imagens obtidas por satélites mostram que a maior incidência de fogo na Amazônia se concentra nas proximidades das estradas e de áreas também próximas às habitações humanas. Constatou-se que na região de Paragominas 50% da floresta já havia sido queimada ao menos uma vez e 20%, mais de uma. Quando se queima pela primeira vez a perda de biomassa viva é de aproximadamente 10%, mas queimadas recorrentes podem aumentar esse número para mais de 80%.

Apesar de os dados serem preocupantes e das experiências mal sucedidas, os governantes continuaram a insistir na implementação de grandes projetos que irão beneficiar apenas a agro-indústria e grandes produtores, como o caso do

projeto Avança Brasil. NEPSTAD *et al.* (2001) por meio de imagens de satélite, estimou que o desmatamento (conversão de floresta para culturas, pastagens e floresta secundária) dentro de um raio de 50 Km das estradas pavimentadas é de 29-58% comparada a 0-9% para estradas não pavimentadas. Caso o projeto Avança Brasil que prevê a pavimentação de 6.245 Km de estradas seja implementado e mantenha o mesmo padrão de desmatamento, serão desmatados 120.000-270.000 Km² de floresta ao longo destas estradas pavimentadas no período de duas a três décadas.

Segundo LAURANCE *et al.* (2001) o desmatamento tem várias causas. Primeiro é o aumento de populações não indígenas desde 1960, pois de 2 a 20 milhões de pessoas migraram para a região; segundo é o crescimento da indústria madeireira e mineradora, além do aumento da malha viária que permite maior acesso de fazendeiros e colonizadores; terceiro, o avanço do desmatamento para o interior da bacia, o qual antes se concentrava na parte leste e sudeste, mas agora as estradas, projetos madeireiros e de colonização, permitem a penetração no interior da bacia amazônica e finalmente, os incêndios provocados pela própria população no manejo das pastagens e de áreas para cultivo.

4.13 A Migração e a Malária na Amazônia Brasileira

A partir de 1968, incentivos fiscais subsidiaram a implantação de grandes empresas nacionais e multinacionais na Amazônia. O Estado, para atender aos interesses dos grupos sociais envolvidos, desenvolveu programas de distribuição de terras. O maior objetivo era atrair migrantes para ocupar a área rural da Amazônia para servir de mão-de-obra barata às multinacionais.

A distribuição de terra pelo governo não foi realizada de forma eqüitativa. Enquanto os fazendeiros, geralmente pecuaristas, possuíam propriedades de 1000 alqueires de terra, os pequenos produtores ocupavam pequenos lotes ao longo das rodovias. Esses pequenos produtores eram procedentes, principalmente, da região Nordeste e os grandes fazendeiros, da região Sul e Sudeste do país (BECKER, 1990).

Ao mesmo tempo em que esses contingentes de migrantes eram incentivados a povoar a Amazônia, o governo não dava infra-estrutura suficiente para recebê-los e com isso surgiram grandes problemas, entre eles o conflito pela posse de terra; o aumento desordenado dos centros urbanos e o aumento de doenças como a malária.

O deslocamento interno de pessoas entre regiões da Amazônia e entre outras regiões do país causou a migração da malária para essas áreas. No Pará, por exemplo, foi constatado que na rodovia Cuiabá-Santarém muitos indivíduos infectados eram procedentes de garimpos do norte do Mato Grosso. O censo de 1980 mostrou que o Pará recebeu mais de 48% dos migrantes que foram para a região Norte, na década de 70, equivalente a 440 mil pessoas. A grande maioria que migrou para o Pará, era procedente do Nordeste, principalmente do estado do Maranhão. Estes foram atraídos pelos garimpos de Itaituba, pela construção da barragem de Tucuruí e pelos projetos agropecuários. Após o término da construção da hidrelétrica de Tucuruí, muitos trabalhadores retornaram para seus estados de origem, o que causou um aumento dos casos de malária no estado do Piauí e principalmente no estado do Maranhão (MARQUES & PINHEIRO, 1982).

Segundo esses mesmos autores, os movimentos migratórios são os principais responsáveis pela dificuldade de controlar a malária na Amazônia. O grande número de casos e a grande dispersão regional não permitiam que os doentes fossem tratados em tempo hábil. Além disso, a maioria desses migrantes concentrava-se em áreas de risco e em habitações precárias, permanecendo expostos aos vetores da doença.

Como a malária é uma doença complexa que está relacionada com a interação entre o parasita, o vetor, os hospedeiros humanos e o meio ambiente é imprescindível o estudo em conjunto de todos esses fatores para se tentar controlá-la. A combinação de fatores humanos com informações ambientais relevantes à biologia da doença pode permitir enxergar uma situação epidemiológica predominante, facilitando a ação dos serviços de saúde (THOMSON *et al.*, 1997).

4.14 Caracterização dos Proprietários de Terra na Amazônia Brasileira

Segundo McCracken *et al.* (2002) propriedades vizinhas possuem padrões de uso da terra completamente diferentes. Isso se deve a variações do capital inicial das famílias migrantes, de suas origens e de experiências com a agricultura e com a região.

Propriedades com maior disponibilidade de mão-de-obra, geralmente tornam-se envolvidas no cultivo de culturas perenes como árvores frutíferas, café, cacau e pimenta-do-reino. As propriedades mantidas com a mão-de-obra de pequenas famílias enfocam suas atividades na criação de gado. Recentes assentamentos na fronteira agrícola são compostos por um casal entre 20 e 30 anos e algumas crianças. Suas atividades agrícolas iniciais envolvem a derrubada de uma pequena área de floresta (três a cinco hectares) para culturas anuais como arroz, feijão e mandioca para consumo e para a venda em mercados e feiras. A substituição da floresta, por áreas de criação de gado e culturas perenes, é um processo lento, e envolve elevado capital inicial e gastos com mão-de-obra, contudo o retorno desse investimento pode demorar alguns anos. As culturas perenes não darão retorno às famílias num prazo de três a cinco anos, porém o gado pode ser rapidamente vendido e, dependendo das necessidades dos proprietários, pode ser uma importante forma de poupança.

Apesar do capital e da mão-de-obra serem semelhantes no processo de implementação das pastagens e das culturas perenes, as necessidades são muito diferentes. As culturas perenes requerem manutenção contínua o que implica na contratação de mão-de-obra permanente, via de regra alojada em casas de alvenaria além do trabalho temporário de entre duas a cinco famílias durante a época da colheita, as quais geralmente se alojam em habitações precárias McCracken *et al.* (2002). A criação de gado em pastos já estabelecidos envolve um ou dois homens adultos e alguns trabalhadores temporários para realizar periodicamente a manutenção do pasto. Os grandes fazendeiros podem contratar mão-de-obra como trabalhadores permanentes para realizarem a limpeza dos pastos, sendo esta uma difícil tarefa devido à regeneração da vegetação. Foi verificado durante o trabalho de campo que esses trabalhadores são as principais

vítimas da malária porque entram em contato direto com o vetor. Os locais de desmatamento recente, favorecem o aumento de populações anofélicas, principalmente de *An. darlingi*, devido ao aumento da luminosidade, temperatura, entre outros fatores. Outro problema é a precariedade das moradias, que são construídas nas partes mais baixas do terreno, próximas aos igarapés.

4.15 Impactos do Desmatamento da Amazônia no Clima Regional

O clima da Amazônia está interligado com a floresta que produz vapor d'água para a atmosfera, absorve energia solar que aquece parcelas da umidade do ar que formará nuvens (NOBRE *et al.*, 1991). Quando ocorre o desmatamento, geralmente em grandes áreas para a formação das pastagens ou para implantação de culturas, reduz-se a quantidade de água que evapora, reduzindo também as chuvas, o que aumenta a probabilidade da ocorrência de incêndios. A fumaça produzida pelos incêndios irá saturar a atmosfera, mas a água das nuvens não será pesada o suficiente para cair na terra. Conseqüentemente, existe uma retroalimentação positiva entre desmatamento, fogo e fumaça, causando a redução das chuvas e da umidade retida na vegetação e no solo. (NEPSTAD *et al.*, 2001).

O El Niño, aquecimento da superfície das águas do Sul do Oceano Pacífico, provocam grandes secas na Amazônia e sudeste da Ásia e está se tornando mais freqüente e mais intenso nos recentes anos e que pode estar relacionado com o aquecimento da atmosfera por gases de efeito estufa (NEPSTAD *et al.*, 2001), como o CO₂, liberado na queima da vegetação.

NOBRE (1996) cita alguns experimentos realizados por pesquisadores na tentativa de simular as conseqüências do desmatamento da Amazônia no clima da região. Utilizando modelos acoplados biosfera-atmosfera, ao simular a substituição da floresta por pastagem degradada em células que variavam de 800 Km x 500 Km a 300 Km x 200 Km, ambos experimentos detectaram aumento das temperaturas entre 1 a 3°C na superfície e redução da evapotranspiração. A evapotranspiração da floresta é umas das mais importantes fontes de vapor de água, cuja redução drástica acarretaria na diminuição da precipitação. Nesses experimentos foi constatado que os impactos climáticos são maiores no período da seca.

Esses resultados são preocupantes, porque o aumento das temperaturas pode significar o aumento de várias endemias como a malária. Pode ser que a redução da umidade relativa seja um fator que iniba a proliferação dos vetores, mas se existe a disponibilidade de água (margens de rios, represas) a elevação da temperatura pode proporcionar uma explosão de mosquitos vetores de doenças. A malária por ser endêmica na Amazônia e por seus vetores possuírem ecologias muito diversificadas e com grande capacidade de adaptação ao meio, essas alterações podem resultar em graves problemas para a saúde pública.

As simulações citadas anteriormente indicam que há um grande risco de ocorrer aumento das temperaturas regionais com a substituição das florestas tropicais por áreas degradadas e que podem vir a contribuir com o aquecimento global. Caso isso aconteça, os insetos podem migrar para regiões temperadas e doenças tipicamente de países tropicais, como a malária e febre amarela, podem se espalhar para países dessas regiões que passaram a ter temperaturas mais elevadas.

5 MATERIAIS e MÉTODOS

5.1 Área de Influência da UHE de Tucuruí

O reservatório de Tucuruí foi formado pela barragem do Rio Tocantins no Estado do Pará. A UHE Tucuruí se encontra a 7 Km da cidade de mesmo nome e a 300 Km ao sul da capital do Estado (Belém), entre 3°43' e 5°15' S e 49°12' e 50°00' W (Figura 21). O reservatório possui uma área superficial de aproximadamente 2.800 Km² na cota de 72 m e o perímetro externo total é de aproximadamente 3.700 Km. O fechamento final do rio teve início em junho de 1984 e sua conclusão se deu em 06 de setembro do mesmo ano, quando iniciou o enchimento do reservatório.

No início das obras da construção da hidrelétrica (1979) havia 1.750 famílias (9.500 pessoas) cadastradas para serem relocadas pela ELETRONORTE, em 1982 esse número saltou para 3.152 famílias e em 1984, ano em que o reservatório foi formado, eram 3.350 famílias (17.319 pessoas), na área do reservatório (ELETRONORTE, 1986).

A bacia de drenagem Araguaia-Tocantins possui uma área total de 767.000 Km², sendo que 382.000 Km² pertencem à bacia do rio Araguaia que é o principal afluente do rio Tocantins. O rio Tocantins nasce no Planalto Central no Estado de Goiás a uma altitude de 400 m e flui cerca de 2.100 Km em direção ao norte, desaguando no estuário do rio Amazonas, próximo à Belém (BARROW, 1987).

A UHE de Tucuruí foi dimensionada para gerar 4000 MW de potência (12 geradores de 330 MW cada e dois de 20 MW) na primeira fase, sendo que na fase II sua capacidade aumentará para 8000 MW. Mas, esta energia gerada na segunda fase seria apenas na época de maior escoamento do rio, pois em grande parte do ano seria limitada pela insuficiência de água no rio Tocantins

(FEARNSIDE,1999). A Figura 22 mostra a variação média mensal da vazão do reservatório no período de 1995 a 1997 e a Figura 23 representa graficamente a variação mensal da cota do reservatório no ano de 1996.

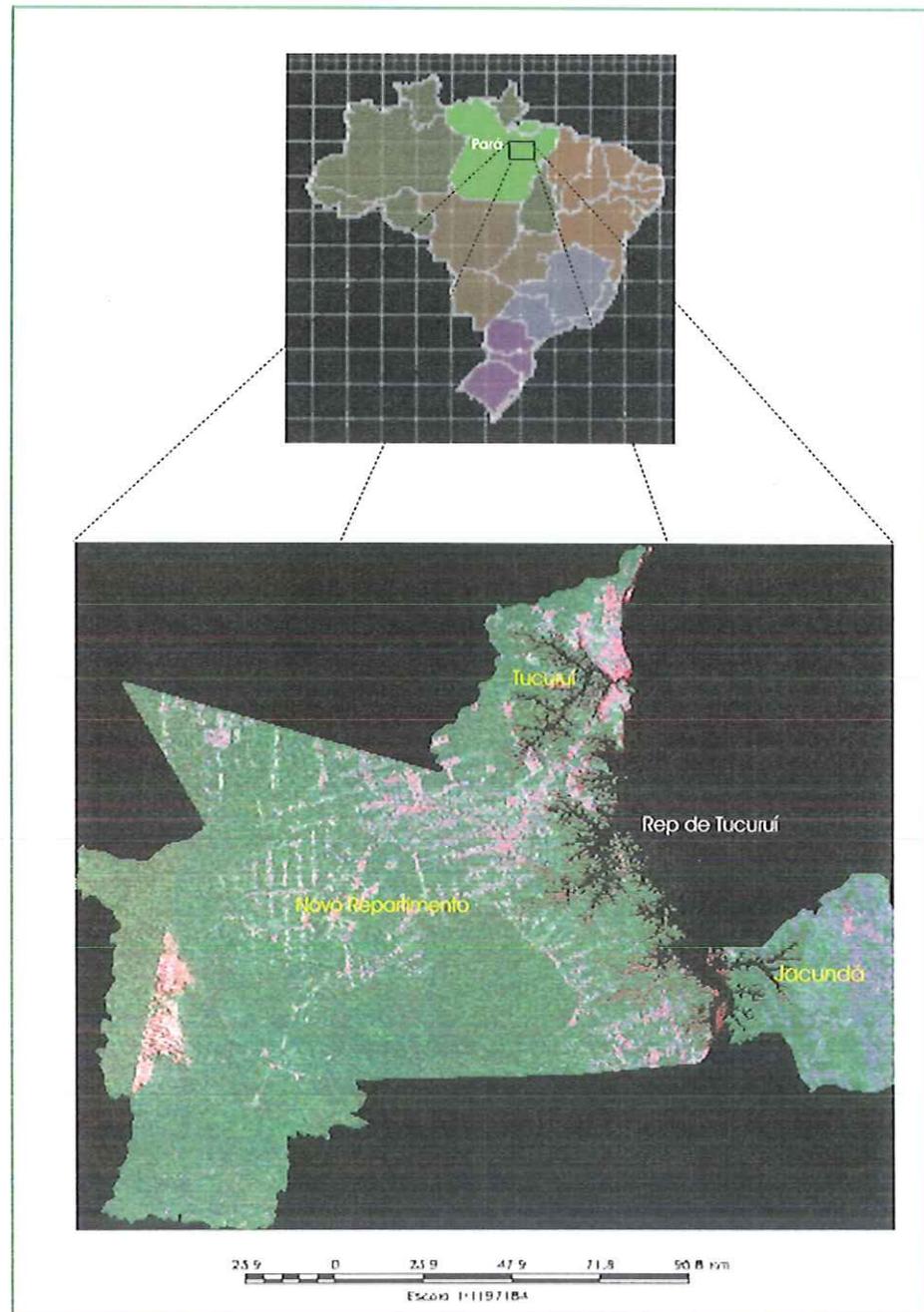


Figura 21 – Localização do reservatório de Tucuruí e dos municípios de Tucuruí, Novo Repartimento e Jacundá no Estado do Pará.

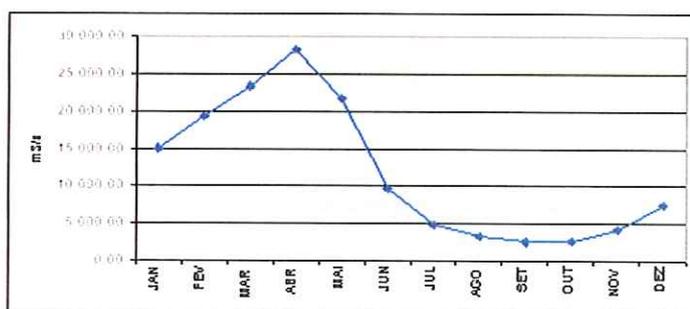


Figura 22 - Variação média mensal da vazão do reservatório de Tucuruí observada no período de 1995 a 1997.

Fonte: ELETRONORTE (1999).

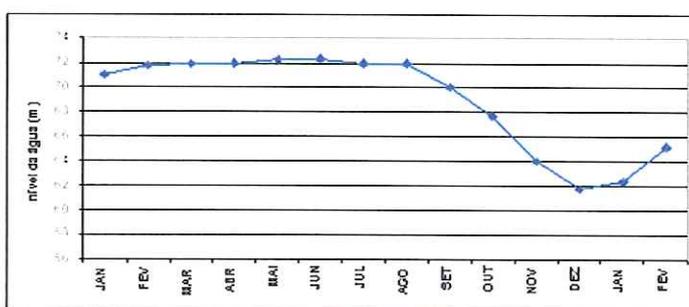


Figura 23 - Variação média mensal da cota do reservatório observada no ano de 1996.

Fonte: NOVO et al. (1998)

Segundo os mapas fitoecológico, geológico e geomorfológico do RADAMBRASIL (1974), a área da barragem de Tucuruí está localizada na sub-região da superfície arrasada da Serra dos Carajás, a qual pertence ao ecossistema sub-montano. Geologicamente, faz parte do grupo Tocantins, onde afloram terrenos pré-cambrianos médio a superior. Geomorfologicamente predominam superfícies pediplanadas em rochas pré-cambrianas.

O reservatório está inserido em uma área de floresta tropical. O clima, segundo o método de classificação climática de Köpen, é tropical úmido. A pluviosidade é elevada em toda a região com oscilações durante o ano; a maior precipitação verifica-se entre os meses de janeiro a maio e o período seco é de agosto a outubro.

A temperatura média anual situa-se em torno de 26° C. A época mais quente do ano ocorre de setembro a novembro e as temperaturas mais baixas ocorrem nos meses de junho e julho (CASTRO, 1993).

A formação do lago de Tucuruí atingiu nove municípios, dentre os quais serão estudados, neste trabalho, os municípios de Tucuruí, Jacundá e Novo

Repartimento, inseridos no sudeste paraense. Estes municípios foram escolhidos por possuírem grande extensão do território em contato com o reservatório e devido à distribuição desses municípios em relação ao reservatório (ao norte, Tucuruí; a leste na margem esquerda, Novo Repartimento e a sudoeste na margem direita, Jacundá).

O município de Tucuruí possui uma população total de 58.679 habitantes, sendo de maior área e densidade populacional (28 hab./km²), em relação aos municípios citados. Suas principais atividades econômicas são: agricultura, pecuária, pesca, atividades relacionadas à hidrelétrica, além do turismo.

Jacundá está situado na margem direita do reservatório de Tucuruí a uma altitude de 84 m, com população total de aproximadamente 39.420 hab. e densidade demográfica de 19,57 hab/ km².

Novo Repartimento encontra-se localizado na margem esquerda do reservatório; devido às características da drenagem e pelo baixo gradiente topográfico, está numa região bastante afetada pela proliferação de macrófitas (LIMA, 1997). Novo Repartimento possui uma população total de 30.059 habitantes e densidade demográfica de 1,94 hab / km².

5.2 Abordagem Metodológica

Neste trabalho a abordagem proposta por ROBERTS & RODRIGUES (s.d.) foi adaptada. Os passos preconizados pelos autores para a aplicação de dados de sensoriamento remoto com o objetivo de prever a distribuição espacial de vetores de doenças são:

- 1- Definição dos determinantes ambientais que podem indicar a presença do vetor, como por exemplo: as ilhas formadas ao longo do lago; os igarapés; os meandros que se formaram às margens do reservatório, formando pequenos lagos e lagoas que oscilam conforme a época do ano; as macrófitas que ocupam esses locais e são excelentes sítios de reprodução para os anofelíneos (TADEI *et al.*, 1988c);

- 2- Definição da escala adequada (em função do tipo de indicador ou determinante) para detectar os fatores ambientais pelos sensores remotos;

- 3- Associação de dados de campo com os dados de sensores remotos;

4- Previsão de ocorrência de casos de malária com base nos resultados da etapa 3;

5- Verificação da precisão dos resultados (exatidão das previsões de localização dos vetores) em campo.

5.3 Materiais e Equipamentos

Para a realização da pesquisa, foram utilizados dados extraídos da bibliografia consultada, uma série de imagens multiespectrais e multitemporais de sensoriamento remoto, em formato digital, especificadas na Tabela 4; folhas topográficas do IBGE na escala de 1:100.000, relacionadas na Tabela 5; fotografias aéreas coloridas na escala de 1:10.000, cobrindo um dos braços do reservatório; dados de incidência de malária da região cedida pela Fundação Nacional de Saúde do Estado do Pará. Os dados de precipitação foram cedidos pela (Agência Nacional de Águas e ELETRONORTE).

O software SPRING 3.6 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) permitiu integrar os dados de sensoriamento remoto com os dados de malária. As imagens de radar foram processadas no software SPRING e ENVI 3.5.

Tabela 4 - Relação das imagens de sensoriamento remoto que foram utilizadas:

Data	Órbita/Ponto	Bandas	Satélite/Sensor
abr/97		C	RADARSAT/SAR
mai/96		C	RADARSAT/SAR
ago/96		C	RADARSAT/SAR
dez/96		C	RADARSAT/SAR
10/6/1996 26/7/2001	223/63	3, 4 e 5	LANDSAT5/TM
10/6/1996 26/7/2001	223/64	3, 4 e 5	LANDSAT5/TM
28/7/1999 2/8/2001	224/62	3, 4 e 5	LANDSAT5/TM
3/7/1996 2/8/2001	224/63	3, 4 e 5	LANDSAT5/TM
28/7/1999 2/8/2001	224/64	3, 4 e 5	LANDSAT5/TM
26/7/1996 9/8/2001	225/63	3, 4 e 5	LANDSAT5/TM

Tabela 5 - Relação do material cartográfico na escala de 1:100.000 que recobre a área de estudo:

Mapa-Índice	Folha
660	Pacajá
661	Rio Aratau
662	Tucuruí
727	Faz. Cachimbinho
728	Maracajá
729	Repartimento
797	Faz. Porto Alegre
798	Faz. Melindrosa
799	Rio Bacuri
800	Nova Ipixuna
801	Faz. Gaúcha
870	Faz. Bernardino
871	Faz. Santa Cruz
872	Rio Cajazeiras
873	Marabá

Na primeira etapa de processamento das imagens TM-Landsat, foi realizado um mapeamento de uso da terra para todos os municípios de fronteira com o reservatório, totalizando uma área de 61.605 Km². Esta área, entretanto não continha o território inteiro de todos os municípios, o que dificultaria o estudo visto que os dados de malária da Fundação Nacional de Saúde são agregados por município. A ampliação da área de estudo para incluir todos os municípios limítrofes ao reservatório foi descartada pelas seguintes razões técnicas: os dados da Fundação Nacional de Saúde não se encontravam georreferenciados, o que demandaria um esforço de trabalho de campo passível de comprometer o cronograma da pesquisa; muitos dos municípios foram objetos de desmembramento, o que provocaria uma alteração da base de comparação dos dados no tempo. Os municípios de Tucuuruí, Novo Repartimento e Jacundá foram escolhidos por serem limítrofes ao reservatório e por estarem distribuídos no seu entorno.

As imagens TM-Landsat de 1996 (223/64, 223/63 e 224/63) foram utilizadas para fazer a primeira data do mapeamento de uso da terra. Essas duas cenas englobam quase totalmente os municípios de Tucuuruí, Novo Repartimento e Jacundá. Foi utilizada esta data, porque coincidia com a disponibilidade de uma série de imagens sazonais do Radarsat e com dados de malária, por localidade, dos anos de 1996 e 2001. Também foram utilizados números de casos positivos de malária, agregados por município, para o período de 1962 até 2002 e dados de IPA, de 92 a 2001, por localidade. Foram utilizadas informações, cedidas pelo INCRA, de todos os assentamentos realizados na área de estudo desde a década de 80.

Após o primeiro trabalho de campo, foi verificado que havia pontos de incidência de malária que não constavam da listagem da FNS. Para incluí-los como novos pontos de incidência de malária, seria necessário fazer um novo mapeamento de uso da terra. Portanto, este mapeamento foi atualizado para 2001 e comparado ao primeiro para acompanhar a dinâmica de alteração do uso da terra nos anos de 1996 a 2001.

5.4 Procedimentos Metodológicos

5.4.1 Processamento Digital das Imagens Orbitais TM - Landsat5

A primeira etapa do trabalho foi a extração e transformação da base cartográfica (estradas e drenagem) de vinte folhas topográficas na escala de 1:100.000, para formato digital. As cartas foram obtidas no formato digital e importadas para o SPRING, registradas e só depois digitalizadas. O registro das imagens TM-Landsat em formato digital foi realizado de duas formas: imagem-base cartográfica e imagem-imagem. A imagem 224/63 foi registrada com a base cartográfica, enquanto que as outras imagens foram registradas entre si a partir da imagem 224/63 já registrada.

Outra importante etapa do trabalho foi a aplicação do modelo linear de mistura espectral nas bandas originais 3, 4 e 5 TM-Landsat para gerar as três componentes referentes à vegetação, ao solo e à sombra. O modelo linear de mistura utilizado para cada imagem foi obtido por meio de experimentos em áreas testes, representativas da imagem, para só assim ser aplicado na imagem inteira. Para realizar o modelo linear de mistura, foram capturados da imagem TM-Landsat composição colorida (R-3, G-4 e B-5) pixels puros de solo, sombra e vegetação. Na Figura 24, encontra-se esquematizado o comportamento das curvas espectrais do solo, da sombra (água) e da vegetação para os determinados comprimentos de onda.

O passo seguinte foi aplicar o algoritmo de segmentação de imagens (crescimento de regiões) para agrupar os "pixels" adjacentes e semelhantes para formar regiões homogêneas. Para cada imagem foram realizados vários testes, também em áreas representativas da imagem, alterando valores dos limiares de similaridade e de área até chegar a um resultado satisfatório. A combinação com melhor resultado foi 8 e 16, limiares de similaridade e de área respectivamente.

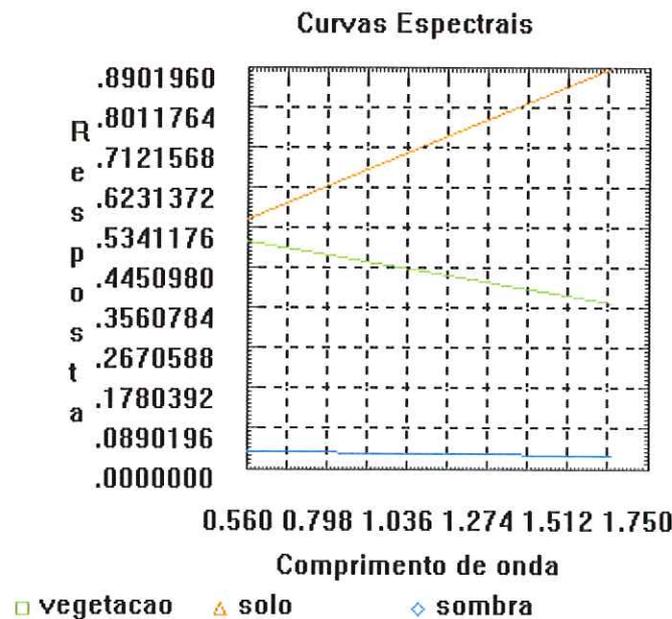


Figura 24 – Comportamento das curvas espectrais para pixels puros de solo, sombra (água) e vegetação.

Segundo VENTURIERI (1996), o uso de valores de similaridade impróprios para a região em estudo acarreta uma fragmentação excessiva, dificultando a identificação dos segmentos, se o valor for baixo. Se os valores forem altos, não haverá uma boa separabilidade das classes, ou seja, áreas espectralmente diferentes serão agrupadas em um mesmo segmento. Devido ao grande tempo computacional exigido por esta etapa, as imagens resultantes do modelo linear de mistura (fração solo, sombra e vegetação) e a imagem sintética RGB, foram reamostradas para a resolução de 60 m x 60 m. Esta medida reduz o tempo de processamento e não prejudica o resultado da classificação.

A etapa seguinte à segmentação foi a da classificação supervisionada das imagens segmentadas. Para realizar a classificação supervisionada são definidas amostras de aquisição e de teste para treinar o algoritmo classificador. Esta etapa é muito importante, pois se estas amostras forem ruins o resultado da classificação também será ruim. Segundo PEREIRA *et al.* (1998b) as primeiras definem os parâmetros estatísticos das classes e as amostras de teste servem para verificar o desempenho do classificador, antes de utilizá-los na classificação da imagem. A partir da classificação das amostras de teste, com base nos parâmetros gerados pelas amostras de aquisição, é gerada uma matriz de confusão para todas as classes já definidas anteriormente. Essa matriz de confusão indica ao usuário a

qualidade da classificação realizada. Para todas as imagens classificadas, a matriz de confusão indicou um acerto que variou de 96% a 98% entre as classes amostradas, ou seja, as amostras de teste foram de boa qualidade e as amostras de aquisição estão compatíveis com as de teste.

A identificação das classes deste trabalho foi baseada nas características das classes de uso da terra segundo CREPANI *et al.* (2002) e no comportamento espectral dos alvos, principalmente em relação à resposta de solo e sombra do modelo linear de mistura. As classes selecionadas foram:

1. Vegetação nativa não antropizada: foram inseridos nesta classe todos os tipos de formações florestais que não apresentassem indicadores de interferência antrópica ou outras formações vegetais naturais.
2. Regeneração: nesta classe foram consideradas as áreas com vegetação em regeneração, florestas secundárias ou formações florestais que já tenham sofrido algum tipo de antropização, mas que ainda não regeneraram por completo.
3. Corte Seletivo: São áreas de floresta que vêm sofrendo a interferência antrópica, através do corte somente das árvores que apresentam valor econômico.
4. Atividades Agrossilvopastoris: esta classe engloba áreas de solo exposto, que provavelmente seriam utilizadas para agricultura; áreas agrícolas e de pecuária.
5. Área Urbana e Edificada: nesta classe foram consideradas as manchas urbanas e obras de engenharia como a usina hidrelétrica.
6. Área Alagada com Vegetação: nesta classe foram incluídas as áreas alagadas com vegetação aquática.
7. Água: áreas ocupadas com água livre de vegetação, englobando os rios e lagos.
8. Banco de Areia: ilhas formadas por areia
9. Nuvem: áreas cobertas por nuvem e por sombra de nuvem, sem informação espectral dos alvos encobertos.

O resultado da classificação supervisionada foi comparado às imagens obtidas pelo modelo de mistura e pelas respostas espectrais dos alvos nas bandas

3R, 4G e 5B do sensor TM-Landsat5. A partir disso, foi realizada a edição matricial dos polígonos mal classificados por classificação visual. Nos trabalhos de campo, foram coletados alguns pontos em áreas onde havia dúvidas quanto à classificação.

Devido à grande dimensão e à dificuldade de acesso da região amazônica, é inviável verificar todas as áreas mapeadas, mas é possível fazer generalizações, amostrando áreas significativas de cada classe para obter mapas de verdade terrestre para se comparar à classificação digital. Por isso, é imprescindível conhecer as principais classes que ocorrem na área de estudo, seus padrões e como se comportam espectralmente.

5.4.2 Processamento Digital das Imagens de Radar

As imagens RADARSAT, previamente comprimidas de 16 para 8 bits (COSTA *et al.*, 1998) para permitir a manipulação no SPRING e otimizar espaço de armazenamento, foram registradas com as imagens TM, as mesmas já utilizadas para a obtenção do mapa temático de uso e ocupação da terra. Tanto as imagens de radar como as TM foram recortadas por meio de uma máscara vetorial cedida pela ANEEL. O uso dessa máscara permitiu que se retirasse toda a parte externa ao reservatório para evitar que ocorresse confusão entre a vegetação aquática e de terra firme (Figura 25). O algoritmo utilizado para o recorte da imagem encontra-se em anexo.

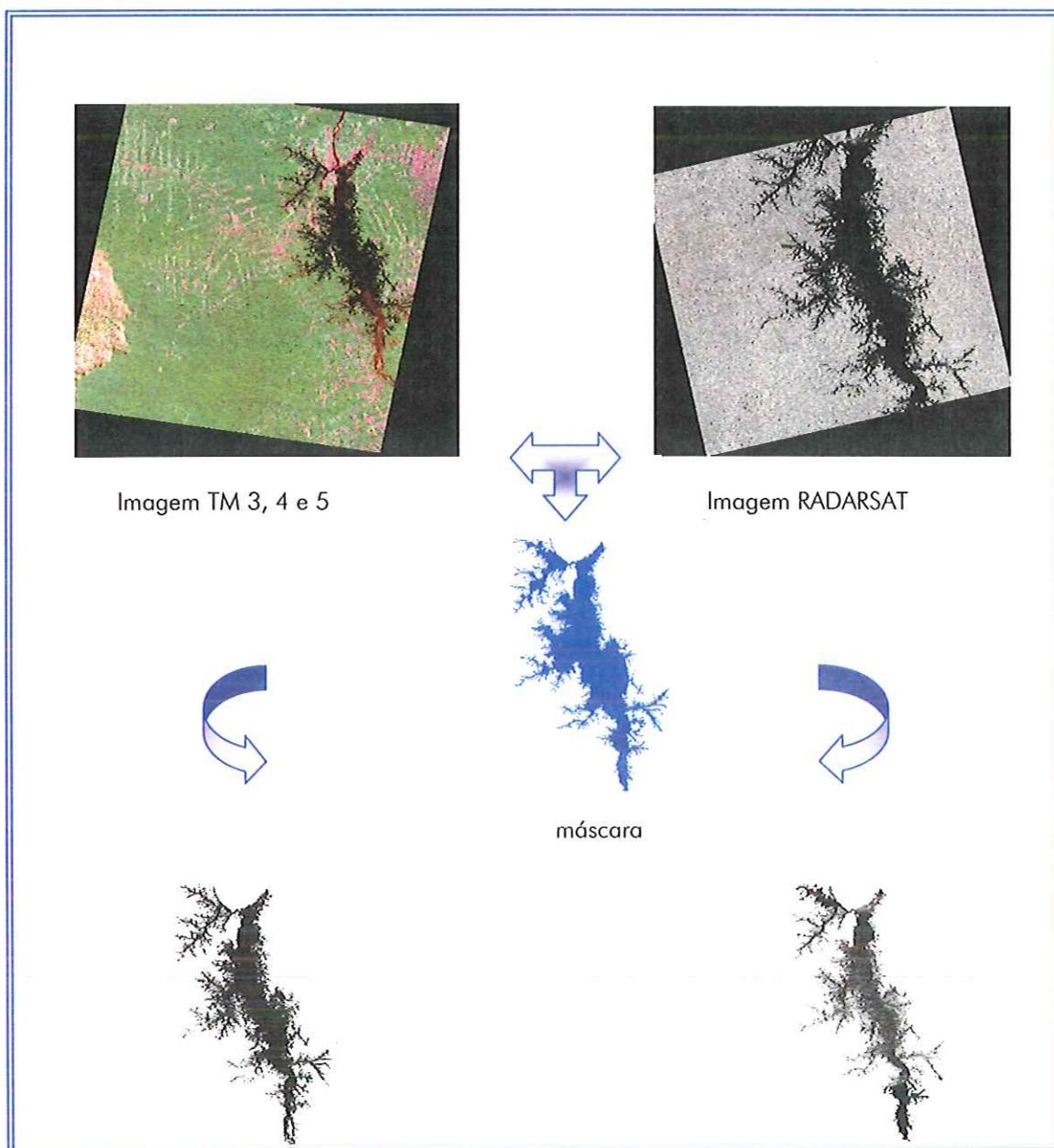


Figura 25 – Recorte do reservatório nas imagens TM e RADARSAT.

Após a aplicação da máscara, foram testados alguns filtros adaptativos disponíveis no software de processamento de imagem, ENVI 3.5. O uso desses filtros teve como objetivo reduzir o ruído "speckle", tentando manter uma boa relação de sinal-ruído com a mínima perda de resolução, preservando-se as bordas. Foram testados os seguintes filtros: Frost 3x3 e 5x5; Kuan 3x3 e 5x5; Lee 3x3 e 5x5. Na Figura 26, encontram-se os testes realizados com esses filtros. Observe nesta figura que o filtro Frost com matriz 3x3 foi o que produziu melhor resultado, pois preservaram-se as bordas e manteve-se a textura dos alvos. Segundo

TREVETT (1986) uma imagem de radar é principalmente uma representação da rugosidade dos alvos, por isso é de extrema importância preservá-la ao máximo. Quando se utilizou esse mesmo filtro, mas com janela 5x5, a textura dos alvos sofreu maior suavização e com isso maior perda de informação. As imagens filtradas no ENVI 3.5 foram salvas como (tiff) e importadas para o SPRING 3.6.

Com as imagens de radar filtradas, foi realizada uma composição colorida entre as imagens TM e de radar. Este procedimento foi necessário para permitir que os paliteiros, árvores secas dentro do reservatório, fossem mapeados de maneira mais coerente. Para o mês de dezembro utilizou apenas a imagem de radar para mapear as áreas de macrófitas, pois não foi possível obter uma imagem TM sem cobertura de nuvem.

A técnica de segmentação por crescimento de regiões foi aplicada na composição colorida utilizando os valores 05 e 25 para os limiares de similaridade e de área, respectivamente. Esse limiar de similaridade permitiu que a segmentação separasse os paliteiros, apesar de ter fragmentado muito outras classes, como macrófitas e água sem paliteiros. Mesmo assim, foi imprescindível o uso dessa ferramenta, pois a classificação realizada a partir de amostras de uma região é muito mais eficiente que aquela realizada a partir de amostras coletadas pixel a pixel.

A partir da imagem segmentada aplicou-se uma classificação supervisionada de regiões com o algoritmo de Battacharya. A medida da distância de Battacharya é usada neste classificador por regiões para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais. Ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes. As amostras escolhidas se basearam nas fotografias aéreas coloridas na escala de 1:10.000.

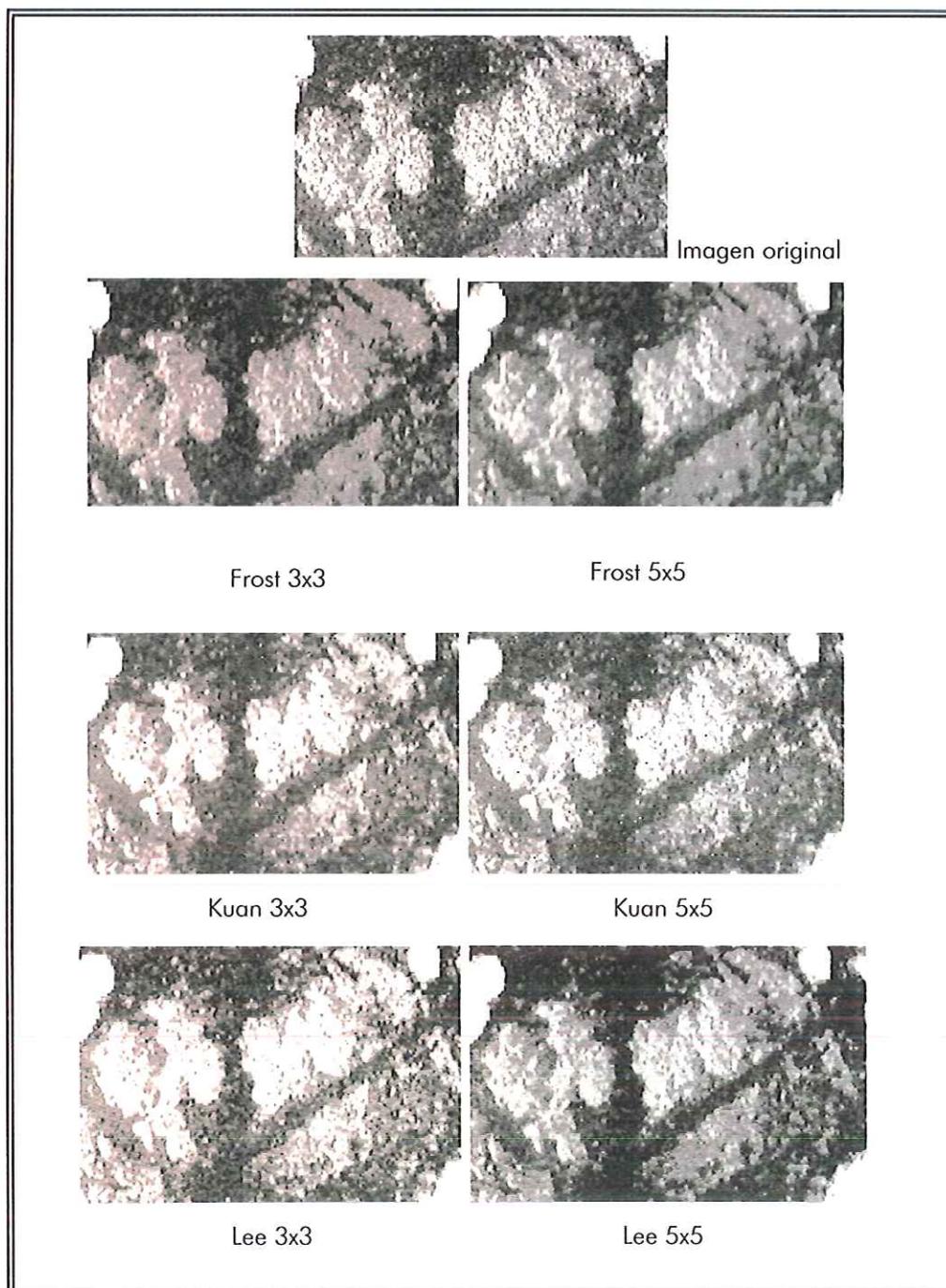


Figura 26 – Filtros testados na imagem de radar para redução do speckle.

As classes selecionadas para esta etapa do trabalho foram: água aberta (livre de macrófitas e paliteiros), macrófitas, paliteiros e ilhas. As macrófitas não serão diferenciadas por espécie, porque o maior objetivo é localizar áreas do reservatório que apresentam essas plantas para posteriormente verificar se existe relação com a incidência de malária, pois são tidas como ótimos criadouros de mosquitos. As ilhas foram extraídas da máscara vetorial cedida pela ANEEL, porque a vegetação dessas ilhas foi confundida pelos sensores com macrófitas flutuantes.

Essa máscara foi confeccionada a partir de imagens adquiridas em datas em que o reservatório se encontrava na sua cota máxima de 72 metros. Devido a isso, ocorreu diferença nos limites das ilhas quando se utilizou essa máscara para imagens obtidas em cotas mais baixas. Outro fator que contribuiu para essa diferença foi a variação nos ângulos de visada dos sensores TM (nadir) e SAR ($\sim 45^\circ$). As ilhas foram mapeadas a partir do sensor TM-Landsat que possui visada nadir, enquanto o sensor SAR do RADARSAT possui visada lateral, o que causa distorção geométrica na representação das bordas dessas ilhas fazendo com que estas sejam confundidas com paliteiros ou mesmo às vezes macrófitas. Mas, geralmente, quando o nível da água abaixa, nessas áreas irão prevalecer os paliteiros que estavam submersos a uma cota maior e macrófitas que se instalam devido aos meandros que se formam no entorno. Esses erros de classificação inerentes ao processo de imageamento foram corrigidos através de edição matricial.

Após a edição matricial para reparar alguns erros cometidos pelo classificador, obteve-se o mapa temático do reservatório de Tucuruí para as diferentes datas analisadas.

5.4.3 Metodologia Utilizada nos Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados em julho de 2001, nos municípios de Tucuruí e Novo Repartimento e em julho de 2003, no município de Jacundá. Ambos com apoio logístico da Eletronorte. A finalidade do trabalho de campo foi de georreferenciar os pontos de incidência de malária, visto que pela lista fornecida pela Fundação Nacional de Saúde estes só eram especificados pelo nome, pela categoria (fazenda, sítio, vila ou cidade) e pelo município. Antes de iniciar o campo, foram levantadas informações sobre a possível localização desses pontos com pessoas que conheciam a área (funcionários da FNS e do INCRA). Durante o campo, foi aplicado um questionário junto aos moradores dos locais visitados, os quais informavam se havia ou não casos de malária no local e utilizando um GPS, se adquiria a localização do ponto. Em anexo se encontram o questionário aplicado em campo e algumas fotos de localidades visitadas.

5.4.4 Aplicação de Análise Espacial de Padrões de Pontos

Para os pontos da Fundação Nacional de Saúde, georreferenciados no campo, foi testada a técnica Estimador de Intensidade Kernel de padrões de pontos. Esta técnica considera a intensidade do evento, que neste caso foi a intensidade do IPA (Índice Parasitário Anual).

Os pontos de incidência de malária registrados em campo foram inseridos dentro da área de interesse e seus atributos (IPA) foram importados para o SPRING em formato cadastral, que possibilita a realização de consulta da tabela de dados. Após a importação das amostras foi aplicada a técnica de padrões de pontos Estimador de Intensidade Kernel.

5.4.5 Metodologia Aplicada para Obter os Mapas de Distribuição da População nos Municípios Estudados para os anos de 96 e 2001

Um dos motivos para se gerar mapas de distribuição da população foi a necessidade de obter dados para o município inteiro e não apenas para as localidades georreferenciadas no campo, uma vez que um dos objetivos do trabalho é modelar o risco de se adquirir malária para toda a área de estudo. Além disso, o dado da FNS relativo à população não se modificava ao longo dos anos de realização da pesquisa por falhas metodológicas. Isso poderia comprometer os resultados da pesquisa, uma vez que a malária está intimamente relacionada à população humana e também pela visível dinâmica populacional observada a partir de pesquisas de campo e dados censitários dos municípios estudados.

O método utilizado para gerar os mapas de distribuição de população para os municípios estudados foi o de álgebra de mapas. Os procedimentos utilizados para gerar esses mapas encontram-se descritos em BARBOSA (1999). Procedimentos semelhantes foram utilizados por KAMPEL (2004) para gerar superfícies de densidade populacional para o município de Marabá-PA. Seus estudos demonstraram que as estimativas de população podem ser obtidas indiretamente a partir de medidas da extensão da superfície urbanizada medida sobre imagens ou pela classificação do uso e ocupação da terra. Os testes de

técnicas de inferência fuzzy realizados nesse trabalho indicaram que as melhores estimativas foram obtidas com o uso de média simples das seguintes variáveis (distância das vias, distância de rios, distância de núcleos urbanos, percentagem de floresta e declividade).

Na presente pesquisa, os parâmetros utilizados para obter os mapas de população foram extraídos das imagens de satélite e de observações de campo, e permitiram uma melhor parametrização das relações entre as classes de uso e ocupação do solo e população.

Os parâmetros estipulados foram:

- Distância da classe agrossilvopastoril – por ser a classe que engloba a maior parte das atividades agrícolas e de silvicultura, as quais representam locais de concentração da população rural.
- Distância das estradas e dos cruzamentos de estradas – na área rural as propriedades se concentram em sua maioria ao longo das estradas e vicinais, portanto seria um parâmetro bastante relevante para a análise. Foi observado no campo que, nos locais onde ocorre cruzamento de estradas, principalmente entre vicinais e principais, havia aglomerações de casas e pequenos comércios. Essas áreas funcionam como pontos estratégicos para a população do entorno, pois são locais de onde parte condução para a escola, para a cidade e outras propriedades. Para escoar a produção, muitas vezes, os trabalhadores levam parte da colheita até esses pontos onde se consegue meio de transporte até a cidade.
- Distância dos igarapés, rios e do reservatório – próximo a esses locais há grande possibilidade de haver aglomerações populacionais. Devido à falta de infra-estrutura das redes de água e esgoto, a população rural geralmente constrói suas casas nas proximidades de corpos d'água para as necessidades básicas. Quanto ao reservatório e mesmo igarapés, são muito utilizados para a atividade da pesca, sendo, muitas vezes, o único meio de sustento da família.
- Distância da área urbana – pelas imagens de satélite e mesmo no campo, observou-se que nas proximidades das áreas urbanas havia

maiores concentrações de propriedades rurais, sendo assim um importante fator para a análise.

A partir das imagens de satélite, foi possível obter as classes de uso e ocupação do solo e realizar as atualizações das estradas e rios retirados das cartas topográficas do IBGE.

Para cada parâmetro foi gerada uma grade de distância, utilizando o Spring 3.6. Essas grades foram fatiadas nas seguintes classes:

- Muito-alta: áreas de maior concentração da população, onde haveria a maior quantidade de fatores propícios à concentração de pessoas;
- Alta: áreas de alta concentração de população, mas onde nem todos os parâmetros poderiam estar presentes;
- Média: áreas de concentração média de população;
- Baixa: áreas onde poucos parâmetros estariam associados;
- Muito-baixa: áreas de baixa concentração de população, por exemplo, áreas de floresta.

As faixas de cada parâmetro foram determinadas pelas imagens de satélite e dados de campo, variando da maior à menor possibilidade de haver concentrações da população. Seguem abaixo os valores determinados para cada faixa de cada parâmetro:

- Distância da classe agrossilvopastoril

Muito-alta: (0; 99,999)

Alta: (100; 199,999)

Média: (200; 299,999)

Baixa: (300; 399,999)

Muito-Baixa: (\geq 400)

- Distância do cruzamento de estradas

Muito-alta: (0; 199,999)

Alta: (200; 399,999)

Média: (400; 599,999)

Baixa: (600; 799,999)

Muito-Baixa: (\geq 800)

- Distância das estradas

Muito-alta: (0; 299,999)

Alta: (300; 599,999)

Média: (600; 899,999)

Baixa: (900; 1199,999)

Muito-Baixa: (\geq 1200)

▪ Distância dos rios intermitentes (pequenos igarapés)

Muito-alta: (0; 99,999)

Alta: (100; 199,999)

Média: (200; 299,999)

Baixa: (300; 399,999)

Muito-Baixa: (\geq 400)

▪ Distância do reservatório

Muito-alta: (0; 199,999)

Alta: (200; 399,999)

Média: (400; 599,999)

Baixa: (600; 799,999)

Muito-Baixa: (\geq 800)

▪ Distância dos rios e igarapés maiores

Muito-alta: (0; 499,999)

Alta: (500; 999,999)

Média: (1000; 1499,999)

Baixa: (1500; 1999,999)

Muito-Baixa: (\geq 2000)

▪ Distância da área urbana

Muito-alta: (0.01; 499,999)

Alta: (500; 999,999)

Média: (1000; 1499,999)

Baixa: (1500; 1999,999)

Muito-Baixa: (\geq 2000)

Esses fatiamentos foram realizados para os três municípios nos anos de 1996 e 2001, atualizando alguns parâmetros como estradas, áreas da classe agrossilvopastoril, cruzamento de estradas e área urbana, que alteraram de um

período para o outro. Em anexo encontra-se o programa na linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), utilizado para fatiar as grades.

Após o fatiamento das grades, atribuíram-se valores para cada classe fatiada com o objetivo de padronizá-las. Para a classe "muito-alta" foi atribuído o valor 3, assim, todas as classes "muito-alta" de cada parâmetro teriam o valor 3. Em anexo encontra-se o programa LEGAL para a ponderação. Os valores atribuídos para as classes foram:

Muito-alta: 3

Alta: 2,25

Média: 1,5

Baixa: 0,75

Muito-Baixa: 0

Após a ponderação, obteve-se uma grade ponderada para cada parâmetro, a partir da qual se calculou uma média simples, somando-se todas as grades ponderadas e dividindo-se pelo número de parâmetros analisados. Em anexo encontra-se o programa LEGAL para o cálculo da média simples. O resultado obtido foi uma grade média ponderada que foi fatiada da seguinte forma:

Muito-alta: (3 a 2,24999)

Alta: (2,24999 a 1,4999)

Média: (1,4999 a 0,74999)

Baixa: (0,74999 a 0,34999)

Muito-Baixa: (0,34999 a 0)

5.4.6 Metodologia Aplicada para Obter os Mapas de Risco de Malária para os anos de 1996 e 2001

A metodologia aplicada para obter os mapas de risco de malária foi a mesma adotada para a obtenção dos mapas de distribuição de população, mudando alguns parâmetros. Utilizaram-se os seguintes dados:

- Mapas de distribuição de população;
- Distância dos rios;

- Distância das estradas
- Distância do reservatório;
- Distâncias das áreas de macrófitas;
- Uso do solo;
- Distância da área urbana

A malária está relacionada à população e por isso foi extremamente importante obter um mapa de distribuição populacional dos municípios para cruzar com outros parâmetros que podem indicar risco de malária no local. Os parâmetros utilizados foram: 1) distância dos rios e do reservatório porque estes são locais onde há a possibilidade de haver concentrações de população próximas aos criadouros do mosquito, como por exemplo, bancos de macrófitas; 2) distância das estradas porque grande parte das habitações rurais estão às margens de estradas e de criadouros ao mesmo tempo, uma vez que as estradas marcam geralmente o contato entre a floresta e as áreas alteradas; 3) distância da área urbana também é um fator importante devido à concentração da população, assim como algumas classes de uso do solo. Seguem abaixo os valores determinados para cada faixa do parâmetro distância das macrófitas:

- Distância das macrófitas
 - Muito-alta: (0.01; 299,999)
 - Alta: (300; 599,999)
 - Média: (600; 899,999)
 - Baixa: (900; 1199,999)
 - Muito-Baixa: (\geq 1200)

As classes fatiadas estão relacionadas ao maior ou menor risco de se adquirir malária. Foram gerados mapas de distância dos bancos de macrófitas para os meses de abril, maio, agosto e dezembro, conforme a disponibilidade das imagens de radar.

As classes dos mapas de uso e ocupação para os anos de 96 e 2001 foram reclassificadas, utilizando o programa LEGAL de reclassificação (em anexo). As classes foram reclassificadas de acordo com o risco de se contrair malária.

Vegetação Nativa: Muito-Baixa
 Rebrotas: Média

Água:	Muito-Baixa
Agrossilvopastoril:	Muito-Alta
Área Alagada:	Alta
Nuvem:	Muito-Baixa
Banco de Areia:	Muito-Baixa
Área Urbana:	Baixa
Corte Seletivo:	Alta

A classe "vegetação nativa" foi reclassificada para a classe "muito-baixa", porque são áreas onde a probabilidade de haver casos da doença é muito baixa, devido à ausência da população em áreas não alteradas. Para a classe "rebrotada", atribuiu-se que há um risco médio de ocorrer a doença, por ser áreas de vegetação alterada com indícios de regeneração, mas que pode ser utilizada para pasto ou agricultura. As classes água e banco de areia são locais onde não há presença de população, por isso foram consideradas como áreas pouco prováveis para a ocorrência de malária. A classe agrossilvopastoril foi considerada como área de alto risco, por concentrar grande parte das atividades humanas e conseqüentemente, a população. As classes "corte seletivo" e "área alagada" também são consideradas áreas de alto risco. No caso de corte seletivo, o homem causa impacto em áreas de floresta, o que pode acarretar distúrbios na população de mosquitos, além de entrar em contato direto com mosquitos adultos. Para as áreas alagadas, o risco é alto porque são ambientes propícios ao desenvolvimento dos mosquitos, portanto, de risco para se adquirir a doença. Nas áreas urbanas o risco considerado é baixo, devido à maior infra-estrutura, salvo nas áreas de periferia.

Após o fatiamento das grades de distância das macrófitas e da reclassificação das classes de uso e ocupação do solo, foram seguidos os mesmos passos descritos para a obtenção dos mapas de população. Foram obtidos mapas de risco de adquirir malária nos meses de abril, maio, agosto e dezembro, para os três municípios, nos anos de 1996 e 2001, totalizando 24 mapas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Avaliação do Uso das Técnicas de Segmentação e Modelo Linear de Mistura nas Imagens TM-Landsat5

A segmentação das imagens fração do modelo linear de mistura foi ferramenta importante para a realização da classificação supervisionada das imagens TM-Landsat, por delimitar melhor as amostras de treinamento das classes de uso da terra. Na Figura 27, encontram-se uma imagem de composição colorida RGB (3, 4 e 5) e uma sintética do modelo linear de mistura fração solo (R), sombra (B) e vegetação (G), segmentada.

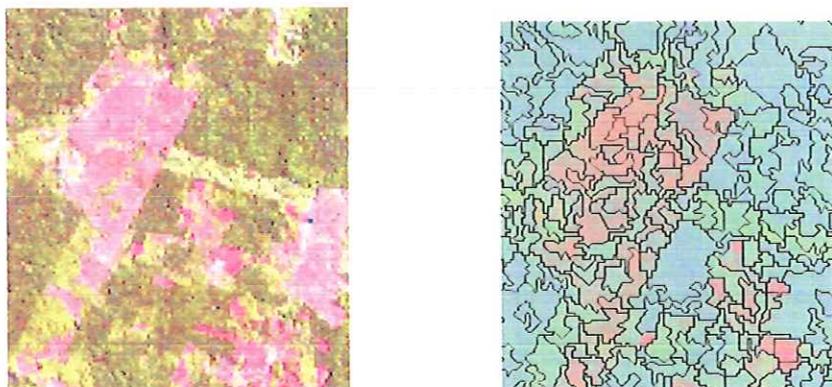


Figura 27 - Imagem sintética R (3), G (4) e B (5) e imagem sintética solo (R), sombra (B) e vegetação (G) do modelo linear de mistura segmentada.

O uso da técnica de segmentação das imagens fração do modelo linear de mistura, permitiu uma boa separação entre rebrota e a classe agrossilvopastoril. Quando havia dúvidas em relação a uma área que poderia ser capoeira ou uma área de pasto, por exemplo, utilizou-se a imagem fração solo para definir à qual classe este polígono pertenceria. Na Figura 28, observa-se a comparação de uma área classificada como regeneração, na imagem sintética (3R, 4G, e 5B) e na

imagem fração solo. Neste caso, a área indicada pela seta, na imagem sintética, poderia causar dúvidas entre classificar como agrossilvopastoril ou regeneração. Na imagem fração solo, ficou claro que é uma área em regeneração com baixa resposta espectral de solo. Nas áreas de pastagens, a resposta do solo é alta, devido à escassa cobertura vegetal, por isso, são realçadas e aparecem na cor branca ou em tons de cinza claro.

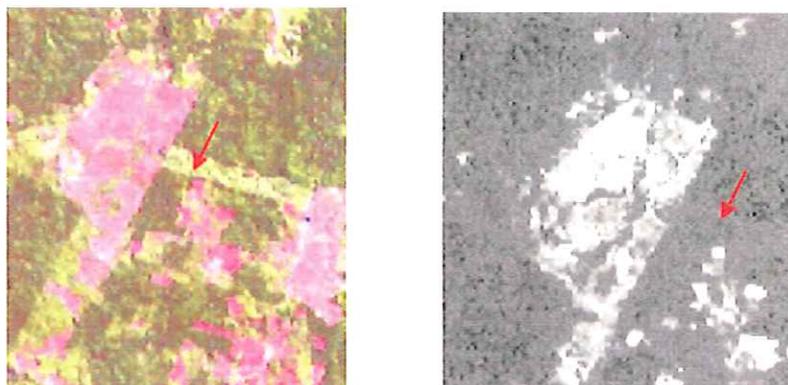


Figura 28 - Comparação entre uma área classificada como rebrota na imagem sintética (RGB) e na imagem fração solo.

A imagem fração solo também permitiu diferenciar entre corpos d'água e áreas de queimada, pois essas duas classes são confundidas na banda 4 do TM-Landsat5, pois se apresentam com baixos valores de nível digital, responsáveis pela cor escura, em decorrência do elevado coeficiente de absorção da água e da matéria queimada na região do infravermelho, respectivamente. Na imagem solo a água é representada pela cor preta ou cinza escuro, enquanto que as áreas de queimada são representadas em tons de cinza claro porque apresentam alta resposta espectral do solo (Figuras 29a e 29b).

A fração sombra foi importante para separar áreas alteradas de áreas de floresta e distinguir áreas sujeitas a sombreamento, causado pelo relevo, das áreas de atividade agrossilvopastoril.

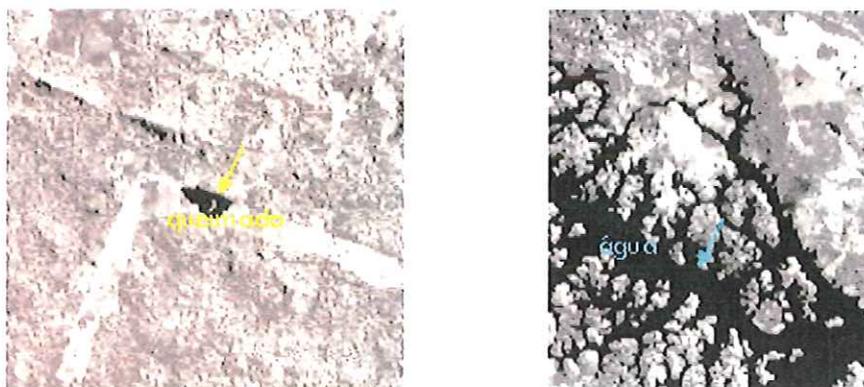


Figura 29a – Comparação entre uma área de queimada e de água na banda 4 TM-Landsat.

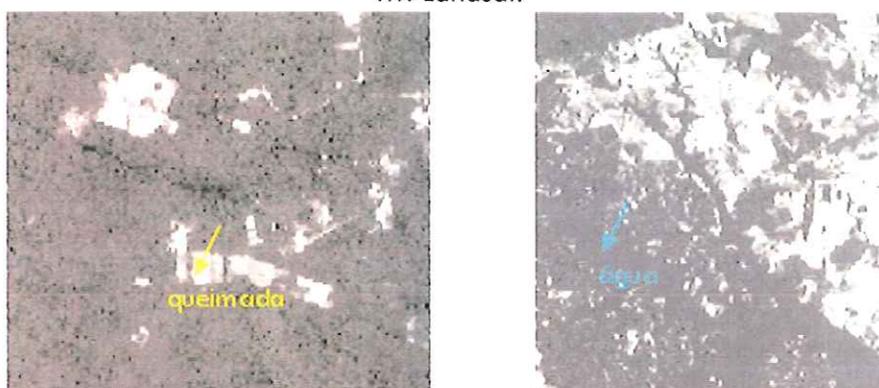


Figura 29b – Comparação entre uma área de queimada e de água na imagem fração solo.

6.2 Avaliação da Dinâmica do Uso e Ocupação da Terra com as Imagens TM – Landsat5 no período de 1996 e 2001

Os mapas temáticos de uso e ocupação da terra dos municípios estudados gerados para os anos de 1996 e 2001, conforme metodologia já descrita na seção 5 deste documento, são apresentados nas Figuras 30 e 31, respectivamente. Nas Figuras 32, 33 e 34, encontram-se os mapas temáticos de uso e ocupação da terra para cada município separadamente. Os mapas das Figuras 30 e 31 encontram-se em anexo.

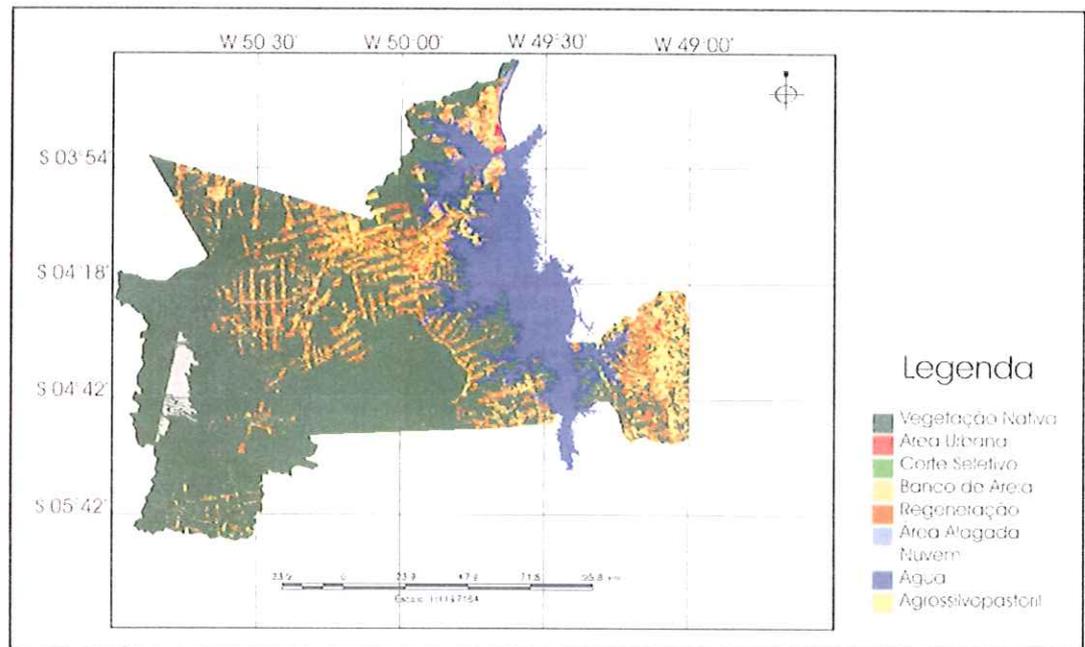


Figura 30 – Mapa temático de uso e ocupação da terra dos municípios de Tucuú, Novo Repartimento e Jacundá derivado do processamento de imagens do sensor Thematic Mapper do satélite Landsat, referentes ao ano de 1996.

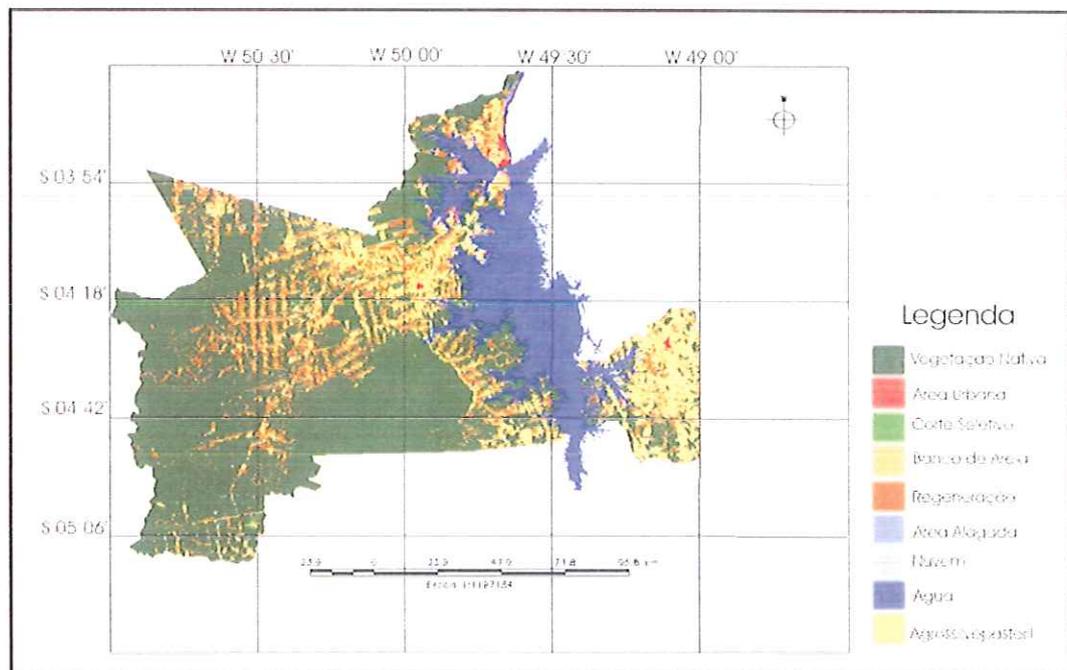


Figura 31 – Mapa temático de uso e ocupação da terra dos municípios de Tucuú, Novo Repartimento e Jacundá derivado do processamento de imagens do sensor Thematic Mapper do satélite Landsat, referentes ao ano de 2001.



Figura 32 - Mapa temático de uso e ocupação da terra do município de Jacundá, referente aos anos de 1996 e 2001, da esquerda para a direita.

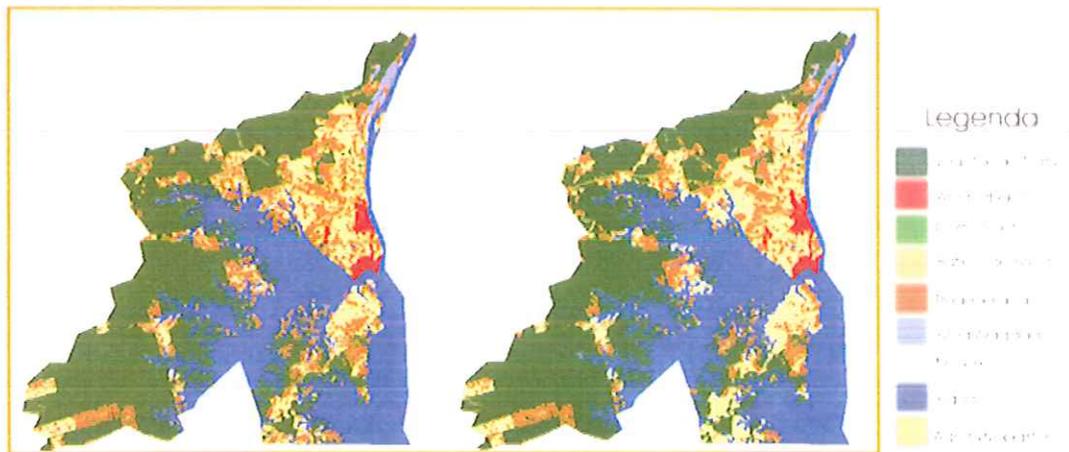


Figura 33 - Mapa temático de uso e ocupação da terra do município de Tucuruí referente aos anos de 1996 e 2001, da esquerda para a direita.

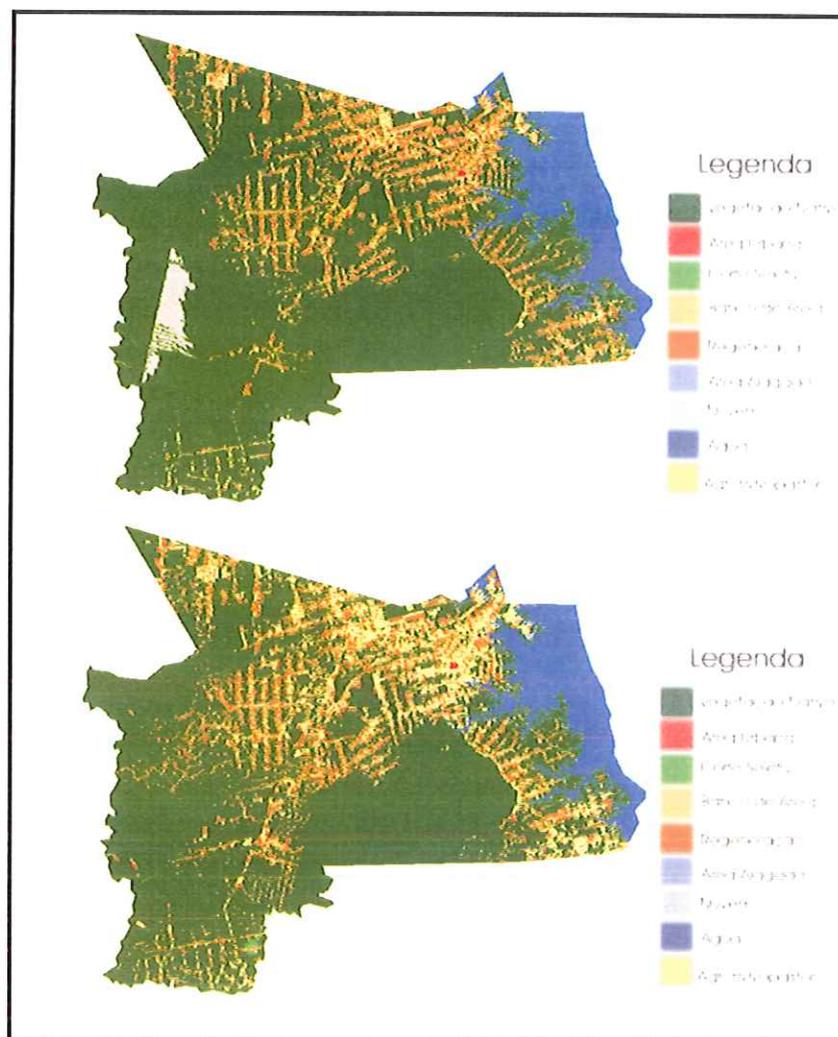


Figura 34 - Mapa temático de uso e ocupação da terra do município de Novo Repartimento referente aos anos de 1996 e 2001, de cima pra baixo.

Esses mapas permitiram gerar informações sobre a dinâmica, no tempo e no espaço, do uso e ocupação dos municípios que margeiam o reservatório de Tucuruí para um intervalo de cinco anos. A partir desses mapas geraram-se os dados contidos nas Tabelas 6, 7 e 8.

As Tabelas 6, 7 e 8 apresentam os valores absolutos e relativos de área ocupada pelas classes de uso e ocupação da terra, em 1996 e 2001, nos municípios de Jacundá (Figura 32), Tucuruí (Figura 33) e Novo Repartimento (Figura 34), respectivamente.

Tabela 6 – Área em Km² e porcentagem das classes de uso e ocupação da terra no município de Tucuruí em 1996 e 2001:

Classes	Área (Km ²)	Área (Km ²)	%	%
	1996	2001	1996	2001
Vegetação Nativa	929,78	886,32	64,69	61,37
Regeneração	263,52	226,58	18,33	15,69
Água	599,6	611,78	28,9	29,48
Agrossilvopastoril	234,64	302,4	16,32	20,94
Área Alagada	19,13	16,34	0,92	0,78
Área Urbana	19,64	23,34	1,36	1,6

Tabela 7 – Área em Km² e porcentagem das classes de uso e ocupação da terra no município de Novo Repartimento em 1996 e 2001:

Classes	Área (Km ²)	Área (Km ²)	%	%
	1996	2001	1996	2001
Vegetação Nativa	11.279,1	10.439,82	82,13	74,63
Regeneração	1.571,1	1.846,11	11,44	13,19
Água	1.403,24	1.421,62	9,1	9,22
Agrossilvopastoril	857,6	1.685,22	6,24	12,04
Área Alagada	31,39	3,61	0,2	0,02
Área Urbana	3,84	4,01	0,02	0,03

Tabela 8 – Área em Km² e porcentagem das classes de uso e ocupação da terra no município de Jacundá em 1996 e 2001:

Classes	Área (Km ²)		%	
	1996	2001	1996	2001
Vegetação Nativa	642,93	484,31	37,00	28,00
Regeneração	580,32	264,17	33,47	15,27
Água	275,1	277,12	13,66	13,77
Agrossilvopastoril	504,19	971,89	29,08	56,2
Área Alagada	3,66	5,65	0,18	0,28
Área Urbana	7,8	8,71	0,44	0,5

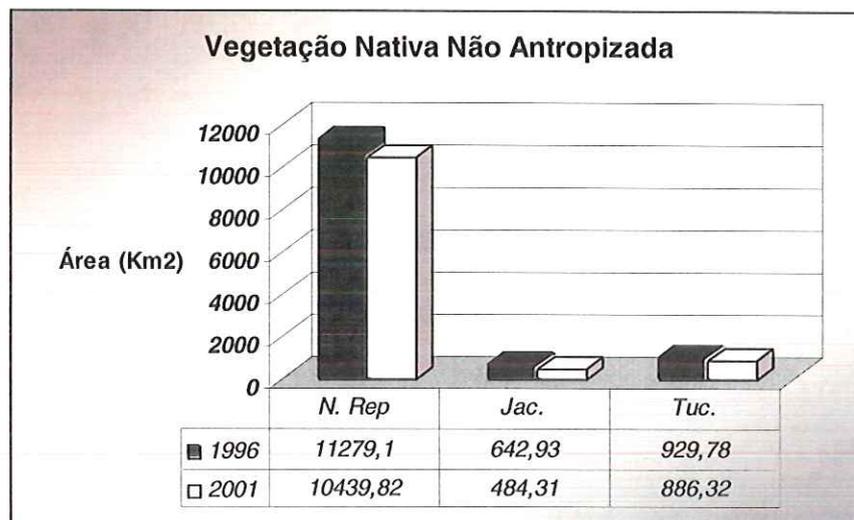


Figura 35 – Gráfico da alteração da área de vegetação nativa nos municípios para o período de 96 a 2001

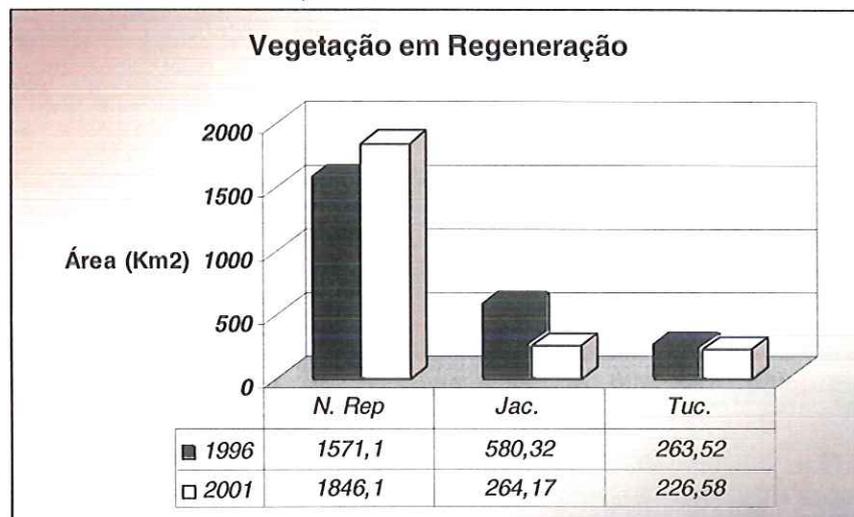


Figura 36– Gráfico da alteração da área de vegetação em regeneração nos municípios para o período de 96 a 2001.

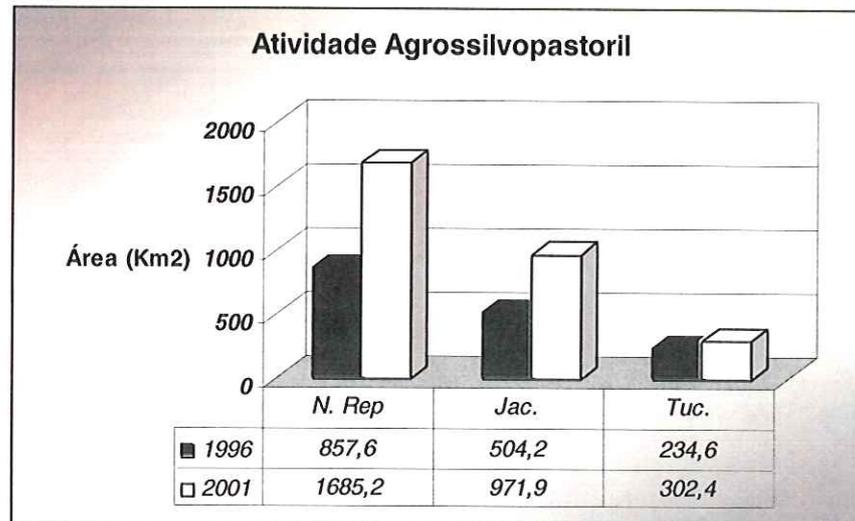


Figura 37 – Gráfico da alteração da área de atividade agrossilvopastoril nos municípios para o período de 96 a 2001

Ao analisar as tabelas e figuras anteriores, pode-se observar que os municípios mais afetados pelo desmatamento foram os de Jacundá e Novo Repartimento. Em Jacundá a área ocupada, por atividades agrossilvopastoris, em 2001, foi quase duas vezes maior que a área ocupada em 1996, ou seja, passou de 504,2 Km² a 972 Km² (ver gráfico da Figura 37). No período de cinco anos, este município perdeu o equivalente a 158,6 Km² de vegetação nativa ou 7,8% da área total do município. Se continuar no mesmo ritmo, toda a vegetação nativa deste município poderá desaparecer em aproximadamente 15 anos, dando lugar às pastagens e atividades madeireiras. Pode-se observar também que grande parte das áreas que estavam em processo de regeneração em 1996 (mais de 45%), passou a ser ocupada por atividades agrossilvopastoris em 2001 (Figura 36).

O município de Novo Repartimento também perdeu grandes áreas de vegetação nativa para as atividades agrossilvopastoris. Em 1996 esta atividade ocupava 857,6 Km² e passou a ocupar 1.685,22 Km² em 2001, um aumento de quase 100% (Figura 37). Observa-se, na Figura 34, que a área, mais protegida do município de Novo Repartimento, localiza-se na parte central, onde se encontra a reserva indígena dos Parakanãs. A vegetação nativa deste município, no período

estudado, perdeu uma área de 839 Km², o que representa a remoção de uma área equivalente a 46 campos de futebol por dia.

O município de Tucuruí foi o que menos sofreu desflorestamento no período analisado, quando comparado aos demais. A área de vegetação nativa foi reduzida em 42,46 Km², enquanto que a atividade agrossilvopastoril aumentou 67,76 Km² (Figuras 35 e 37). Este município é o que apresenta maior área atingida pelas águas do reservatório (aproximadamente 30%).

Estes municípios, desde o início da década de 80, quando a barragem de Tucuruí começou a ser construída, sofreram um forte incremento populacional. Segundo dados de população do IBGE, em 1970 Tucuruí e Jacundá tinham uma população de 9.930 e 2.225, respectivamente e, na década de 80, esses valores saltaram para 61.140 e 14.868. A população desses municípios aumentou cerca de seis vezes em uma década. A partir desta época as áreas de floresta perderam espaço para assentamentos; abertura de estradas; projetos agropecuários; para a água do reservatório e para a ação dos madeireiros.

6.3 Avaliação da Dinâmica das Classes do Reservatório de Tucuruí Utilizando Imagens RADARSAT e TM-LANDSAT

Antes de realizar os processamentos com a composição das imagens de radar e TM, foram realizados alguns testes com estas imagens separadamente. A imagem TM mostrou-se ótima para mapear a vegetação aquática, mas não foi eficiente para mapear os paliteiros (troncos de árvores mortas). Esta classe não é visualizada nessas imagens porque os paliteiros se encontram dispersos no reservatório, sendo a distância entre eles menores que 30 metros, ou seja, abaixo da resolução espacial do sensor TM. Devido a isso, outras classes como água e macrófitas predominavam. Por outro lado, quando se realizaram testes apenas com as imagens de radar, essa classe foi superestimada porque foi confundida com a textura da água do reservatório proporcionada pelo vento e pela presença de bancos esparsos de macrófitas em algumas áreas. Ao usar a composição entre as imagens de radar e TM, foi observado que os paliteiros foram realçados, enquanto

a rugosidade da água, causada pelo vento, reduziu de maneira a permitir a discriminação dessa classe (Figuras 38 a, b e c).

Na imagem de radar (Figura 38b) os paliteiros são mapeados, diferentemente, do que ocorre na imagem TM. Neste caso ocorre o fenômeno da reflexão de canto (double-bounce), onde o sinal do radar interage primeiro com a água e por ser uma superfície lisa, reflete especularmente para depois interagir com os troncos secos, antes de retornar ao sensor, por isso esses alvos aparecem na imagem de radar em tons de cinza claro.

As bandas 4 e 5 do sensor TM, referentes às regiões do infravermelho do espectro eletromagnético, são sensíveis à biomassa e à fenologia da vegetação e por isso foram escolhidas para mapear a vegetação aquática.

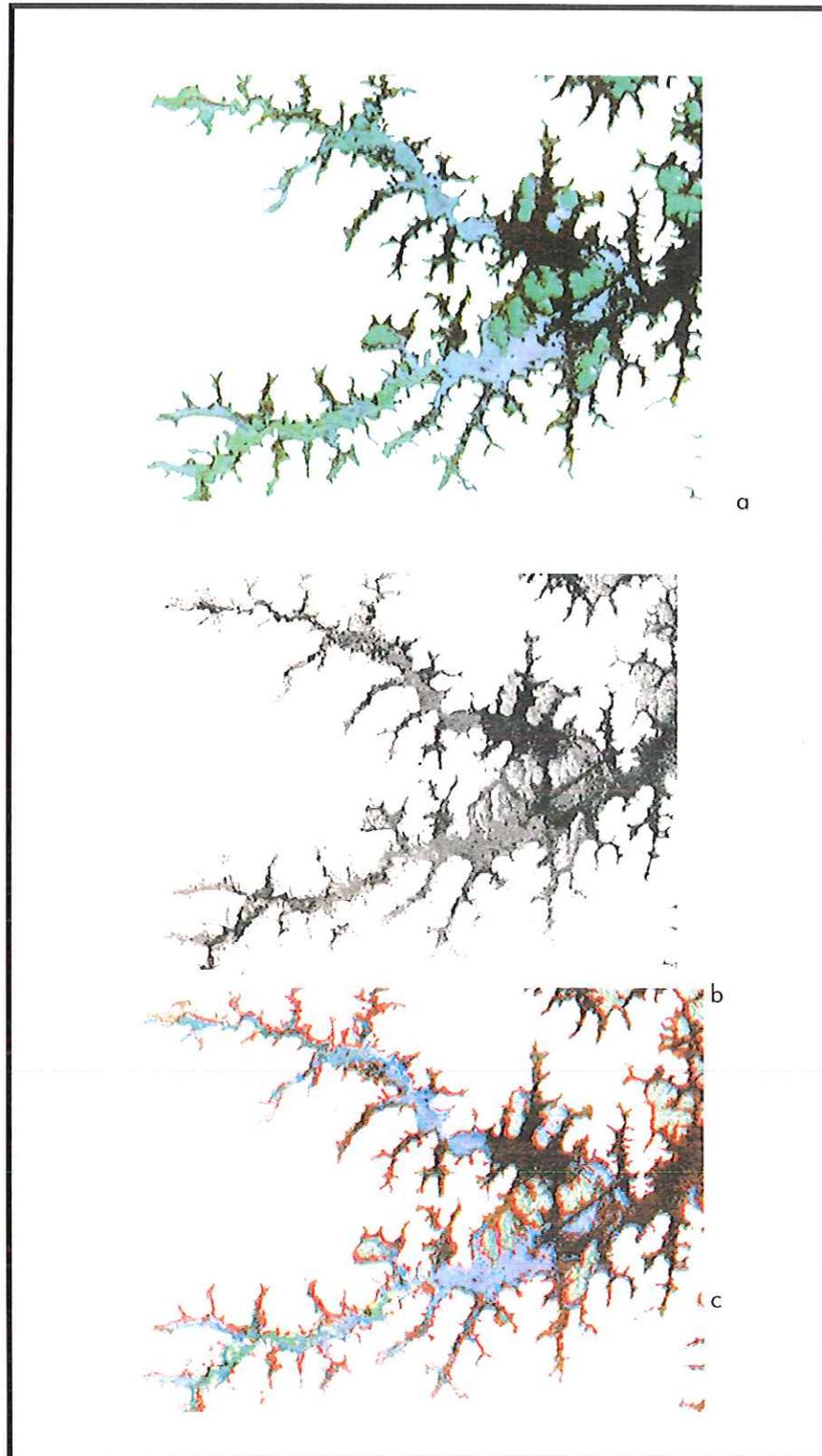


Figura 38 a, b e c – Composição RGB da imagem TM (a), imagem monocromática RADARSAT (b) e composição R-radar, G-banda 4 TM e B- banda 5 TM (c).

Na Figura 39, encontram-se as imagens classificadas e na Tabela 9 a comparação entre as classes das imagens analisadas.

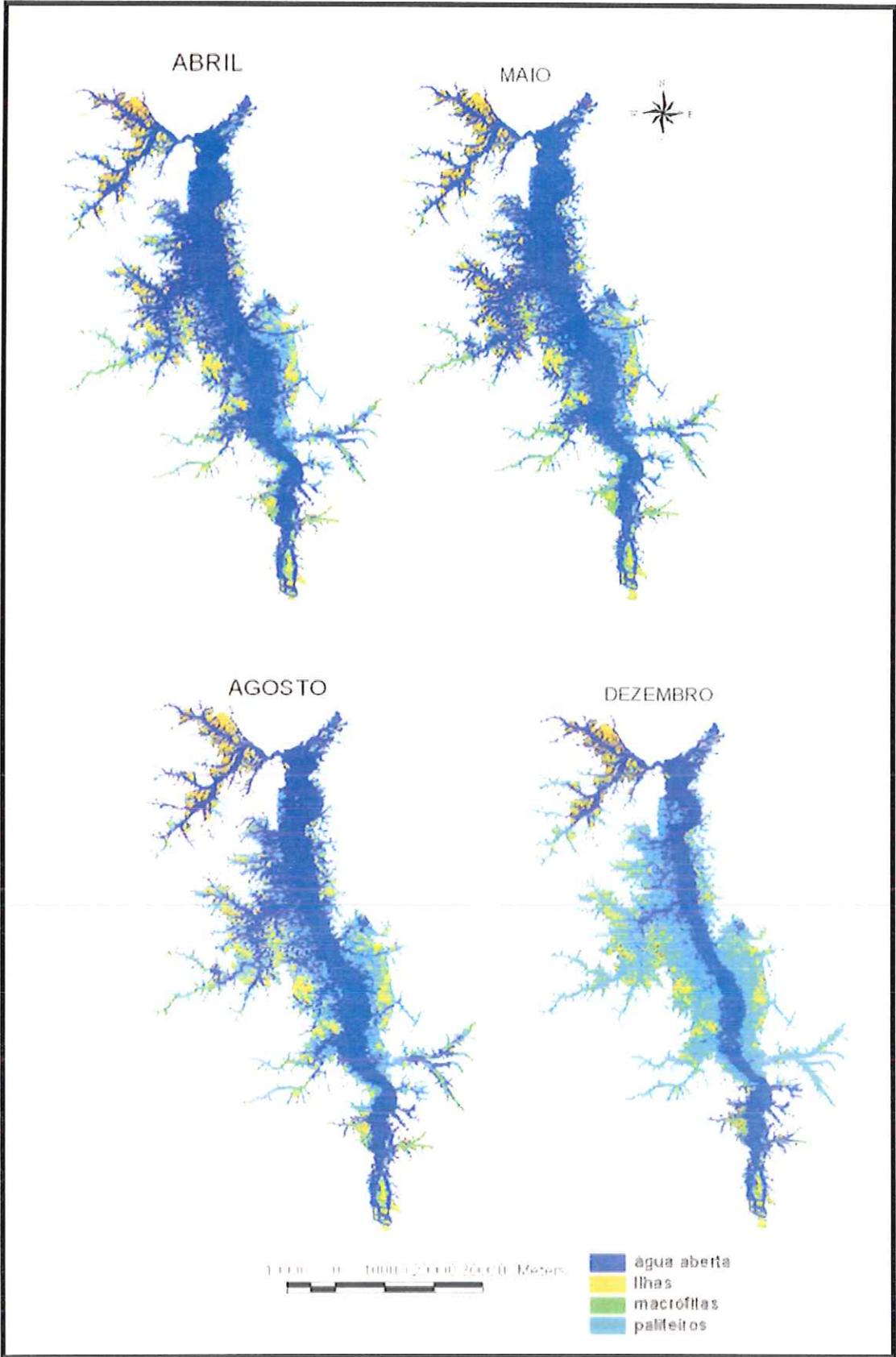


Figura 39 - Imagens classificadas do reservatório de Tucuruí para os meses de abril, maio, agosto e dezembro.

Tabela 9 – Área em Km² das classes mapeadas para as datas consideradas:

Classes	Abr.	Mai.	Ago.	Dez.
Macrófitas	285,6	327,0	235,69	195,53
Paliteiros	549,88	430,2	699,1	1.150,17
Água	1.750,05	1.826,0	1.648,9	1.239,94

Observe que na data de dezembro a área de paliteiros aumentou de 430,2 para 1150,17 Km², passando a ocupar aproximadamente 48% da área do reservatório. No mês de dezembro com a cota do reservatório mais baixa, as macrófitas apresentam estado fenológico senescente e entram em decomposição. Tomando como base o comportamento de um dos braços do reservatório, ocorre uma forte retração das áreas ocupadas por essas plantas no mês de dezembro. Na Tabela acima, observamos que de maio para dezembro as áreas ocupadas por macrófitas diminuíram 131,5 Km². A redução das plantas aquáticas pode implicar na redução da malária, neste período, por servirem de abrigo a larvas e ovos dos mosquitos transmissores da doença. As ilhas apresentaram a mesma área para todas as datas porque foi utilizada a máscara da ANEEL, o que variou foram os paliteiros e macrófitas no entorno dessas ilhas, conforme o nível da água.

6.4 Avaliação dos Dados de Campo e as Dificuldades para Obtê-los

Nos trabalhos de campo, conseguiu-se localizar grande parte dos pontos de incidência de malária da lista da Fundação Nacional da Saúde. Foi observado, entretanto, que a maioria das pessoas que eram acometidas pela doença era representada por trabalhadores temporários, contratados para roçar o pasto. Constatou-se também que estes não permaneciam por muito tempo no mesmo local de trabalho e que geralmente são migrantes, principalmente vindos do Nordeste do país. Isso dificulta o trabalho dos guardas de endemias (pessoas da FNS que rondam uma área coletando lâminas de sangue para análise), pois muitos casos de malária não são detectados pela FNS devido à mobilidade da população. A precariedade das estradas dificulta o acesso das pessoas a um posto de saúde e impede que os guardas de endemias visitem uma mesma área com mais frequência, evitando a proliferação da doença. Foi observado que, no município de

Jacundá, área do segundo campo, as pequenas propriedades rurais possuem melhor estrutura que as visitadas nos outros municípios, além disso, as estradas são melhores e o serviço de saúde mais atuante. Os guardas de endemias da FNS passam semanalmente nas propriedades rurais de maior risco de malária, coletando lâminas de sangue para exame e distribuindo os remédios anti-malarígenos.

Na Tabela 10, encontra-se o total de localidades visitadas em cada município e a porcentagem das que apresentaram casos de malária nos últimos oito anos e das localidades sem malária, no mesmo período.

Foi observado que as localidades que apresentaram casos recentes de malária possuíam ocupação que variavam entre 4 e 50 anos. Nesses locais as moradias eram geralmente de madeira ou pau-a-pique e construídas muito próximas dos igarapés, às áreas alagadas e à mata, áreas propícias à proliferação dos mosquitos transmissores da malária. Em áreas de ocupação recente foi observado que as casas ficavam próximas a locais desmatados e com vegetação alterada próximo às habitações. Nas localidades livres de malária, há mais de oito anos, as casas eram geralmente de alvenaria e construídas nas partes mais altas, longe dos igarapés.

Tabela 10 – Total de localidades visitadas no campo e porcentagens de locais com ou sem malária nos últimos oito anos.

Municípios	Local. Visitadas	% com Malária	% sem Malária
Tucuruí	22	61,90	38,09
Novo Rep.	65	93,84	6,15
Jacundá	26	92,6	7,4

A maior dificuldade encontrada no campo foi conseguir identificar as localidades, pelos nomes a elas atribuídos, pelos guardas de endemias. Na maioria das vezes, os próprios donos da fazenda não conheciam sua propriedade pelo nome constante da lista da FNS. Para evitar muitos erros, era necessário observar se havia nas casas fichas da antiga SUCAN, onde o nome dado à propriedade coincidia com o nome dado na lista da FNS. Outro problema é que pela falta de

mapas e GPS, muitas localidades, consideradas pelos guardas de endemias como sendo de um município, faziam parte do município vizinho. Em Jacundá foram visitadas 60 localidades, mas apenas 26 estavam no município de Jacundá. Isto pode significar que as estatísticas gerais da FNS, por município, contenham erros o que geram dificuldades para se implementar medidas de controle, pois os dados são agrupados, por município, de acordo com as localidades que estão dentro de seu limite administrativo.

Seria imprescindível que os guardas de endemias, que conhecem a região, possuíssem GPS para georreferenciar cada localidade visitada, evitando que esses dados se percam. Apenas os guardas mais antigos conhecem as localidades, o que dificulta a continuidade do trabalho, se essas pessoas, por algum motivo, pararem de trabalhar. Além disso, seria necessário treinamento básico de manipulação de banco de dados e dados de sensoriamento remoto, isso seria possível por meio de convênios e parcerias com institutos de pesquisa e universidades.

6.5 Relação entre os Dados de Dinâmica de Ocupação da Terra, Malária e Dados Sócio-econômicos para os Municípios de Tucuuruí, Novo Repartimento e Jacundá

Como mencionado anteriormente, os municípios de Tucuuruí e Jacundá receberam um grande contingente de migrantes, no início da década de 80, com a construção da usina hidrelétrica de Tucuuruí. Uma das conseqüências disso foi a explosão de casos de malária nesse período. Pode-se observar, nos gráficos das Figuras 40 e 41, que, até meados da década de 70, os níveis da doença eram baixos, mas em 1982 se alcançou próximo de 7.000 casos em Tucuuruí e 6.000 em Jacundá. Observe que em Tucuuruí, logo após 1975, o número de casos da doença começou a aumentar, enquanto que em Jacundá foi um pouco mais tarde, a partir de 1980. Isso porque o município sede da hidrelétrica foi Tucuuruí e o seu canteiro de obras foi implantado no início da construção, aí permanecendo em grande parte, mesmo após o seu término, tornando-se o principal foco de atração de migrantes, população mais suscetível à malária.

A epidemia em Jacundá ocorreu um pouco mais tarde que em Tucuruí, porque as pessoas provavelmente começaram a chegar em busca de novas oportunidades de emprego para obras ligadas indiretamente à construção da hidrelétrica, como abertura de estradas; desflorestamento de áreas para os assentamentos da população que seria retirada das áreas inundadas, entre outras.

Em 1984, em Tucuruí ocorreu o nível máximo de casos de malária. Neste mesmo ano as obras chegaram ao fim e deu-se o início ao enchimento do lago. Este deve ter sido o principal motivo do grande aumento de casos, uma vez que a água parada do lago se constitui em um habitat favorável ao surgimento de um maior número de criadouros do mosquito transmissor da malária. Esta situação foi mais agravada pela não retirada da vegetação da área inundada e conseqüente infestação por macrófitas aquáticas. Outro fator importante, para o aumento da incidência, pode ter sido a alocação de pessoas em assentamentos próximos às margens do reservatório, numa distância inferior a 1,5 Km, o que corresponde ao raio de vôo dos mosquitos do gênero *Anopheles*.

Em Jacundá os níveis da doença começaram a reduzir a partir de 1982. Os migrantes que chegaram a esta região para trabalhar na construção da barragem começaram a retornar para seus Estados de origem, Maranhão e Piauí, principalmente. Esse fenômeno também ocorreu em Tucuruí, em menor escala, nos anos posteriores ao fechamento. A conseqüência do retorno desse contingente populacional a seus estados de origem foi o aumento da incidência da malária nessas regiões, Maranhão (64 casos) e Piauí (25 casos), conforme MARQUES & PINHEIRO (1982).

Nos primeiros dez anos de operação da usina (85 a 95), a incidência da malária tornou a aumentar. Um dos fatores que pode explicar isso é o aumento na densidade populacional dos anofelinos dessa região. Segundo TADEI *et. al* (1993), as áreas alteradas com a formação do lago, como áreas onde proliferaram plantas aquáticas, se tornaram ótimos criadouros de mosquitos.



Figura 40 – Casos de malária no município de Tucuruí no período de 1962 a 1995.

Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS).

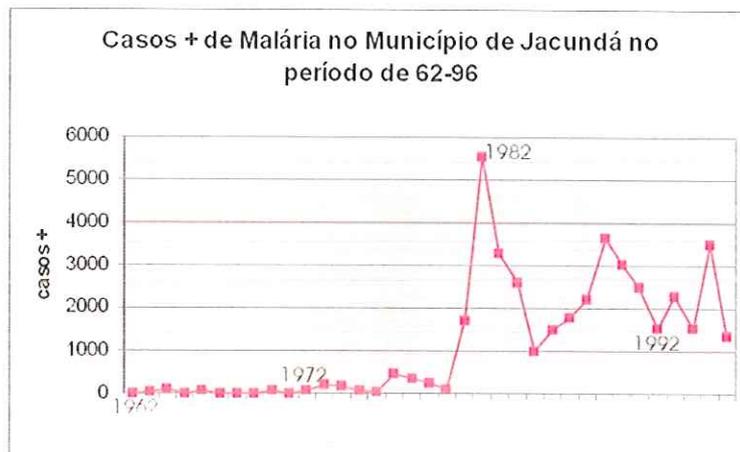


Figura 41 – Casos de malária no município de Jacundá no período de 1962 a 1996.

Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS).

Nas Figuras 42, 43 e 44, encontram-se gráficos das médias mensais de lâminas positivas de malária e média de precipitação para Jacundá, Tucuruí e Novo Repartimento, respectivamente. Observando estes gráficos pode-se constatar que há uma tendência de aumento da malária entre os meses de junho a setembro e no mês de janeiro. No município de Jacundá, a maior média de lâminas positivas ocorreu entre os meses de junho a outubro. No município de Tucuruí, os períodos mais críticos foram os meses de janeiro e fevereiro e os meses entre junho e setembro. Em Novo Repartimento, os meses menos críticos foram apenas março, abril e maio.

Pode-se observar nestes gráficos (Figuras 42, 43 e 44) que o período de precipitação mais intensa corresponde aos meses entre dezembro e abril e a maior ocorrência de lâminas positivas para malária foi detectada nos meses de seca ou em janeiro, mês com alta precipitação. Para melhor visualizar as variações mensais da malária, nessa região, algumas localidades dos municípios, em questão, serão analisadas separadamente.

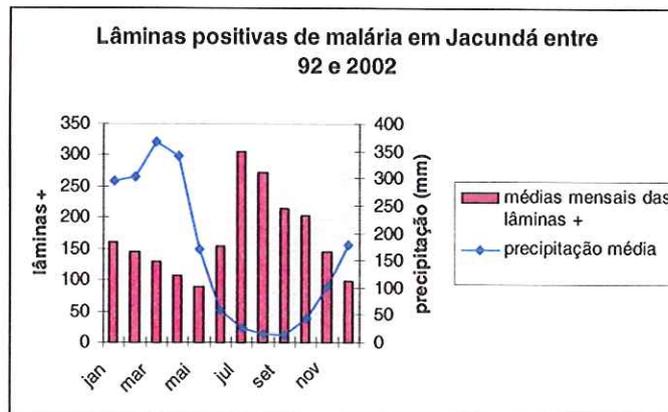


Figura 42 - Médias mensais de lâminas positivas para a malária no município de Jacundá no período de 1992 a 2002 relacionadas com a precipitação.

Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS) e ELETRONORTE.

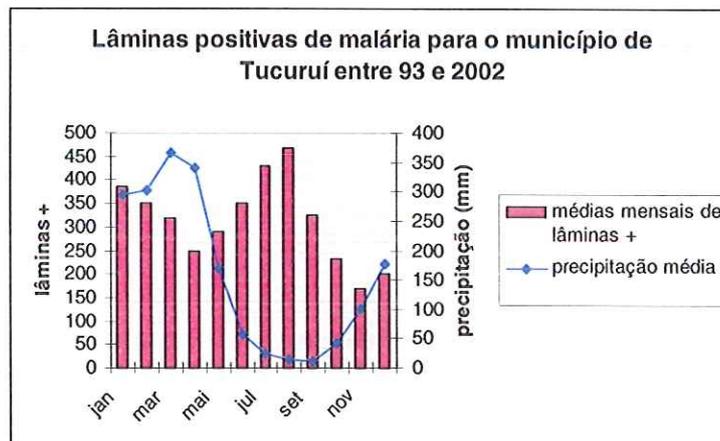


Figura 43 - Médias mensais de lâminas positivas para a malária no município de Tucuruí no período de 1993 a 2002 relacionadas com a precipitação.

Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS) e ELETRONORTE.

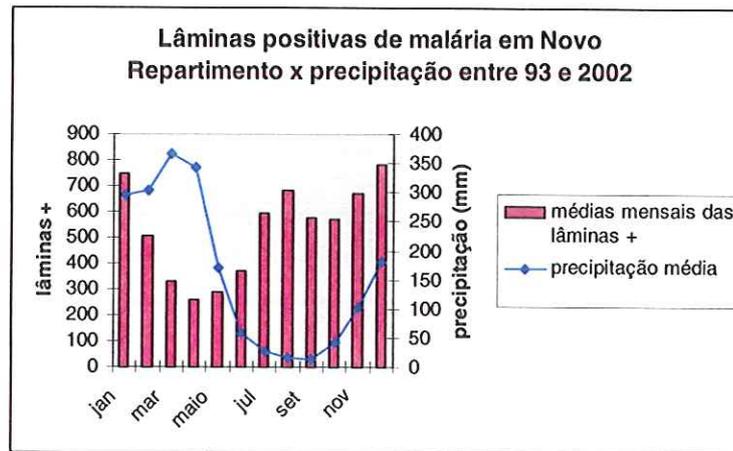


Figura 44 - Médias mensais de lâminas positivas para a malária no município de Novo Repartimento no período de 1993 a 2002 relacionadas com a precipitação.
Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS) e ELETRONORTE.

Os gráficos das Figuras 46 a 54 mostram as variações da malária mensalmente nos anos de 95, 96 e 97, em algumas localidades de Jacundá, Tucuruí e Novo Repartimento. Nas Figuras 45 e 49a encontram-se os mapas de Jacundá e Tucuruí com as localidades analisadas.

No caso de Jacundá (Figuras 46, 47 e 48), pode-se constatar que nas três localidades diferentes, a malária ocorreu de forma mais intensa entre os meses de julho e setembro, com exceção do ano de 1996, em que a variação foi muito diferente dos outros anos, pois o maior pico ocorreu no mês de janeiro. Um dos fatores que pode ter causado esta alteração foi o fechamento da represa de Serra da Mesa em 1996, quando a vazão do rio Tocantins foi reduzida drasticamente, bem como o nível da represa. Em Tucuruí (Figuras 49, 50 e 51) os meses de maior incidência de malária foram nos intervalos de julho a setembro, sendo que em 97 se estendeu até o mês de outubro e de janeiro a março. Isso também pode ser reflexo do fechamento do lago de Serra da Mesa. As margens podem ter ficado expostas muito tempo, com regeneração da vegetação terrestre, provocando uma nova perturbação do sistema em 1997, quando se iniciou a subida da água. Outra observação importante a fazer em relação aos gráficos das Figuras 46 a 51 é que nas localidades que se encontram mais próximas ao reservatório (Quatro Bocas de Santa Rosa, Jacundá e Rio Onze em Tucuruí), o número de casos de malária foi elevado durante praticamente os três anos observados. No município de Novo

Repartimento (Figuras 52, 53 e 54), foi observado que, nos meses de julho a outubro para o ano de 95, ocorreu maior incidência, sendo que para os outros anos, este período passou a ser de julho a setembro. Para identificar os fatores responsáveis pela alta incidência nos meses mais secos, é necessário levar em conta as principais atividades exercidas pela população dos municípios e suas características sócio-econômicas.

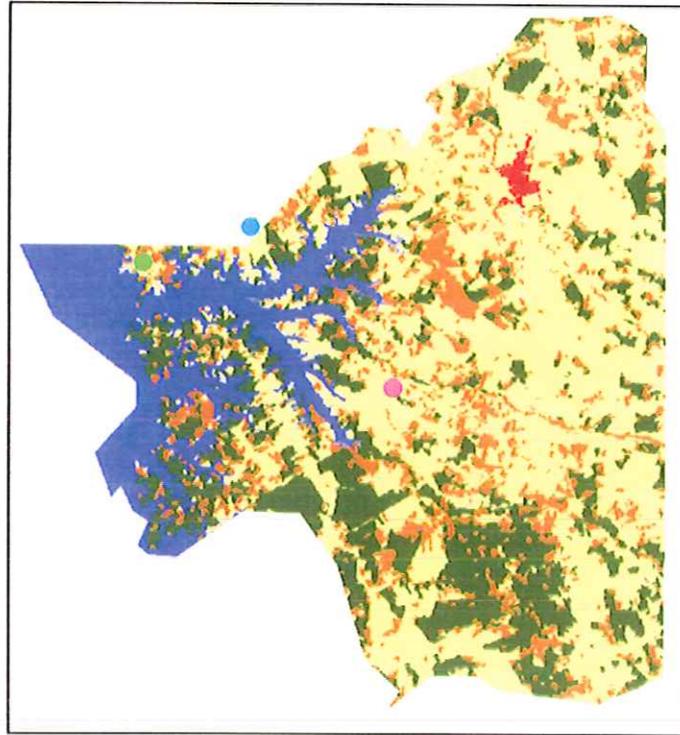


Figura 45 – Município de Jacundá com as três localidades plotadas.

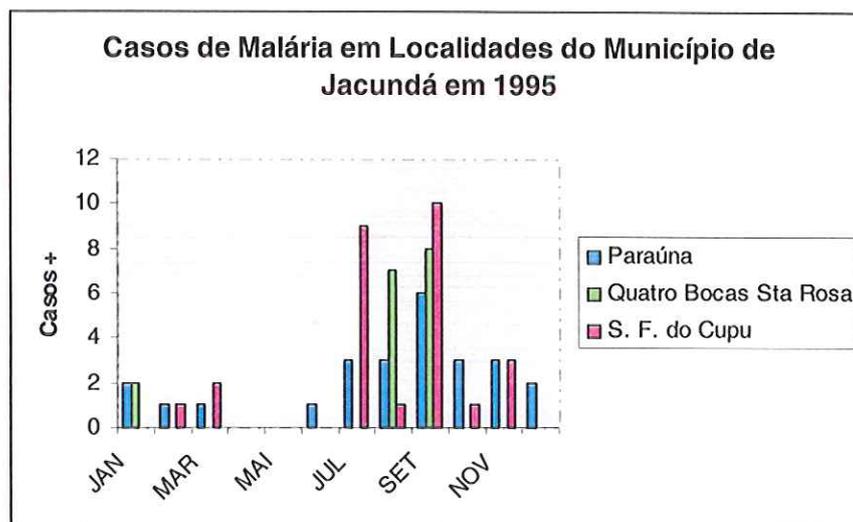


Figura 46 – Casos de malária em localidades do município de Jacundá em 1995.
Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS).

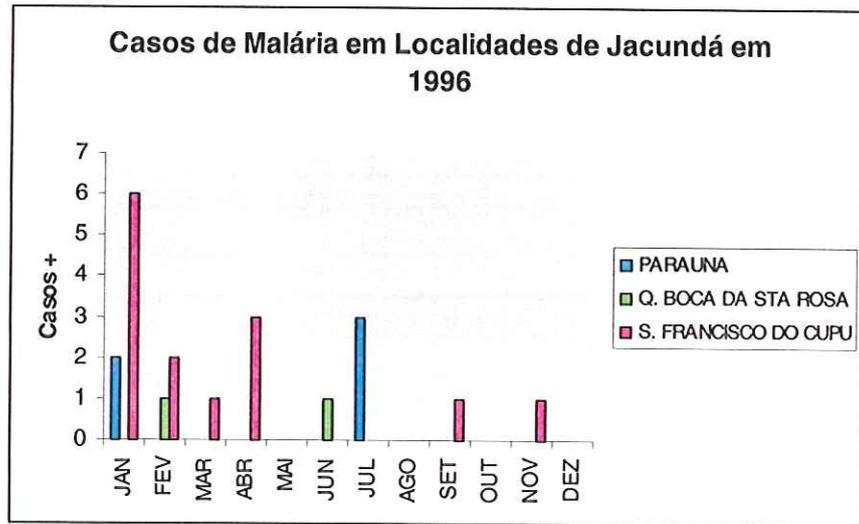


Figura 47 – Casos de malária em localidades do município de Jacundá em 1996. Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS).

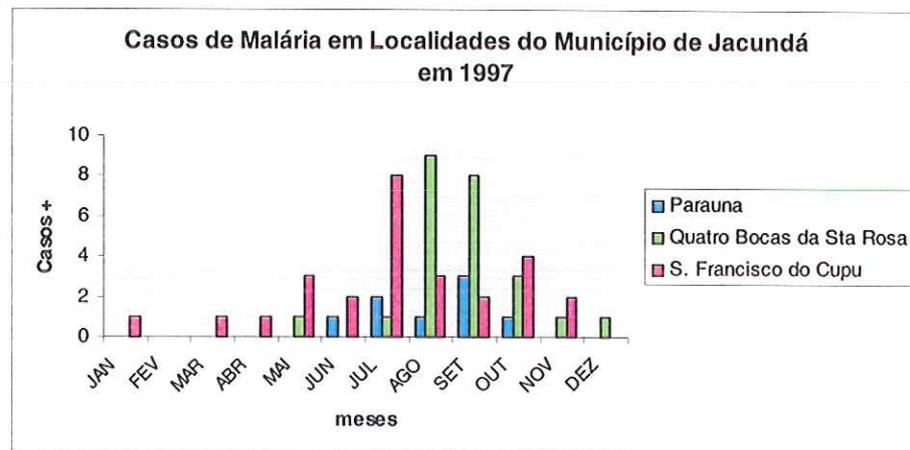


Figura 48 – Casos de malária em localidades do município de Jacundá em 1997. Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS).

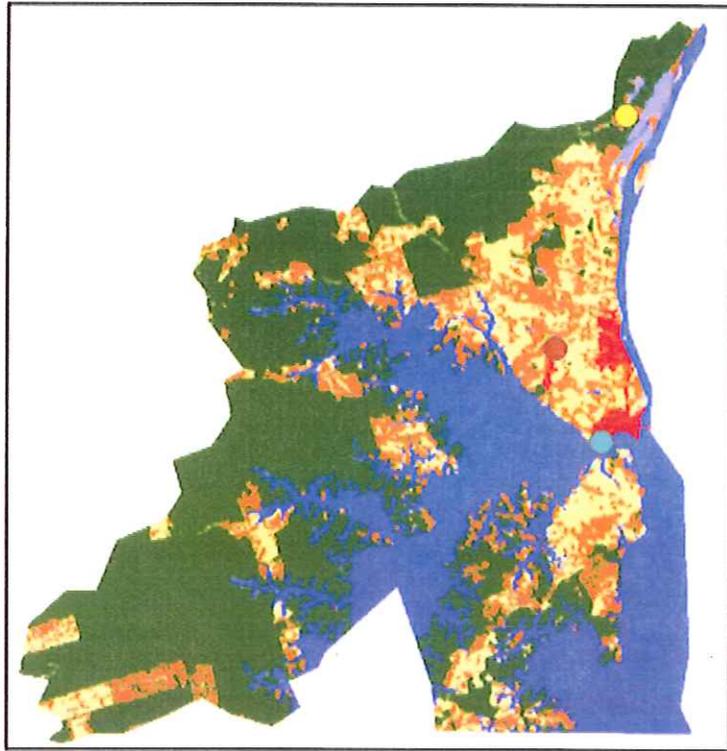


Figura 49a – Município de Tucuruí com as três localidades plotadas.

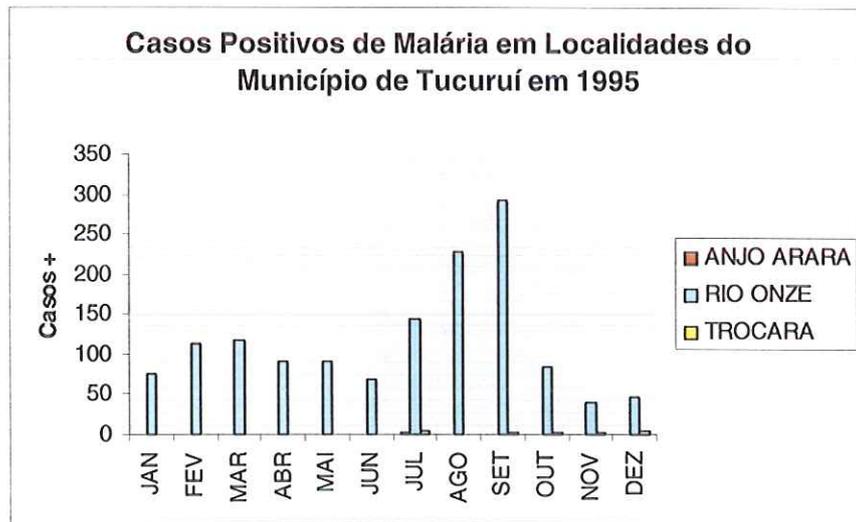


Figura 49 – Casos de malária em localidades do município de Tucuruí em 1995. Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS).

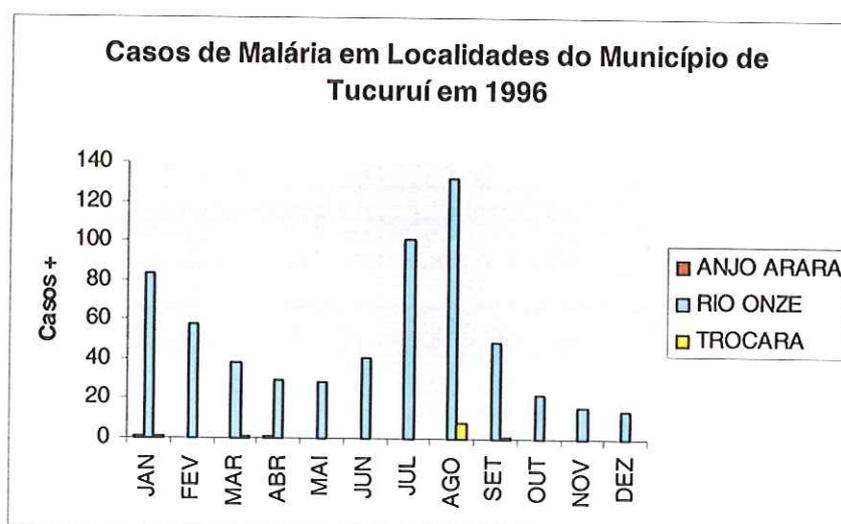


Figura 50 – Casos de malária em localidades do município de Tucuruí em 1996.
Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS).

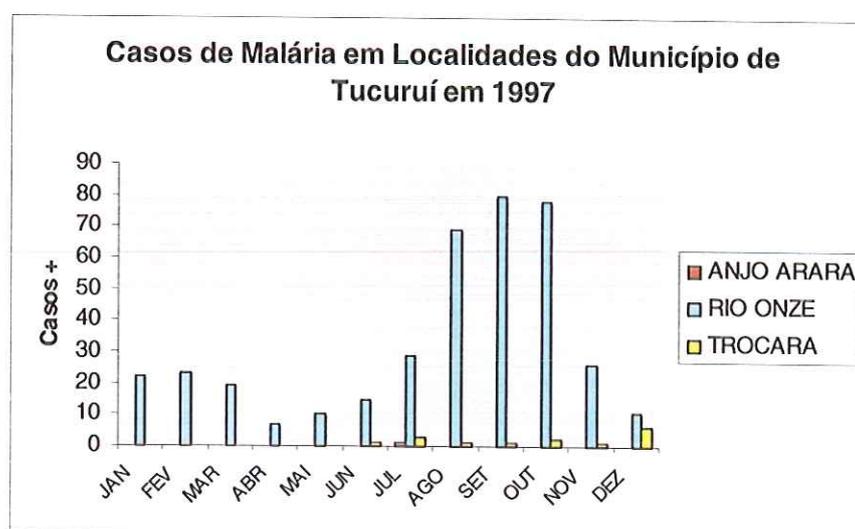


Figura 51 – Casos de malária em localidades do município de Tucuruí em 1997.
Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS).

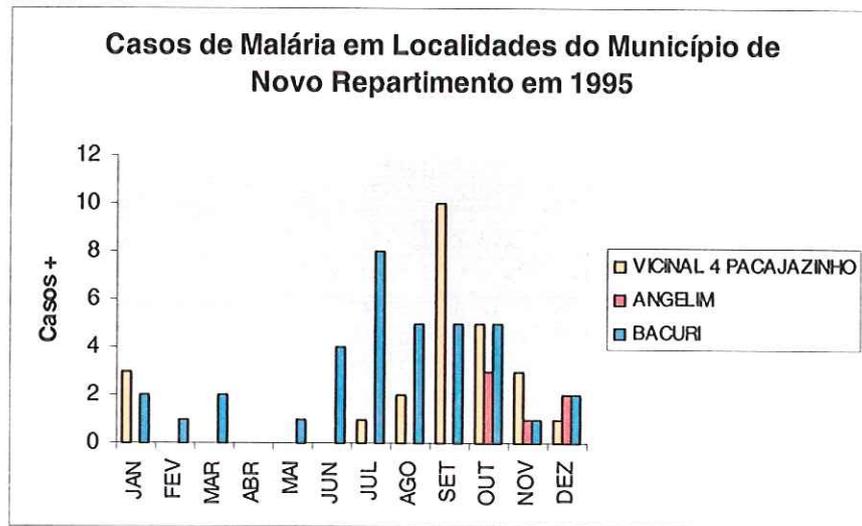


Figura 52 – Casos de malária em localidades do município de Novo Repartimento em 1995.

Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS).

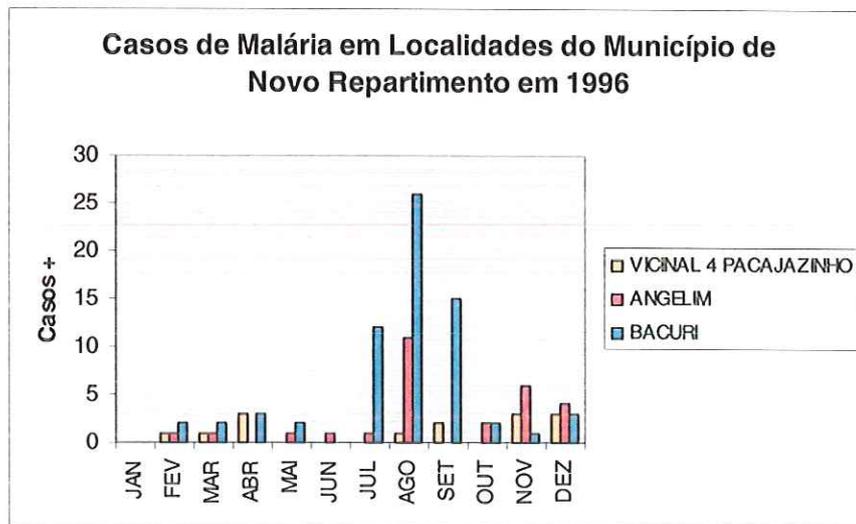


Figura 53 – Casos de malária em localidades do município de Novo Repartimento em 1996.

Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS).

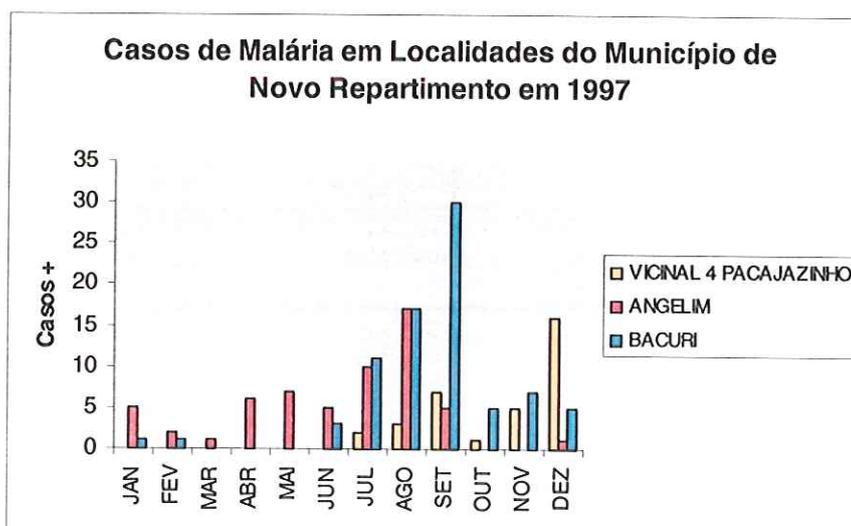


Figura 54 – Casos de malária em localidades do município de Novo Repartimento em 1997.

Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS).

Segundo dados do IBGE (2004), as principais atividades no município de Jacundá é a pecuária, com 50.000 cabeças de gado e a agricultura com o cultivo de lavouras temporárias como a do arroz (3.000 hectares); milho (1.600 hectares); mandioca (1.500 hectares); feijão (40 hectares) e culturas permanentes como banana, pimenta-do-reino, laranja, etc. A extração da madeira é realizada cada vez mais distante das áreas de serraria (próximas à cidade de Jacundá), pois este município já desmatou quase totalmente suas áreas de floresta.

O município de Tucuruí possui 36.330 cabeças de gado e as principais culturas são de arroz (3.000 hectares); milho (1.700 hectares); mandioca (320 hectares); feijão (200 hectares) e culturas permanentes como pimenta-do-reino, laranja, banana, côco-da-baía e urucum.

O município de Novo Repartimento é o que possui maior rebanho bovino, 120.870 cabeças de gado. É também o município que possui maior diversidade de culturas, apesar de não ser em quantidades expressivas, mas há o cultivo de cacau, chá-da-índia, café, maracujá, banana, laranja e pimenta-do-reino. Quanto às culturas temporárias, é o maior produtor de arroz, comparado aos outros dois municípios com 10.000 hectares de área cultivada, produzindo 15.000 toneladas por safra. Há também o cultivo do milho (5.000 hectares); feijão (500 hectares) e mandioca (100 hectares).

A tendência de maior número de casos de malária nos meses de seca, pode ser explicado pelo fato de que, neste mesmo período, se realiza a colheita das principais lavouras da região (arroz, milho e feijão). Um dos motivos para que esta atividade esteja relacionada ao aumento da malária, é que requer um aumento de trabalhadores no campo e estes, muitas vezes, permanecem durante alguns dias ou meses em habitações provisórias e precárias, ficando expostos aos vetores da doença. Na época de seca o reservatório encontra-se com cota máxima e isso altera o nível do lençol freático e dos igarapés da região. A consequência disso é o aumento de áreas propícias ao desenvolvimento de larvas dos mosquitos (áreas alagadiças nas partes mais baixas, nas proximidades de estradas, por exemplo). O reservatório permanece estabilizado com cota máxima por alguns meses e isso é bom para as larvas dos mosquitos, porque para que elas se desenvolvam, é necessário um criadouro estabilizado. Por ser o reservatório de padrão dendrítico, propicia a formação de plantas aquáticas em suas margens. Estas plantas funcionam como ótimos criadouros, pois protegem as larvas de predadores e reduzem a velocidade da água. Nos meses de chuva as comportas da usina são abertas e o reservatório se apresenta com cota mínima e com isso as plantas aquáticas que permanecem nas margens, entram em estado de senescência e morrem. Além disso, na época das chuvas há o aumento do material em suspensão, o que prejudica a manutenção dos criadouros dos mosquitos.

O período da seca coincide também com o período das férias escolares, o que acarreta o aumento de pessoas nas propriedades rurais. Outro fator é que nos meses de seca, as pessoas aproveitam para sair mais de casa que nos meses de chuva, ficando mais expostas aos transmissores da malária.

O município de Jacundá possui 40.546 residentes pelo censo do IBGE de 2000, sendo que 34.518 é de população urbana e 6.028 de população rural. Possui 22.898 pessoas alfabetizadas com mais de 10 anos de idade com taxa de alfabetização de 75%. Apenas 20,1% dos domicílios particulares permanentes possuem rede de água, enquanto os outros 80% utilizam poços, nascentes ou outras fontes de água. A falta de uma rede de abastecimento de água agrava o problema da malária, porque as pessoas constroem suas casas próximas às fontes de abastecimento tais como margens de rios e igarapés, o que as tornam mais

expostas aos mosquitos. Este município possui três hospitais, totalizando 74 leitos; cinco postos de saúde e nove unidades ambulatoriais, que prestam assistência a doentes com malária e outros problemas. O município de Tucuruí possui 73.798 residentes, distribuídos em 60.918 pessoas, na área urbana e 12.880, na área rural. Há 50.002 pessoas alfabetizadas com mais de 10 anos de idade, com taxa de 89,6. Possui praticamente 70% dos domicílios particulares permanentes, com rede geral de água; três hospitais com capacidade de 149 leitos; catorze unidades ambulatoriais; três postos de saúde e três centros de saúde.

A população total de Novo Repartimento é de 41.817, sendo que 15.124, na área urbana e 26.293, na área rural. Possui 21.039 pessoas com mais de 10 anos de idade alfabetizadas, com taxa de 70,8. A porcentagem dos domicílios permanentes, com rede geral de água, é de apenas 6,84%. É a porcentagem mais baixa entre os municípios estudados. Possui apenas 44 leitos hospitalares em um hospital, 12 unidades ambulatoriais e 9 postos de saúde.

O número de leitos por habitantes dos municípios analisados foi comparado ao número de leitos de municípios do Estado de São Paulo, que possuem a mesma faixa de população. Verificou-se que em Jacundá existe 548 hab./leito, enquanto que no município paulista, Espírito Santo do Pinhal, há 71,5 hab./leito. No caso de Novo Repartimento, a diferença é ainda maior, 950,95 hab./leito. Tucuruí foi comparado ao município de Matão que possui 71.753 habitantes e 410 hab./leito, enquanto que Tucuruí possui 495,3 hab./leito.

A malária é uma doença que está muito ligada aos problemas sociais. A falta de infra-estrutura dos serviços de abastecimento de água, a precariedade das habitações, aliados à grande mobilidade da população em áreas de risco, dificultam a atuação dos serviços de saúde para o controle e prevenção da malária. Segundo as características sócio-econômicas de cada município, o que apresenta situação mais precária é o de Novo Repartimento. O mais grave é a falta do serviço de abastecimento de água. É neste município também que está a maior área de plantação de arroz e rebanho bovino, sendo que nestas atividades as pessoas permanecem em áreas de risco, ficando desprotegidas dos ataques dos mosquitos. Além disso, a área inundada pelo reservatório corresponde a mais de 1.400 Km², considerada área de alto risco para se contrair a malária. Outro fator que acarreta

a maior incidência da malária nesse município é a presença da rodovia Transamazônica, principal eixo de circulação regional. Ao longo desta estrada a população se aglomera em povoados com péssima infra-estrutura e constroem suas casas próximas às áreas de floresta e igarapés.

Observa-se nas Figuras 55, 56 e 57 que os casos de malária continuam muito altos nos três municípios, nos anos de 2001 e 2002. O município de Novo Repartimento chegou a atingir mais de 4.000 casos em janeiro de 2002.

O principal motivo para continuar ocorrendo alta incidência de malária nesses municípios é a construção da segunda etapa da UHE de Tucuruí, devido ao aumento de trabalhadores na região, principalmente, migrantes. Para esta segunda etapa da obra, a cota do reservatório irá aumentar dois metros, causando o deslocamento de mais pessoas.

Os assentamentos do INCRA também podem estar relacionados ao aumento da malária nesses municípios. Geralmente são áreas de desmatamento recente, locais de alto risco para se contrair a malária porque logo que ocorre a retirada da mata, a população de algumas espécies de anofelinos se prolifera, aumentando as chances de ocorrer o contato com o homem. Segundo dados do INCRA, entre os anos de 98 e 2003, foram criados 20 assentamentos com capacidade para 1.820 pessoas, mas atualmente encontram-se assentadas 520. Em Tucuruí foram criados quatro assentamentos com capacidade para 270 pessoas e atualmente encontram-se assentadas 64 pessoas. O INCRA, como é o órgão responsável por esses assentamentos, deveria ter uma relação mais estreita com os órgãos de saúde. Logo que ocorresse a definição das áreas de assentamento e o início da colonização dos mesmos, a Fundação Nacional de Saúde deveria ser informada para implantar as medidas de controle.

Nos mesmos gráficos das Figuras 55, 56 e 57, observa-se que, nos meses de maior vazão do reservatório, a incidência de malária é reduzida. Neste período os criadouros tornam-se menos estáveis devido à velocidade da água, enquanto nos períodos de menor vazão, quando o reservatório se apresenta na cota máxima, os criadouros encontram-se mais propícios para o desenvolvimento das larvas dos mosquitos.

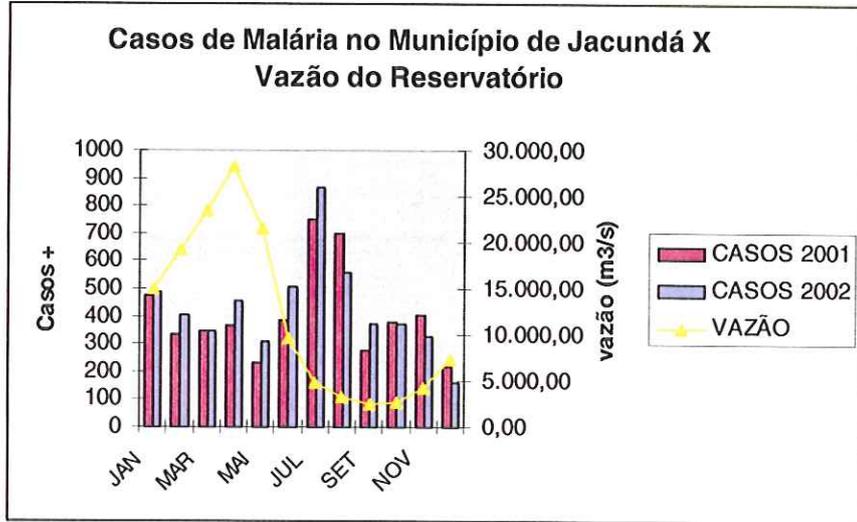


Figura 55 – Casos de malária no Município de Jacundá nos anos de 2001 e 2002 e a relação com a vazão do reservatório.

Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS) e ELETRONORTE.

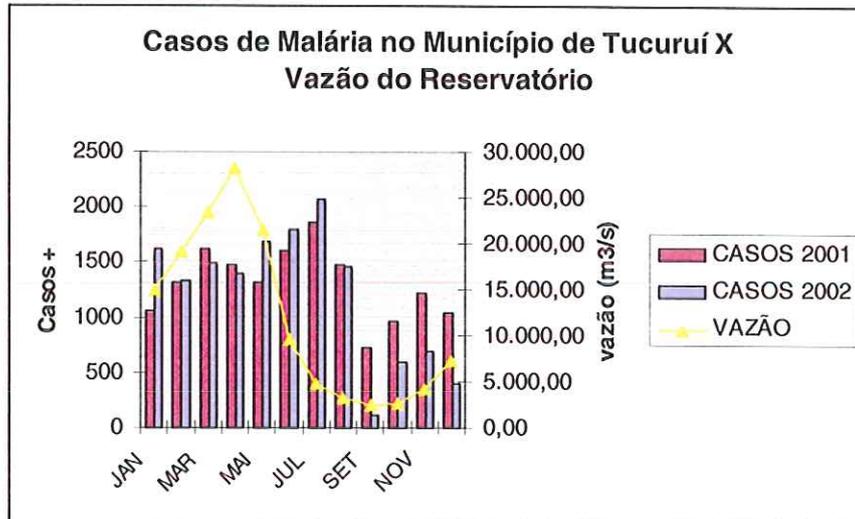


Figura 56 – Casos de malária no Município de Tucuruí nos anos de 2001 e 2002 e a relação com a vazão do reservatório

Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS) e ELETRONORTE.

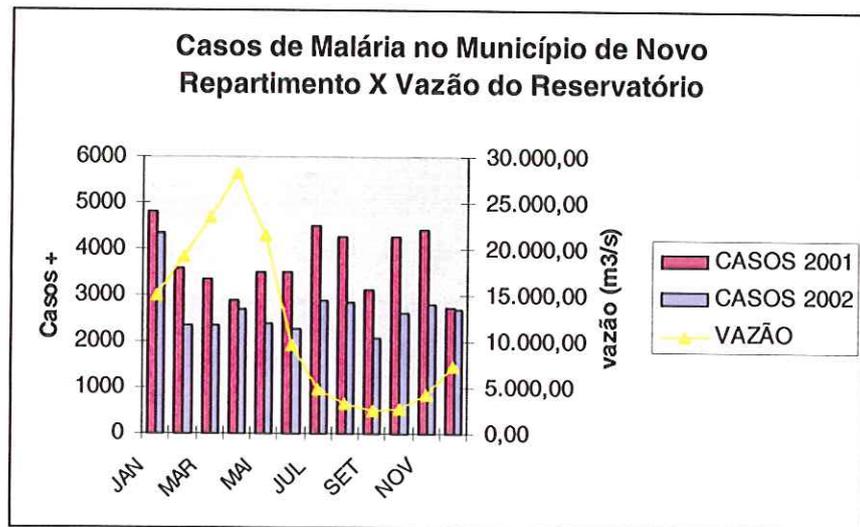


Figura 57 – Casos de malária no Município de Novo Repartimento nos anos de 2001 e 2002 e a relação com o reservatório

Fonte: Fundação Nacional de Saúde do Pará (FNS) e ELETRONORTE.

6.6 Avaliação dos Resultados Obtidos com o Uso da Técnica de Análise Espacial por Padrões de Pontos

O Estimador de Intensidade Kernel foi útil para fornecer uma visão geral da distribuição de primeira ordem dos eventos, ou seja, corresponde a variações no valor médio do processo no espaço (CÂMARA & CARVALHO, 2001). Observando a Figura 58, a superfície interpolada mostra um padrão de distribuição de pontos, nos municípios de Tucuruí e Novo Repartimento, com uma concentração no centro da área de estudo e outras três aglomerações, nas proximidades do reservatório.

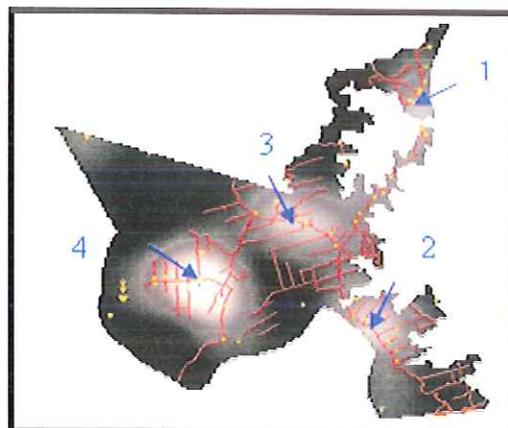


Figura 58 - Imagem gerada pelo estimador de intensidade Kernel nos municípios de Tucuruí e Novo Repartimento.

Esta distribuição pode ser explicada pelas características dessas áreas.

A aglomeração no ponto 1 pode estar relacionada à presença de um porto aí localizado, no qual se concentram pessoas vindas de vários locais para o comércio do peixe. Este fato, aliado à sua posição junto às margens do reservatório, torna o ponto 1 uma região de alto risco.

O ponto 2 é uma área em que a Transamazônica dá acesso a inúmeras estradas vicinais, onde existem pequenas propriedades rurais. Esta é uma área de reassentamento do INCRA, implantado na década de setenta quando o governo federal incentivou projetos de colonização e abertura de estradas na Amazônia. Com a construção da barragem, esta região ficou próxima aos braços do reservatório, onde ocorreu uma grande concentração de plantas aquáticas que servem como ótimos criadouros de mosquitos. Outro fator agravante é que na maioria das casas, as pessoas ficam expostas ao vetor pela precariedade das moradias (telhado de palha e parede de barro) e das estradas, dificultando o acesso aos postos de saúde.

A alta incidência no ponto 3 pode ser explicada pelos mesmos fatores do ponto 2, pois é uma área cortada por estradas vicinais e pela Transamazônica. Este é um importante fator, pois áreas próximas às estradas, geralmente, apresentam ocupação desordenada, agravada pela falta de infra-estrutura e segundo ALVES (2002), 90% do desmatamento da Amazônia, registrados no período de 91-97, estão concentrados a 100 Km das principais estradas dessa região.

O ponto 4, apesar de estar afastado do reservatório, apresentou alta incidência de malária. Nesta região está sendo implantado um reassentamento do INCRA. A ocupação recente pode ser um fator agravante, com o desmatamento e a construção de moradias próximas à mata, porque as pessoas ficam mais expostas ao mosquito. Além disso, a falta de infra-estrutura e a proximidade ao rio Pacajá fazem com que esta seja uma região de alto risco de se contrair a malária.

A Figura 59 mostra a imagem gerada pelo estimador de intensidade Kernel para o município de Jacundá. Observa-se que no centro da área é onde se encontra maior intensidade do evento. Durante o trabalho de campo foi observado que é uma região crítica, em relação à malária. Um dos motivos é a aglomeração de propriedades rurais com suas construções muito próximas às margens de dois

igarapés, do Urubu e de São Domingos. Nesta área existe um laticínio, fábrica artesanal de queijo, onde as pessoas trabalham desde o amanhecer até as primeiras horas da noite, horários de maior atividade dos vetores da malária. Este local fica a menos de 500 metros do igarapé, sendo considerada de alto risco.

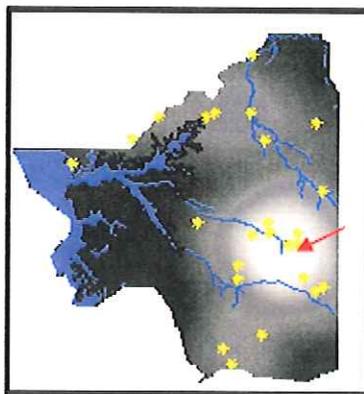


Figura 59 - Imagem gerada pelo estimador intensidade Kernel no município de Jacundá.

A análise espacial demonstrou ser uma boa ferramenta para os estudos epidemiológicos. Esta técnica é capaz de fornecer informações valiosas a respeito da distribuição das ocorrências estudadas, melhorando a avaliação dos dados. Foi possível verificar o padrão da distribuição de incidência de malária e perceber que há relação entre o risco de se contrair esta doença com o uso e ocupação da terra.

6.7 Avaliação dos Mapas de Distribuição de População Obtidos para os Municípios Estudados nos anos de 96 e 2001

As Figuras 60 a 65 mostram os mapas de distribuição da população nos municípios de Jacundá, Tucuruí e Novo Repartimento, nos anos de 96 e 2001. Pode ser observado que as áreas de alta probabilidade de concentração humana ocorreram nas margens das principais estradas, estando coerente com o que foi observado no campo e pelas imagens de satélite.

Em Jacundá (Figuras 60 e 61), a estrada mais importante é a PA-150 que corta todo o município de norte a sul, ligando Jacundá a Marabá, sendo esta pavimentada. Os principais igarapés também contribuíram para essa distribuição da população neste município. Foi observado que nos arredores da sede municipal ocorre a classe de "alta" concentração populacional, enquanto a classe "muito-baixa", corresponde às áreas de floresta. O único local com a classe "muito-alta"

foi a sede do município, onde se concentra a população urbana com 25.973 habitantes contra 13.553 da área rural (IBGE). Quando os resultados dos anos de 1996 e 2001 são comparados, observa-se que na área rural não ocorreram modificações significativas; mas, no entorno da área urbana, a alteração foi mais perceptível, pois aumentou a área ocupada pela classe "alta", aglomeração populacional. No período estudado ocorreu o êxodo rural segundo o censo do IBGE de 2000, pois na área rural em 1996 havia 13.553 habitantes. Essa população caiu para apenas 6.028 (44,4%) em 2001, enquanto a população urbana passou de 25.973 para 34.518, ou seja, um incremento de 32,8 % em apenas cinco anos.

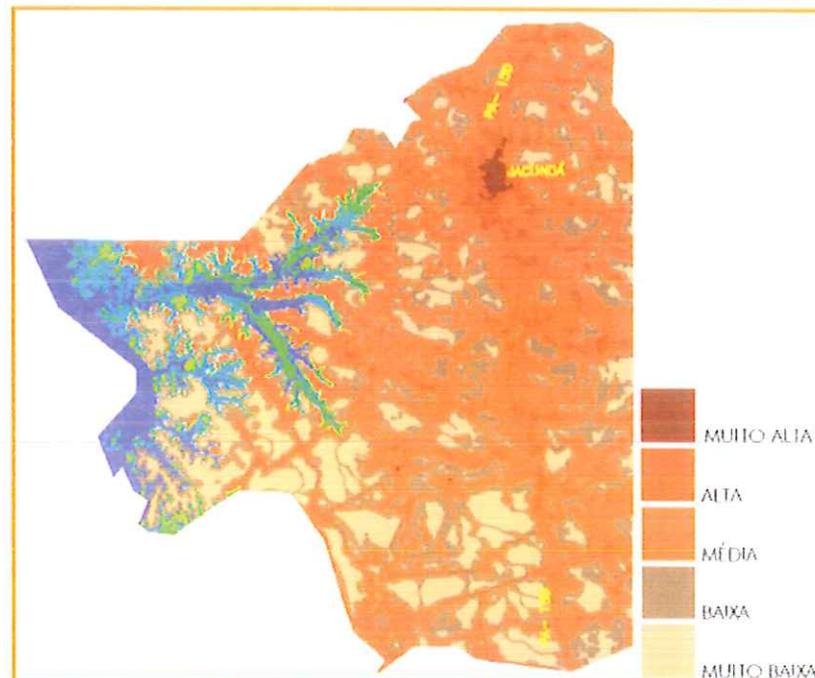


Figura 60 – Distribuição da população no município de Jacundá em 1996.

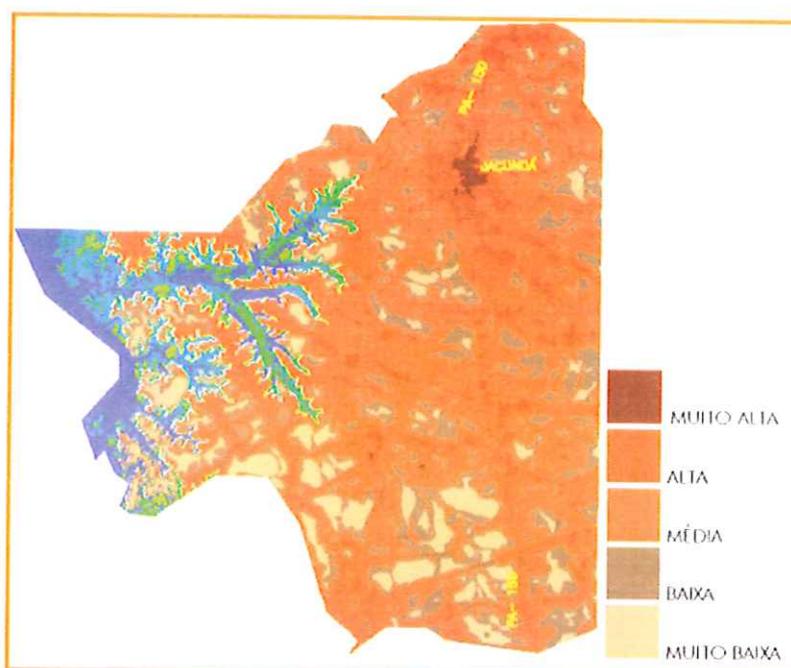


Figura 61 – Distribuição da população no município de Jacundá em 2001.

No município de Tucuruí (Figuras 62 e 63) foi observado que a classe “alta”, concentração de população, aumentou de 1996 para 2001. Isto ocorreu devido à abertura de novas estradas e à expansão urbana, como observado em Jacundá. Nota-se que, nos arredores da sede municipal, ocorreu uma expansão da classe “alta”, o que indica que há grande possibilidade de ser ocupada esta área. As classes “muito-alta”, “alta” e média tiveram um incremento em relação ao ano de 96, enquanto as classes “baixa” e “muito-baixa” foram reduzidas. Segundo o IBGE em 1996, residiam na área rural 10.707 habitantes e, em 2000, este número aumentou para 12.880 (20,3 %), diferente do que ocorreu em Jacundá.

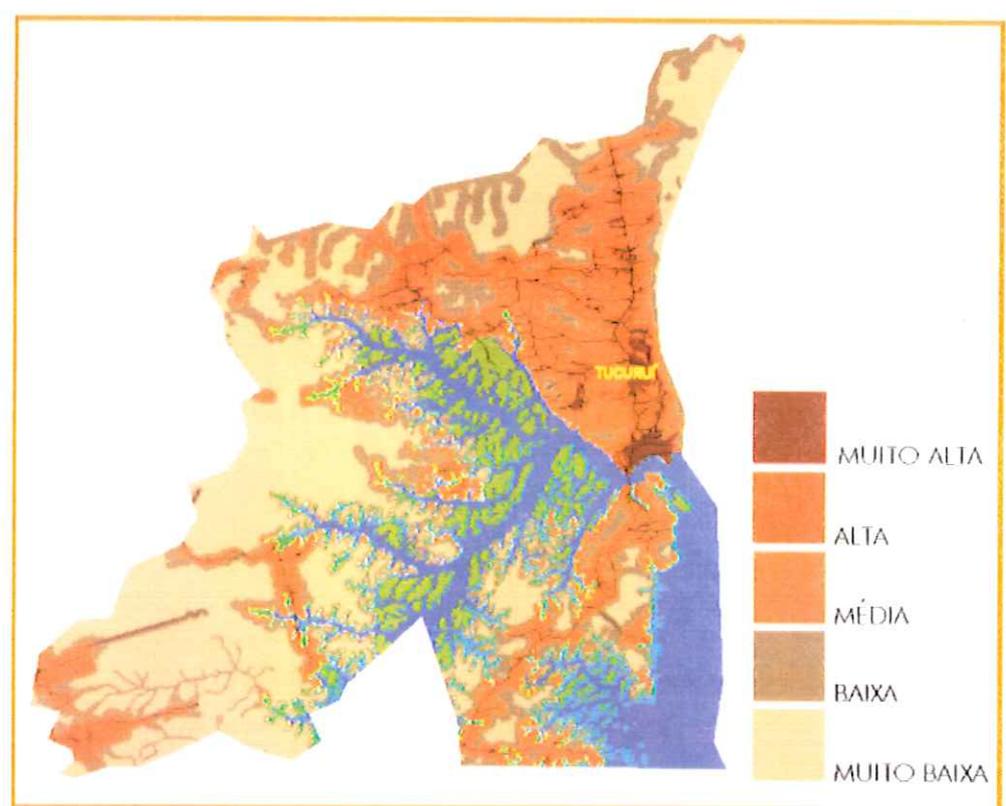


Figura 62 – Distribuição da população no município de Tucuruí em 1996.

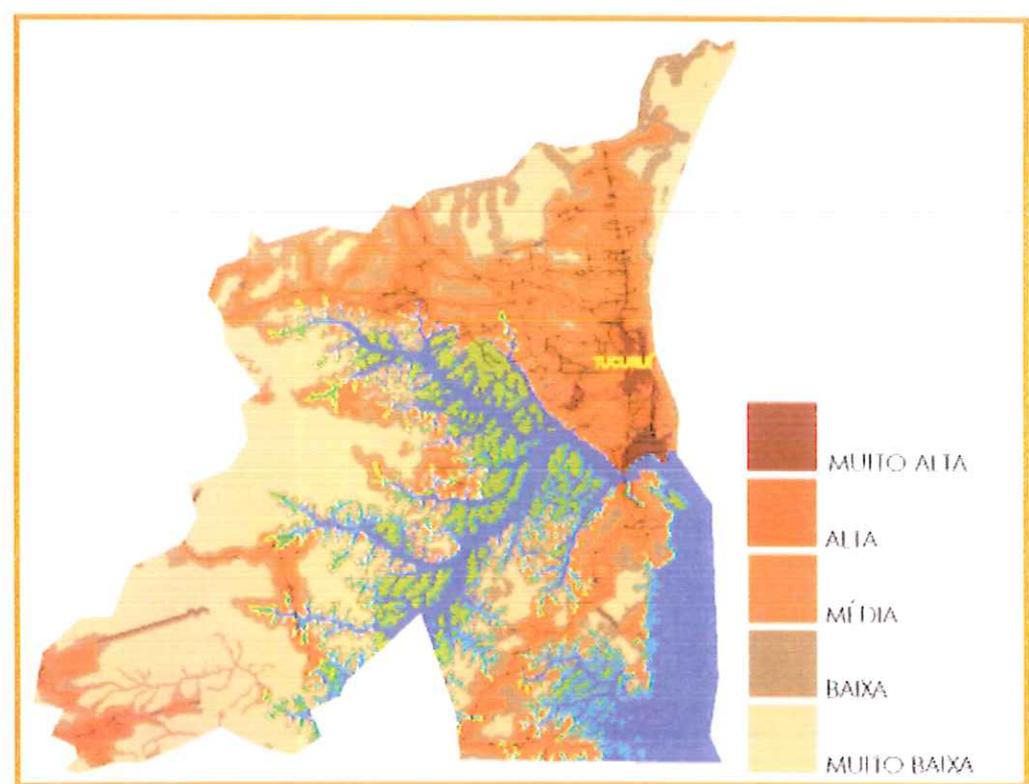


Figura 63 – Distribuição da população no município de Tucuruí em 2001.

Em Novo Repartimento (Figuras 64 e 65) as áreas propícias à ocupação humana estão situadas principalmente às margens das estradas. Nas margens dos

rios, a classe predominante foi a “baixa”, mas indicando que há a possibilidade de ser esta área ocupada por população ribeirinha. No ano de 96, no extremo oeste do município, havia menos alterações que no ano de 2001, as estradas e novos assentamentos foram abertos margeando o rio Pacajá. A metodologia utilizada para estimar a distribuição da população, nos municípios, proporcionou resultados interessantes que puderam ser validados com pontos coletados no campo. No município de Novo Repartimento, por exemplo, os vilarejos de Maracajá e São Vicente foram mapeados pela classe “alta”, indicando como sendo um local com alta possibilidade de haver concentração humana. A principal estrada que corta o município de Novo Repartimento é a Transamazônica, não pavimentada. Ao longo desta rodovia fixaram-se pequenos comércios e habitações, geralmente de instalações muito precárias. Foi mapeada uma área classe “média”, mas há tendência de aumento de desmatamentos nas margens da rodovia para dar lugar a vilarejos, principalmente se a pavimentação desta for completada. A Transamazônica liga a cidade de Novo Repartimento a Marabá, através pela qual, praticamente todos os produtos industrializados chegam a esta região.

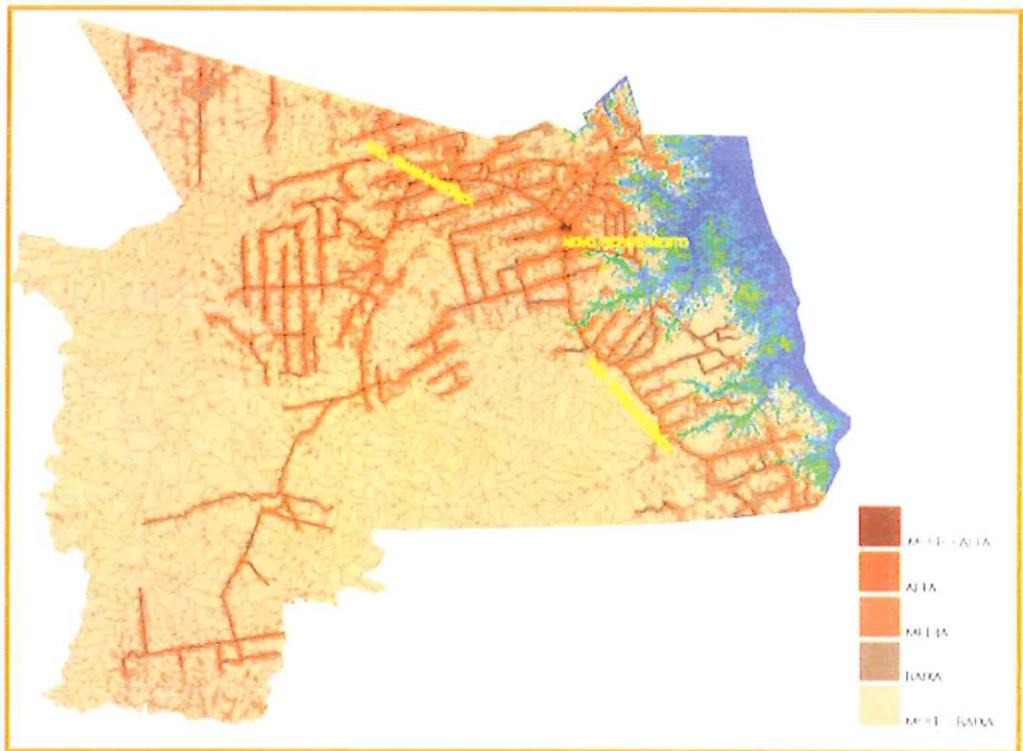


Figura 64 – Distribuição da população no município de Novo Repartimento em 1996.



Figura 65 - Distribuição da população no município de Novo Repartimento em 2001.

6.8 Avaliação dos Mapas de Risco de Malária dos Municípios de Jacundá, Novo Repartimento e Tucuruí para 1996 e 2001

Os mapas de risco de se contrair malária, estimados para os municípios de Jacundá, Tucuruí e Novo Repartimento encontram-se nas Figuras 66 a 72. Os mapas dos meses de abril, maio e agosto não apresentaram diferença significativa, porque a cota do reservatório e a área de ocupação por macrófitas praticamente não se alteraram nesse período. Por isso, serão discutidos e analisados os resultados dos mapas, no mês de abril, época em que a cota e vazão do reservatório apresentam valores máximos e no mês de dezembro, período em que esses parâmetros possuem valores mínimos. Os mapas, para cada município nos meses de abril e dezembro, para os anos de 1996 e 2001, encontram-se em anexo com as localidades georreferenciadas no campo.

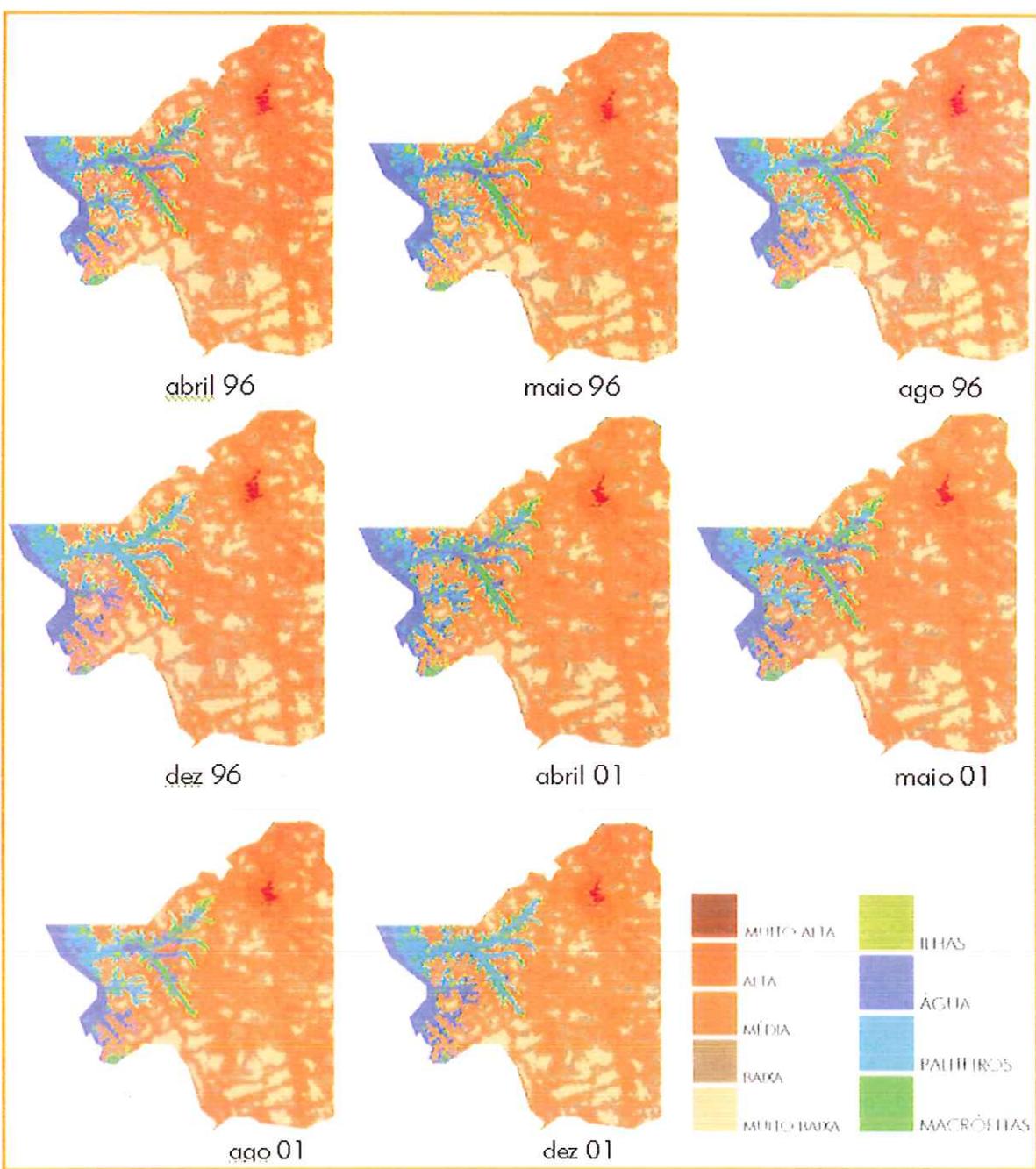


Figura 66 – Mapas de risco de malária estimados para o município de Jacundá nos meses de abril, maio, agosto e dezembro de 1996 e 2001.

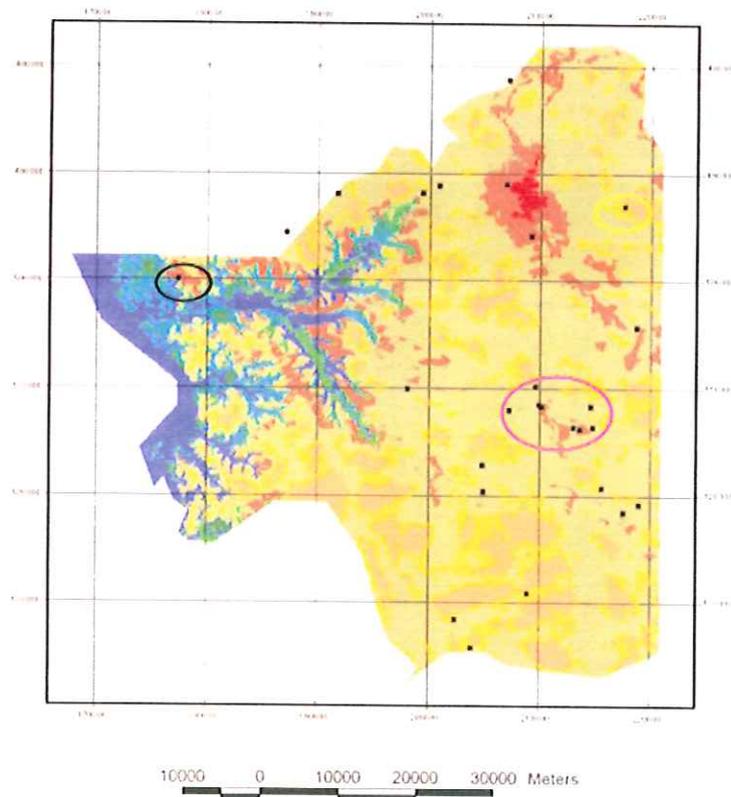


Figura 67 – Mapa de risco de malária estimado para o município de Jacundá com os pontos da FNS georreferenciados no campo.

Observa-se nos mapas das Figuras 66 e 67 que as áreas mapeadas em Jacundá como sendo de maior risco, não alteraram em relação aos meses analisados, mas de 1996 para 2001 foi observado um aumento principalmente no entorno da sede municipal, coincidindo com áreas de alta concentração populacional. Os pontos georreferenciados no campo são localidades onde ocorreram casos de malária nos últimos oito anos. Para Jacundá foram coletados 26 pontos. Adotou-se que cada ponto abranja uma área com raio de aproximadamente 1.500 m, considerando o alcance aproximado de raio de vôo dos mosquitos do gênero anopheles. Segundo estudos realizados com mosquitos adultos *Anopheles albimanus* em Belize por REJMANKOVA *et al.* (1995) foi observado que acima de 1.500 metros dos criadouros, a densidade dos mosquitos reduzia para $< 0,1$ mosquitos/humanos/min. Nesta pesquisa, realizada nos municípios do reservatório de Tucuruí, poder-se-ia considerar um raio ainda maior, devido à mobilidade da população, mas como seria um dado muito difícil de se obter, principalmente porque se altera muito de localidade para localidade, considerou-se apenas o raio de 1.500 m. De uma forma geral, os resultados foram

satisfatórios para os três municípios estudados. Em Jacundá, para 1996, oito pontos ficaram inseridos em áreas de alto risco e sete pontos, a menos de 1.500 metros dessas áreas, ou seja, 60% das localidades estão em áreas de alto risco ou sob influência delas. Outros dez pontos estão inseridos em áreas de médio risco e apenas um, em área de baixo risco. Os pontos que se encontram no extremo sul do município estão inseridos em áreas limítrofes de baixo e médio risco e foi observado que de 1997 até 2001, a FNS não registrou novos casos. Um erro ocorreu quando um ponto de alta incidência ficou inserido numa área de baixo risco, observe o círculo amarelo da Figura 67. Mas, existe também a possibilidade das pessoas desta localidade realizarem atividades comuns em áreas de risco e por isso apresentar alta incidência de malária. Em compensação, áreas com grande problema de malária foram detectadas como de alto risco. Na região do círculo lilás (Figura 67), funciona um laticínio às margens do igarapé São Domingos, onde foram registrados vários casos pela FNS, assim como em fazendas e sítios desta região. Outra localidade importante é a que se encontra marcada pelo círculo negro às margens do reservatório (Figura 67). Nesta localidade desde 1995, o IPA registrado indica como sendo uma área de alto risco, o que coincidiu com a classe do mapa de risco.

A classe alto risco reduziu de 83,75 Km², no mês de abril, para 80,1 Km², no mês de dezembro. Essa diferença ocorreu devido à redução das macrófitas nesta época do ano, mas apenas no entorno do reservatório.

Nos mapas gerados para 2001 (Figura 66) foi observado que a área de alto risco aumentou de 83,75 Km² em abril de 96 para 161 Km² em abril de 2001, devido a abertura de novas estradas, desmatamento e a expansão urbana, provocando problemas na periferia da cidade. A diferença de 96 para 2001, em relação às localidades e áreas mapeadas, é que aumentou o número de pontos inseridos em áreas de alto risco. Em 2001 foram dez pontos inseridos em áreas de alto risco e cinco, a menos de 1.500 metros dessas áreas.

Nas Figuras 68 e 69, encontram-se os mapas de risco para o município de Tucuruí. Para este município foram visitadas 22 localidades cujos resultados confirmam os mapas gerados. Nos dois anos estudados, 21 localidades estão inseridas em áreas de alto risco, sendo que uma é ilha do reservatório, utilizada

como base de pesquisa da Eletronorte, onde foram verificados casos de malária nos últimos cinco anos. O único ponto que está inserido em área de baixo risco, encontra-se a menos de 1.500 metros de áreas de alto risco (Figura 69, círculo amarelo). Apesar de não terem sido detectados casos de malária nesta localidade, os agentes de saúde devem freqüentemente analisar amostras de sangue dos habitantes deste local, devido à proximidade das áreas de alto risco.

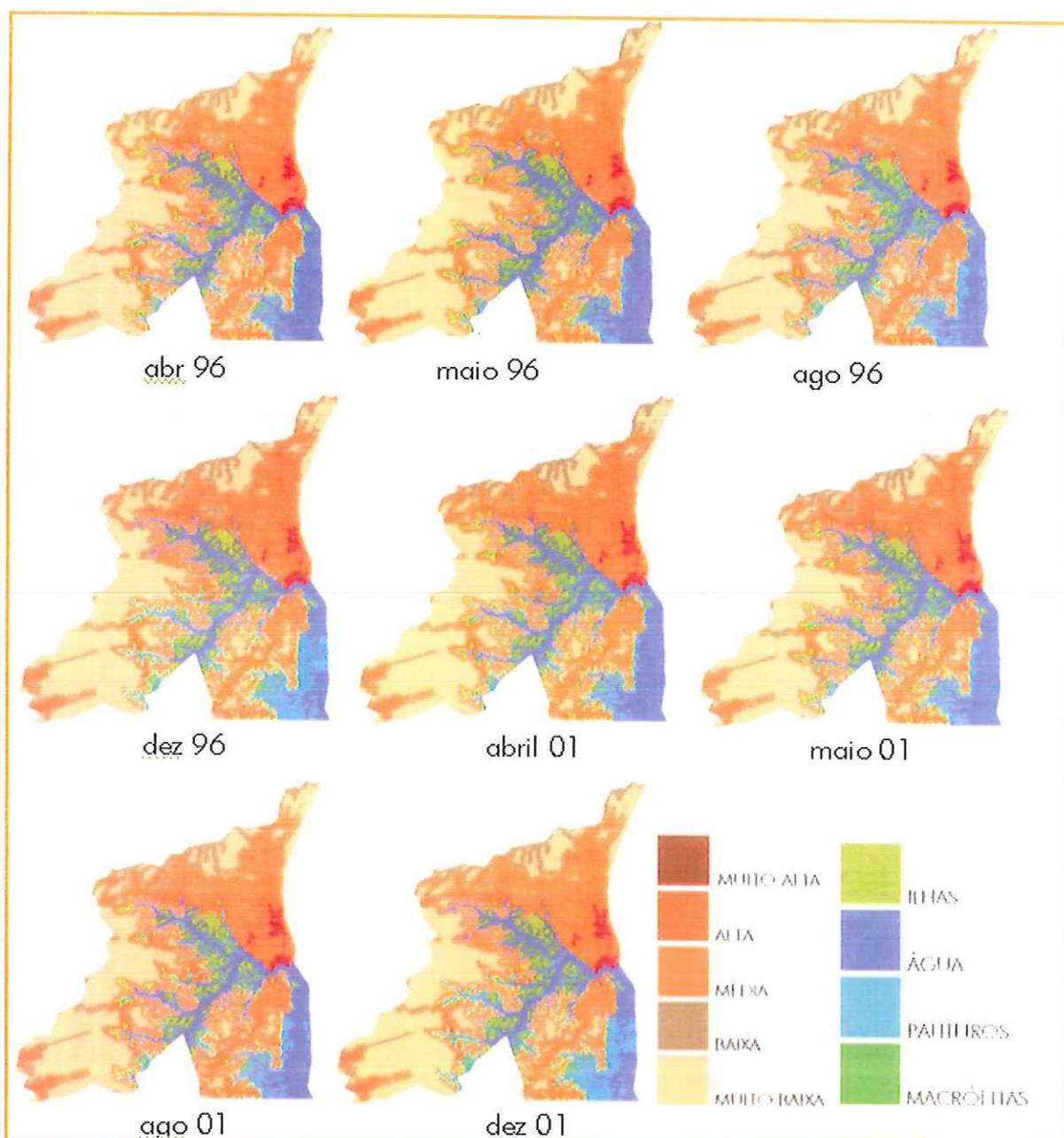


Figura 68 – Mapas de risco de malária estimados para o município de Tucuruí nos meses de abril, maio, agosto e dezembro de 1996 e 2001.

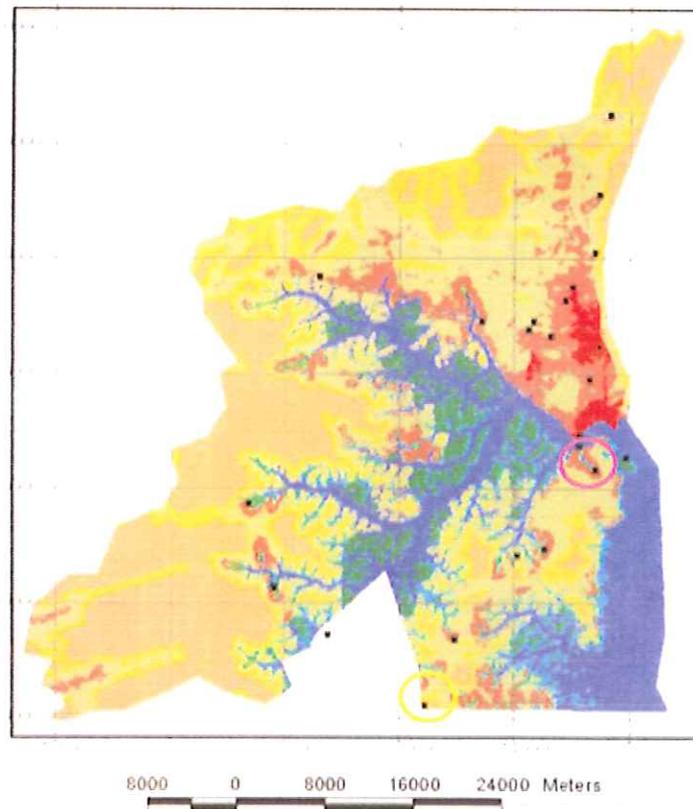


Figura 69 – Mapa de risco de malária estimado para o município de Tucuruí com os pontos da FNS georreferenciados no campo.

A localidade que está no círculo lilás da Figura 69 é um povoado (Travessia do Onze) que se encontra muito próximo ao reservatório e apresenta grandes problemas com malária e falta de infra-estrutura, não possuindo água encanada ou rede de esgoto. Apesar de ter verificado no campo esses problemas por meio de entrevista com os habitantes, a FNS só detectou malária, nesta localidade, no ano de 1993, sendo que o trabalho de campo foi realizado em 2001.

Na Figura 69 pode-se observar que a maioria das localidades se encontra às margens do reservatório e todas, em áreas de alto risco, pois os meandros dos braços do reservatório propiciam a proliferação de macrófitas, que são ótimos criadouros de mosquitos. No mês de dezembro, com a redução da cota do reservatório, as macrófitas senescem e morrem, reduzindo as áreas de alto risco. Outro motivo é que a população costuma atear fogo na vegetação morta e isso evita o surgimento de novos criadouros. Em abril de 2001, as áreas de alto risco ocupavam 181,09 Km² e, em dezembro, passou para 168 Km².

Os mapas gerados para o município de Novo Repartimento (Figuras 70 e 71) também foram coerentes com os dados de campo. Para este município foram georreferenciadas 65 localidades. Ao analisar os mapas para o ano de 1996, 37% dos pontos estão inseridos em áreas de alto risco ou a menos de 1.500 metros dessas áreas. Nas áreas de médio risco estão 49,2% das localidades; 12,3% em áreas de baixo ou muito baixo risco. A porcentagem de 12,3% dos pontos, em áreas não alteradas, ocorreu porque o trabalho de campo foi realizado em 2001 e, no período entre 96 e 2001, novas áreas foram desmatadas para a abertura de estradas e assentamentos. Ao observar os mapas da Figura 70 e a área marcada pelo círculo lilás da Figura 72, pode-se observar que vários pontos antes, em áreas de baixo risco, se encontram em áreas de médio e alto risco. Tanto que em 2001, 55,4% das localidades passaram a ser classificadas como de alto risco, 26%, em área de médio risco e apenas 4,6%, em área de baixo risco.

Na Figura 72, as localidades que se encontram no círculo amarelo estão em áreas mapeadas como de médio risco, por estarem a mais de 1.500 metros de áreas de alto risco. Mas são localidades das vicinias próximas à rodovia Transamazônica com altos valores de IPA e, de acordo com entrevistas realizadas no campo com a população, apesar de estarem a cerca de 10 Km do reservatório, é muito comum essas pessoas trabalharem nas áreas mais próximas dele, o que aumenta o risco de adquirir a malária.

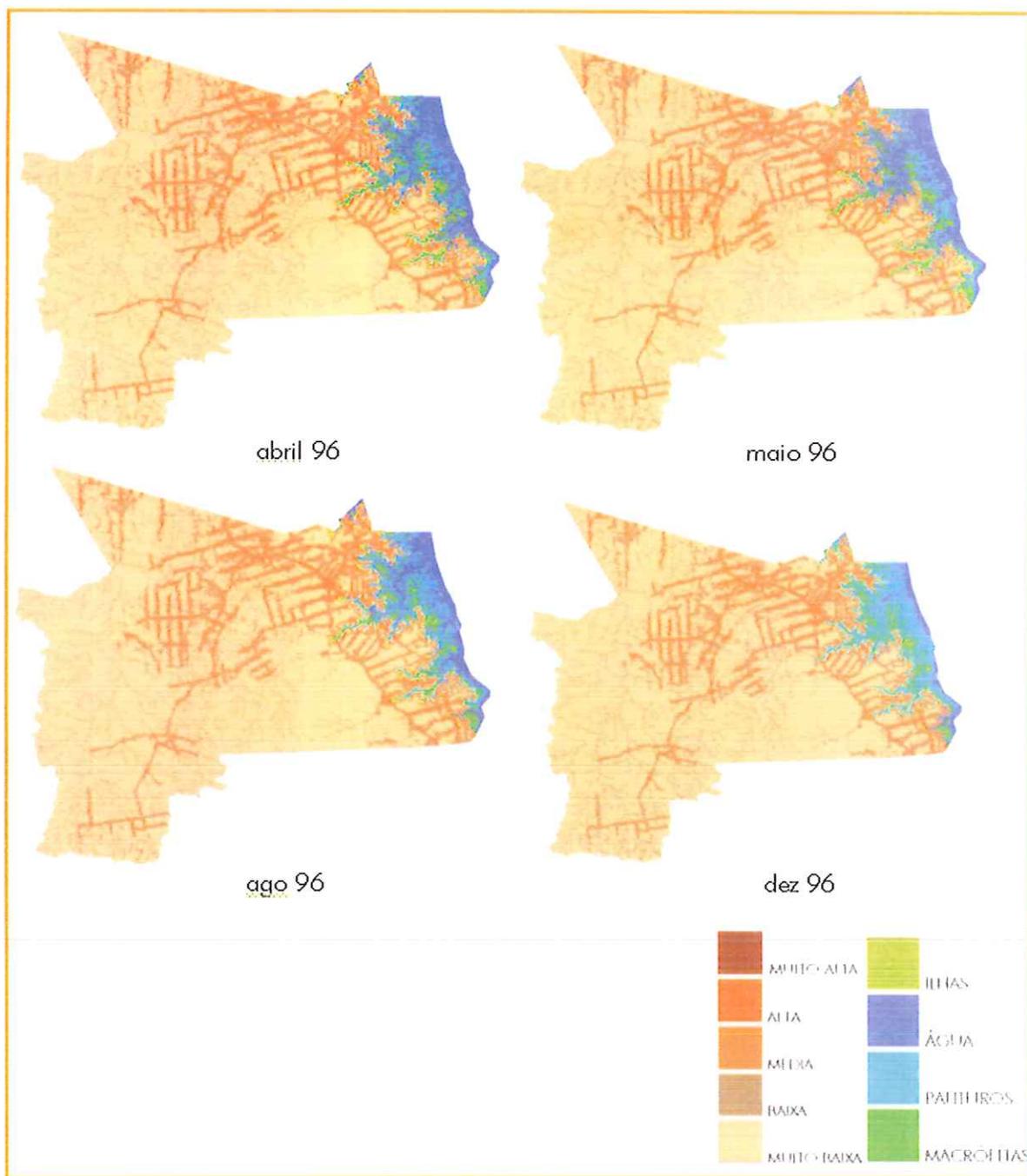


Figura 70 – Mapas de risco de malária estimados para o município de Novo Repartimento nos meses de abril, maio, agosto e dezembro de 1996.

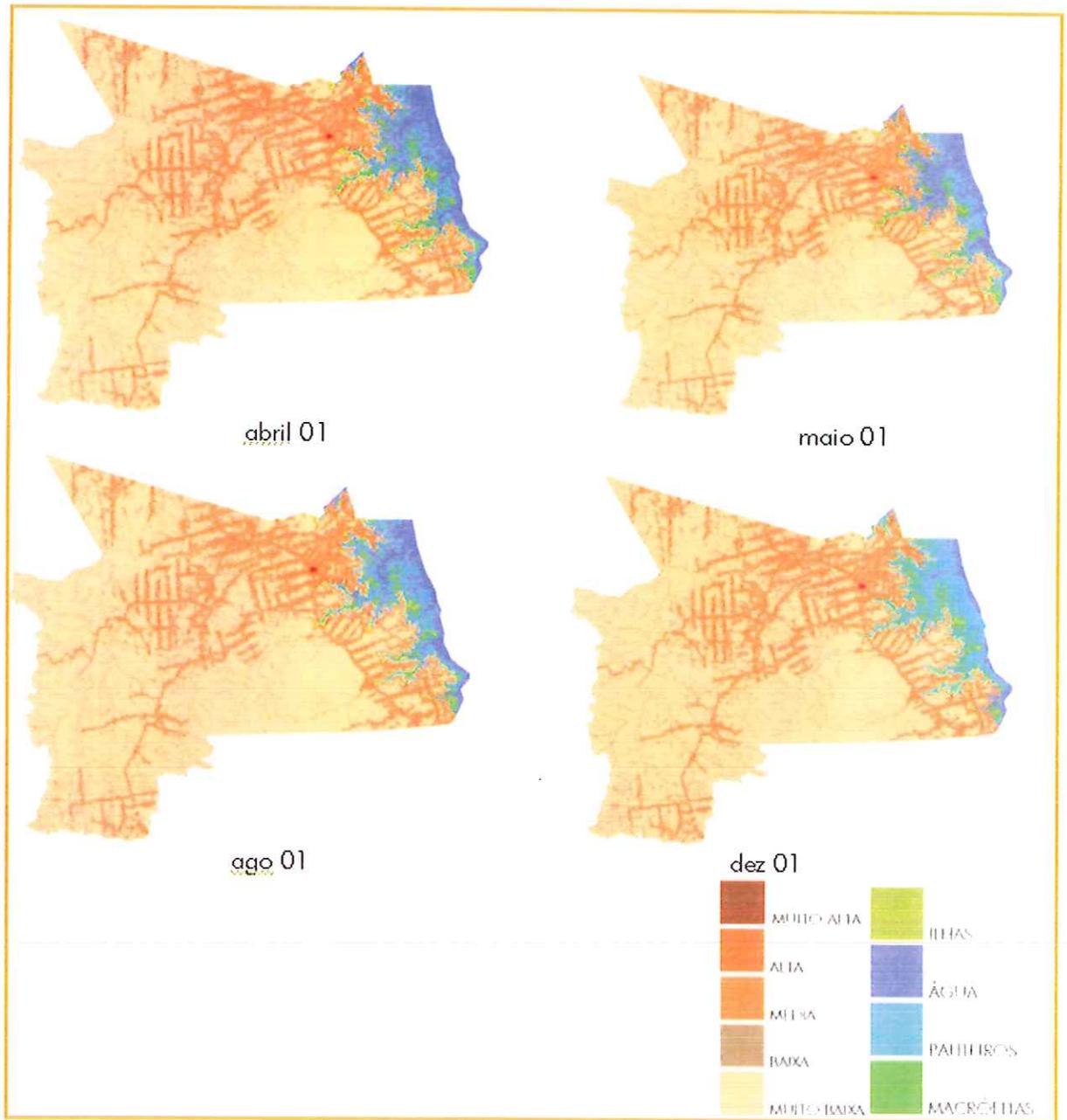


Figura 71 – Mapas de risco de malária estimados para o município de Novo Repartimento nos meses de abril, maio, agosto e dezembro de 2001.

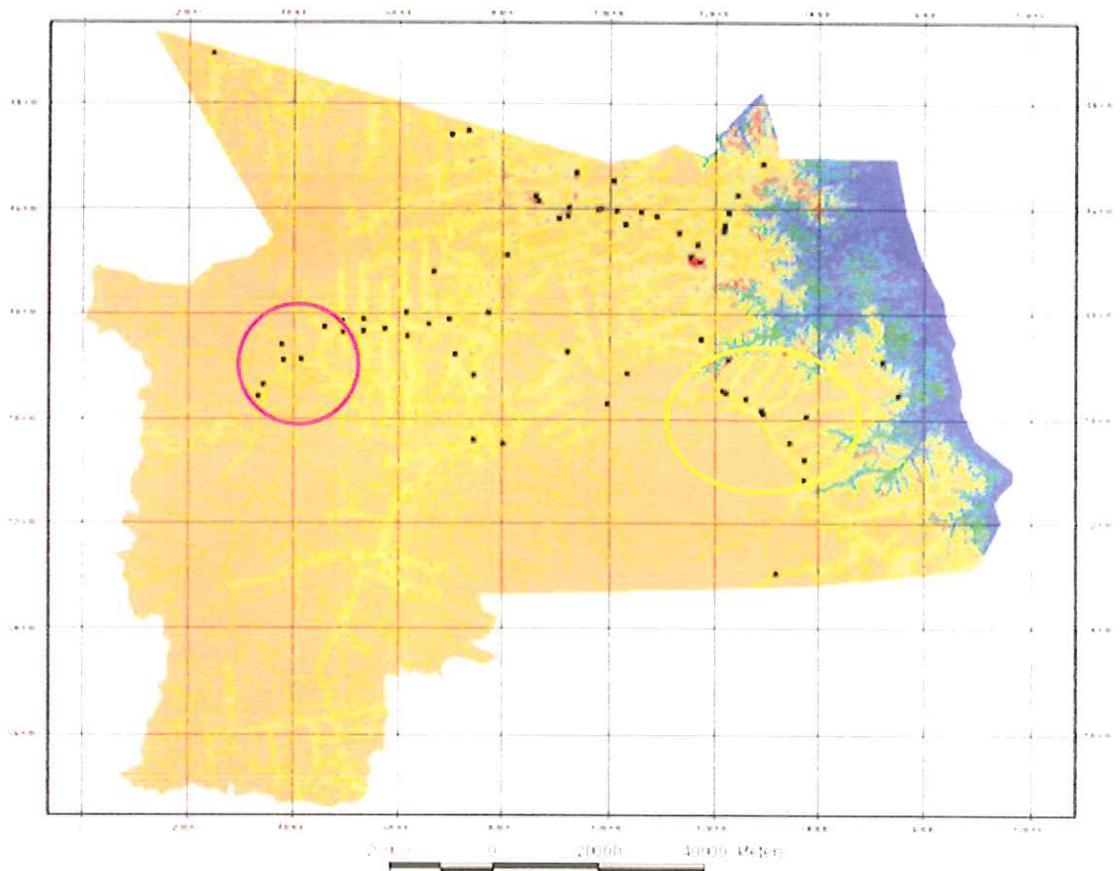


Figura 72 – Mapa de risco de malária estimado para o município de Novo Repartimento com os pontos da FNS georreferenciados no campo.

No gráfico da Figura 73, encontram-se os valores médios de IPA (Índice Parasitário Anual) para as localidades dos três municípios, no período de 1993 a 2001. Observa-se que, para o município de Novo Repartimento, os índices alcançam valores muito elevados de IPA, acima de 1.600. Mesmo os outros municípios possuem índices acima de 59, que é o valor estipulado pelos órgãos de saúde para classificar como áreas de alto risco. Pode-se observar também que os valores de IPA aumentaram principalmente a partir de 97 em Novo Repartimento e 99 em Tucuruí. Isso pode estar relacionado com a construção da segunda etapa da usina hidrelétrica de Tucuruí.

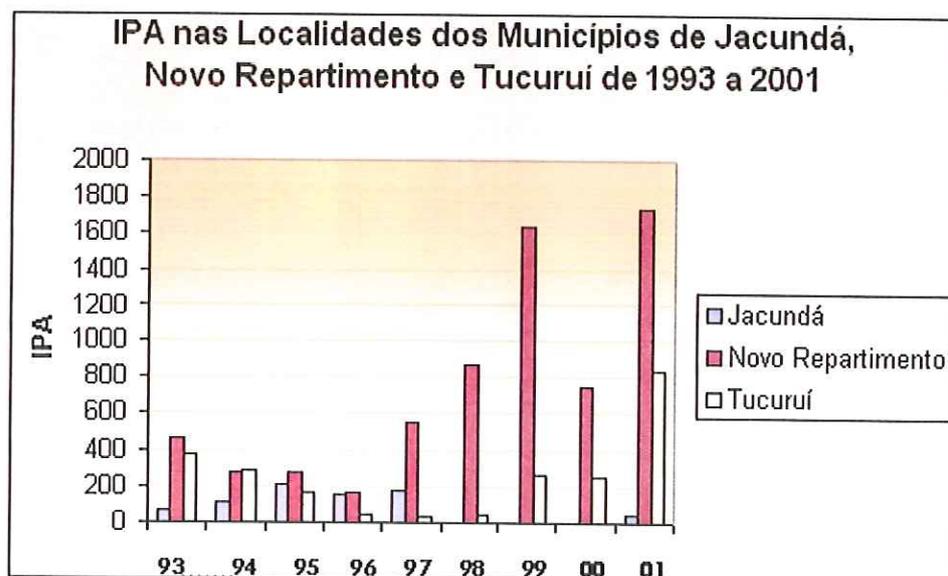


Figura 73 – IPA médio para as localidades dos municípios de Jacundá, Novo Repartimento e Tucuquí no período de 93 a 2001.

No gráfico da Figura 74, observa-se a distribuição temporal dos Índices Parasitários Anuais (IPAs) para os municípios estudados. Mostra ainda que a tendência nesta área é de aumento de casos de malária, principalmente, no município de Novo Repartimento e Tucuquí. Isto reforça a idéia de que é extremamente importante estudos como estes, realizados neste trabalho, porque onde um dos enfoques é gerar mapas de risco para agilizar e direcionar os trabalhos dos órgãos de saúde no controle da malária. O município de Novo Repartimento, dentre os estudados, é o que possui infra-estrutura mais precária, maior contato com áreas alagadas pelo reservatório de Tucuquí e maior índice de desmatamento. No município de Tucuquí, o aumento ocorreu a partir de 99, devido às alterações causadas pela segunda etapa da construção da usina hidrelétrica. Apenas no município de Jacundá, a malária está mais estabilizada e a tendência é de redução do IPA. Isso se deve ao fato de ser um município onde a área rural possui melhor infra-estrutura, como por exemplo: maior facilidade de acesso à cidade; boa atuação dos agentes de saúde na distribuição de medicamentos e prevenção da malária.

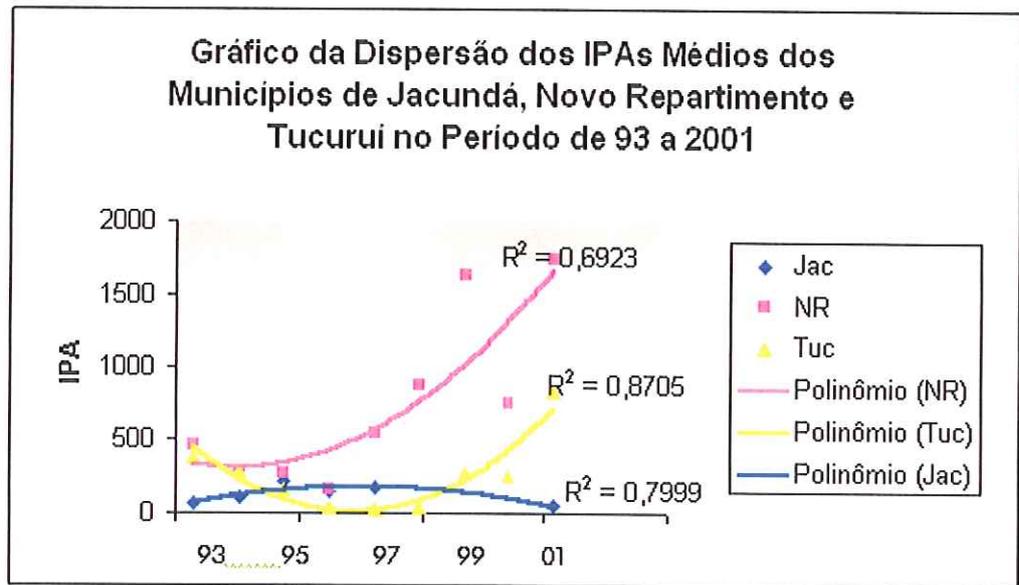


Figura 74 – Dispersão dos valores de IPA dos municípios de Jacundá, Novo Repartimento e Tucuruí no período de 93 a 2001.

7 CONCLUSÕES

- ❖ Foram obtidos bons resultados com a utilização de imagens orbitais do satélite LANDSAT5-TM para mapear alterações de uso do solo para os anos de 1996 e 2001, sendo este um dado importante, pois a malária está relacionada com as alterações ambientais. Foi possível contabilizar para cada município a área desmatada nesse período.
- ❖ A falta de imagens LANDSAT –TM sem cobertura de nuvem, no período das chuvas, foi solucionada com o uso de imagens RADARSAT para mapear o reservatório de Tucuruí nos meses de chuva. A utilização da composição das imagens ópticas do sensor TM e de imagens de microondas permitiu com que as macrófitas e os paliteiros fossem mapeados com maior precisão.
- ❖ A distribuição da malária na região está relacionada com os padrões de ocupação da terra, induzidos pela implantação da hidrelétrica. Os elevados índices de desmatamento, abertura de estradas e de migração causaram maior incidência dessa doença. Com a implantação do reservatório no início da década de 80, ocorreu um aumento extraordinário de casos de malária e dos índices parasitários (IPA) nos municípios de Tucuruí e Jacundá, devido às alterações ambientais citadas anteriormente e ao aumento dos habitats dos mosquitos vetores. Os municípios de Novo Repartimento e Tucuruí possuem boa parte de suas áreas em contato com áreas alagadas pelo reservatório e apresentaram os maiores problemas com esta doença.
- ❖ A variação temporal da malária na região de estudo está relacionada com a operação do reservatório, com a precipitação e com a dinâmica da população humana. Foi verificado, que os meses de seca, quando o reservatório apresenta menor vazão e cota máxima, coincidem com os períodos de maiores ocorrências de malária. Nesses períodos as margens do

reservatório se encontram mais estáveis, o que favorece o estabelecimento dos criadouros de mosquitos. Outro motivo que contribui para o aumento da malária nesse período é que ele coincide com a colheita das principais culturas da região e com o período de férias escolares, o que causa um aumento da mobilidade das pessoas em áreas de risco.

- ❖ Imagens de satélite e SIG permitiram criar mapas de risco de se adquirir malária. Esses mapas indicaram que nos locais onde há maior proximidade do reservatório e que apresentam bancos de macrófitas, o risco é maior. Nos meses de abril a agosto, quando ainda não ocorreram alterações consideráveis no nível da água, não há modificações importantes nos mapas de risco, mas em relação ao mês de dezembro, há uma redução dessas áreas devido ao desaparecimento das macrófitas. Outro fator importante observado é que as localidades próximas ao reservatório apresentaram os maiores valores de IPA.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho permitiu, ainda, considerar:

Que os dados inseridos do banco utilizado nessa pesquisa podem ser utilizados em conjunto com outras variáveis para buscar o aprimoramento dos resultados aqui obtidos. Em relação aos mapas de população humana gerados nessa pesquisa, uma próxima investigação relevante seria o seu cotejo com informações coletadas por setores censitários.

A metodologia utilizada para gerar os mapas de risco de malária nos três municípios estudados, pode ser facilmente aplicada a outros municípios da região amazônica. Para projetos futuros, seria interessante levantar dados entomológicos, coletar mosquitos em toda a área de estudo para verificar, realmente, qual a dinâmica da população dos vetores nessa área e sua relação com o ambiente.

Seria relevante realizar estudos comparativos da área pesquisada neste trabalho com outras áreas da Amazônia onde ocorreram desmatamentos devido a abertura de estradas ou garimpos, mas que não apresente interferência de um grande reservatório. O objetivo seria comparar as diferenças no comportamento da população humana e dos mosquitos e se há modificações temporais da distribuição da malária numa região sem o reservatório. Outro estudo importante seria comparar a região de Tucuçuí, onde o reservatório é artificial, com uma região sob influência de um lago natural, também na Amazônia, mas sendo uma área relativamente preservada, sem a implantação de um grande projeto. O objetivo seria também estudar o comportamento e interações da população humana e dos mosquitos com o ambiente para melhor entender as variações da malária na Amazônia brasileira.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, D.S. (2002). Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazônia. *International Journal of Remote Sensing*, London, v.23, n.14, p. 2903-08.
- ALVES, D.S. et al. (1998). Análise comparativa de técnicas de classificação de imagens do sensor Landsat-TM para caracterização de áreas desflorestadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. *Anais...* Santos: INPE/SELP. 1 CD-ROM.
- BAILEY, T.; GATRELL, A.C. (1995). *A Interactive spatial data analysis*. London: Longman Scientific and Technical.
- BARBOSA, C.F. (1999). *Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento*. 157p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.
- BARBOSA, C.F. et al. (2000). Mapping amazon basin wetlands through region growing segmentation and segmented – based classification JERS-1 data. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 11., 2000, Puerto Iguazu. *Anais...* Puerto Iguazu: SELPER. 1 CD-ROM.
- BARROS, M. (1996). A Questão da saúde na Amazônia. In: PAVAN, C. (Coord.). *Uma Estratégia latino-americana para a Amazônia*. São Paulo: Fundação Memorial da América Latina. v.2, 382p.
- BARROW, C.J. (1987). The Environmental impacts of the Tucuruí dam on the middle and lower Tocantins river basin, Brazil. *Regulated Rivers*, Chichester, v.1, p. 49-60.
- BECKER, B.K. (1990). *Amazônia*. São Paulo: Ática.

- BECK, L.R. et al. (1992). Estimating high mosquito – producing rice fields using spectral and spatial data. *International Journal of Remote Sensing*, London, v.13, n.15, p. 2813-2826.
- BECK, L.R. et al. (1994). Remote sensing as a landscape epidemiological tool to identify villages at high risk for malaria. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, Baltimore, v.51, n.3, p. 271-280.
- BONHAM-CARTER, G.F. (1996). *Geographical information systems for geoscientists: modelling with GIS*. New York: Computer Methods in the geosciences. v.13.
- BUSTAMANTE, A.M.V.; AVEDAÑO, J.L.G. (1999). Zonas de riesgo de inundación entre Santiago y Rancagua, Chile. In: SIMPÓSIO FINAL GLOBESAR2, APLICACIONES DE RADARSAT EN AMÉRICA LATINA, 5., 1999, Buenos Aires. *Anais...* Ottawa: CCRS. p. 166-170.
- CÂMARA, G. (1995). *Modelos, linguagens e arquiteturas para banco de dados geográficos*. 265p. Tese (Doutorado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995.
- CÂMARA, G. & CARVALHO, M.S. (2001). *Análise espacial de eventos*. In: ANÁLISE ESPACIAL DE DADOS GEOGRÁFICOS. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br>>. Acesso em: 5 ago. 2001.
- CÂMARA, G. et al. (2001). *Álgebra de mapas*. In: INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DA GEOINFORMAÇÃO. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br>>. Acesso em: 1 mar. 2004.
- CASTRO, M.C. (1993). *A Hidrelétrica de Tucuruí e a contestação das populações atingidas: possibilidades e limites à promoção de um desenvolvimento sustentável*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"; Universidade de São Paulo. Relatório de Pesquisa.
- CCRS – CANADA CENTRE OF REMOTE SENSING (2004). Disponível em: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/>>. Acesso em: 17 Maio 2004.
- CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (2000). *Disease information: rift valley fever*. Disponível em:

<<http://www.cdc.gov/ncidod/dvrd/spb/mnpages/dispages/rvt.htm>>. Acesso em: 16 Fev. 2000.

CICLO DO P. vivax (2003). Disponível em: <<http://caibco.ucv.ve/MALARIA/ciclode.htm>>. Acesso em 7 mai. 2003.

CLINE, B.L. (1970). New eyes for epidemiologists, aerial photography and other remote sensing techniques. *American Journal of Epidemiology*, Baltimore, v.92, p.85-89.

COCHRANE, M.A. et al. (2002). Investigating positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. In: *DEFORESTATION AND LAND USE IN THE AMAZON*. Florida: University Press Florida.

CONSELHO NACIONAL DE SECRETÁRIOS MUNICIPAIS DE SAÚDE (1999). *Sistema de informação geográfica e a gestão da saúde no município*. Disponível em: <<http://www.fiocruz.br/sig>>. Acesso em: 7 Abr. 2001.

CONSOLIM, J.; GALVÃO, J.T. (1973). Sobre os anofelinos do rio Paraná: densidade e regime do rio. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, Curitiba, v.2, n. 216, p. 174-181.

COSTA, M.P.F. et al. (1998). Classification of floodplain habitats (Lago Grande, Brazilian Amazon) with RADARSAT and JERS1 data. In: *GEOMATICS IN THE ERA OF RADARSAT INTERNATIONAL CONFERENCE, 1997*, Ottawa. *Proceedings...* Ottawa: CCRS. p. 169.

COSTA, M.P.F. et al. (1998). The Amazon floodplain through eyes: Lago Grande de Monte Alegre case study. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Ottawa, v.24, n.4, p.329-349.

CREPANI, E. et al. (2002). Sensoriamento remoto e geoprocessamento no planejamento regional da cobertura e uso atual da terra. *Geografia*, Rio Claro, v. 27, n.1, p.119-135.

CROSS, E.R.; NEWCOMB, W.W.; TUCKER, C.J. (1996). Use of weather data and remote sensing to predict the geographic and seasonal distribution of *Phlebotomus papatasi* in southwest Asia. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, Baltimore, v.54, n.5, p.530-536.

- CRÓSTA, A.P. (1992). *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas: UNICAMP.
- DALE, P.E.R. et al. (1998). An Overview of remote sensing and GIS for surveillance of mosquito vector habitats and risk assessment. *Journal of Vector Ecology*, Santa Ana, v.23, n.1, p.54-61.
- DAMIÃO, D.P.; MÁXIMO, A.O. (1997). *Elementos de imageamento por radar*. São José dos Campos: Centro Técnico Aeroespacial de Estudos Avançados.
- DATASUS (2004). Malária: Incidência Parasitária Anual. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/ibd1997/morb/fqd0205.htm>>. Acesso em: 17 fev. 2004.
- DEANE, L.M. (1988). Malaria studies and control in Brazil. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, Baltimore, v.38, n.2, p.223-230.
- DISTER, S.W. et al. (1997). Landscape characterization of peridomestic risk for Lyme disease using satellite imagery. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, Baltimore, v.57, n.6, p.687-692.
- ELETRONORTE -Centrais Elétricas do Norte do Brasil (1986). *Livro branco: sobre o meio ambiente na usina hidrelétrica Tucuruí*. Brasília: ELETRONORTE.
- ESA - EUROPEAN SPACE AGENCY (2003). Disponível em: <<http://envisat.esa.int/dataproducts/asar>>. Acesso em: 17 abr. 2003.
- FEARNSIDE, P.M. (1999). Social impacts of Brazil's Tucuruí dam. *Environmental Management*, New York, v.24, n.4, p.483-495.
- FILHO, R.M. (2000). *Leishmaniose tegumentar americana*. Disponível em: <<http://www.amazonia.exercito.gov.br/secoes/doencas/leishman.htm>>. Acesso em: 16 fev. 2000.
- FORATTINI, O.P. (2002). *Culicidologia médica: identificação, biologia e epidemiologia*. São Paulo: EDUSP. v. 2.

- GILLES, H.M. (1993). The Malaria parasites. In: GILLES, H.M.; WARREL, D.A. (Ed.). *Bruce – Chwatt's essential malariology*. 3rd.ed. London: Edward Arnold.
- GIRAUT, M.; AGUGLINO, R.; LUDUEÑA, S. (1999). Flood hazard mapping in del Plata watershed and it's incorporation to the national hydrological warning & forecast system. In: SIMPÓSIO FINAL GLOBESAR2, APLICACIONES DE RADARSAT EN AMÉRICA LATINA, 5., Buenos Aires. *Anais...* Ottawa: CCRS.
- GONZALEZ, R.C.; WINTZ, P. (1987). *Digital image processing*. 2nd.ed. Reading: Addison-Wesley.
- GRACIANI, S.D. (2003). Determinação da cobertura de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: INPE. 1 CD-ROM.
- HAYES, R.O. et al. (1985). Detection, identification, and classification of mosquito larval habitats using remote sensing scanners in earth-orbiting satellites. *Bulletin of the World Health Organization*, New York, v.63, n.2, p. 361-374.
- HENDERSON, F.M.; LEWIS, A.J. (1998). Principles and applications of imaging radar: manual of remote sensing. 3rd.ed. Ottawa. v.2.
- HOEHNE, F.C. (1948). *Plantas aquáticas*. São Paulo: Instituto de Botânica, Secretaria da Agricultura.
- HUSSAIN, Z. (1991). *Digital image processing: practical applications of parallel processing techniques*. New York: Ellis Horwood.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2004). Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 15 jan. 2004.
- JORDAN, C.F. (1986). *Amazonian rain forests: ecosystem disturbance and recovery: case studies of ecosystem dynamics under a spectrum of land usc-intensities*. New York: Springer-Verlag.

- JUNK, W.J. (1996). Os Recursos hídricos da Amazônia. In: PAVAN, C. (Org.). *Uma Estratégia latino-americana para a Amazônia*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia. v.2.
- KAMPEL, S.A. (2004). *Geoinformação para estudos demográficos: representação espacial de dados de população na Amazônia brasileira*. 166p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo (2004).
- LAM, S.K. (2000). Japanese encephalite. Disponível em: <<http://www.geocities.com/HotSprings/2188/jetaq.html>>. Acesso em: 16 Fev. 2000.
- LAURANCE, W.F. et al. (2001). The Future of the Brazilian Amazon. *Science Magazine*, Nova York, v. 291, n.5503, p.438.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. (1994). *Remote sensing and image interpretation*. 2nd. ed. New York: John Wiley & Sons.
- McCRACKEN, S.D. et al. (2002). Land use patterns on an agricultural frontier in Brazil. In: *DEFORESTATION AND LAND USE IN THE AMAZON*. Florida: University Press Florida.
- MARQUES, A.C.; PINHEIRO, E.A. (1982). Fluxos de casos de malária no Brasil em 1980. *Revista Brasileira de Malariologia e Doenças Tropicais*, Rio de Janeiro, v.34, p.1-31.
- MARTENS, W.J.M. et al. (1995). Potencial impact of global climate change on malaria risk. *Environmental Health Perspectives*, Research Triangle Park, v.103, n. 5, p. 458-464.
- MASCARENHAS, N.A.; VELASCO, F.R.D. (1989). *Processamento digital de imagens*. 2.ed. Buenos Aires: Kapelusz.
- MASSAD, E.; FORATTINI, P.O. (1998). Modelling the temperature sensitivity of some physiological parameters of epidemiologic significance. *Ecosystem Health*, Malden, v.4, n.2, p.119-129.
- McMICHAEL, J.A.; PATZ, J.; KOVATS. R.S. (1998). Impacts of global environmental

change on future health and health care in tropical countries. *British Medical Bulletin*, London, n. 2, p. 475-488.

MELO, H.W.; POSSADA, E.V. (1999). Análisis de datos de Radarsat para evaluar información del medio ambiente del bosque húmedo tropical del Darien – Colombia. In: SIMPÓSIO FINAL GLOBESAR2, APLICACIONES DE RADARSAT EN AMÉRICA LATINA, 1999, Buenos Aires. *Anais...* Ottawa: CCRS p. 84-91.

MIRANDA, C.; MARQUES, C.C.A.; MASSA, J.L. (1998). Sensoriamento remoto orbital como recurso para análise da ocorrência da leishmaniose tegumentar americana em localidade urbana da região Sudeste do Brasil. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo, v.32, n.5, p.455-63.

MOREIRA, M.A. et al. (1998). Modelo de mistura espectral para identificar e mapear áreas de soja e milho em quatro municípios do estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. *Anais...* Santos: INPE/SELPER. 1 CD-ROM.

MULASHI, A.S. (1995). Impactos sociais e meio ambientais locais nos desenvolvimentos de recursos hídricos. In: HASHIMOTO, M. (Ed.). *Diretrizes para o gerenciamento de lagos*. Japão: ILEC/UNEP.

MÜLLER, A.C. (1995). *Hidrelétrica, meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo: Makron Books.

NASA (2003). Disponível em: <<http://rst.gsfc.nasa.gov/sect8/ject8-3.htm>>. Acesso em: 8 abr. 2003.

NEPSTAD, D. et al. (2001). Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.154, n.3, p.395-407, Dec.

NEVES, D.P. (1991). *Parasitologia Humana*. 8 ed. São Paulo, Atheneu.

NOBRE, C. (1996). Amazônia e clima. In: PAVAN, C. (Org.). *Uma estratégia latino-americana para a Amazônia*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. v.2, 382p.

- NOBRE, F.F.; CARVALHO, M.S. (1994). Spatial and temporal analysis of epidemiological data. In: INTERNATIONAL WORKSHOP HELD IN COLOMBO, 1994, Sri Lanka. *Proceedings...* Ottawa: IDRC.
- NOBRE, C. et al. (1991). Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal Climate*, Boston, v.4, p.957-988.
- NOERNBERG, M.A. (1996). *Discriminação de plantas aquáticas utilizando dados SAR multipolarimétricos na Banda C*. 103p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.
- NOERNBERG, M.A.; NOVO, E.M.L.M.; KRUG, T. (1999). Aplicação de sistemas radar no monitoramento de infestações de plantas aquáticas em reservatórios: vantagens e limitações. *Boletim de Ciências Geodésicas*, Curitiba, v.5, p.41-54.
- NOVO, E.M.L.M. (1988). *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São José dos Campos: INPE.
- NOVO, E.M.L.M.; COSTA, M.P.F.; MANTOVANI, J.E. (1998). Radarsat exploratory survey on macrophyte biophysical parameters in tropical reservoirs. *Journal of Remote Sensing*, Ottawa, v.24, n.4, p.367-374.
- OPAS - ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD (1991). Estratificación epidemiológica de la malaria en la Región de las Américas. *Boletín Epidemiológico*, Washington, v.12, n.4, p.1-7.
- PEREIRA, J.L.G.; BATISTA, G.T.; ROBERTS, D.A. (1998). Classificação da cobertura da terra na região amazônica através de classificação de regiões em imagens de proporção de componentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. *Anais...* Santos: INPE/SELP. 1 CD-ROM.
- PEREIRA, J.L.G. et al. (1998). Proporção de componentes derivadas de imagens Landsat TM para caracterização da cobertura da terra na amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. *Anais...* Santos: INPE/SELP. 1 CD-ROM.
- POPE, K.O. et al. (1992). Identification of Central Kenyan Rift valley fever virus

vector habitats with Landsat TM and evaluation of their flooding status with airborne imaging radar. *Remote Sensing Environmental*, New York, v.40, n.3, p.185-96, June.

_____. (1994). Remote sensing of tropical wetlands for malaria control in Chiapas, Mexico. *Ecological Applications*, Washington, v.4, n.1, p. 81-90.

RADAMBRASIL (1974). Folha SA22 - Belém; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. (*Levantamento de Recursos Naturais*, 5).

REJMANKOVA, E. et al. (1995). Predictions of adult *Anopheles albimanus* densities in villages based on distances to remotely sensed larval habitats. *American Journal of Tropical Medicine Hygiene*, Baltimore, v.53, n.5, p.482-488.

RICHARDS, J.A. (1986). *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. 2nd.ed. Berlin: Springer-Verlag.

ROBERTS, D.R.; RODRIGUES, M.H. (s.d.). The Environment, remote sensing, and malaria control. *Annals New York Academy of Sciences*, New York, p.396-402.

ROBERTS, D.R. et al. (1991). Overview of field studies for the application of remote sensing to the study of malaria transmission in Tapachula, Mexico. *Preventive Veterinary Medicine*, Amsterdam, v.11, p.269-75.

ROBERTS, D.R. et al. (1996). Predictions of malaria vector distributions in Belize based on multispectral satellite data. *American Journal Tropical Medical Hygiene*, Baltimore, v.54, n.3, p.304-308.

SANTA'ANA, S.J.S. (1995). *Avaliação do desempenho de filtros redutores de "Speckle" em imagens de radar de abertura sintética*. 181p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995.

SHIMABUKURO, Y.E.; SMITH, J.A. (1991). The Least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, New York, v.29, n.1, p.16-20.

- SILVA, J.S.V.; ABDON, M.M. (1999). Radarsat-SAR in the Pantanal wetland brazilian. In: *SIMPÓSIO FINAL GLOBESAR2, APLICACIONES DE RADARSAT EN AMÉRICA LATINA, 1999, Buenos Aires. Anais...* Ottawa: CCRS. p. 141-151.
- SILVEIRA, A.C.; REZENDE, D.F. (2001). *Avaliação da estratégia global de controle integrado da malária no Brasil*. Brasília-DF: Organização Pan-Americana da Saúde.
- SUCEN (2000). *Noções básicas sobre malária*. Disponível em: <<http://www.sucen.sp.gov.br>>. Acesso em: 28 mar. 2000.
- TADEI, W.P. (1996). O Gênero *Mansonia* (diptera: culicidae) e a proliferação de mosquitos na Usina Hidrelétrica de Tucuruí. In: MAGALHÃES, S.B.; BRITTO, R.C.; CASTRO, E.R.(Org.). *Energia na Amazônia brasileira*. Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi. v.1, 463p.
- TADEI, W.P.; MASCARENHAS, B.M.; PODESTÁ, M.G. (1983). Biologia de anophelinos amazônicos. VIII. Conhecimentos sobre a distribuição de espécies de *Anopheles* na região de Tucuruí- Marabá (Pará). *Acta Amazonica*, Manaus, v.13, n.1, p.103-140.
- TADEI, W.P.; SCARPASSA, V.M.; RODRIGUES, I.B. (1991). Evolução das populações de *Anopheles* e de *Mansonia* na área de influência da UHE de Tucuruí (Pará). *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.43, n.7, p. 639-640.
- TADEI, W.P.; SCARPASSA, V.M.; SOUZA, A.C. (1988a). Estudo das alterações de anofelinos e outros culicídeos na UHU- Tucuruí. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.40, n.7, p.655.
- TADEI, W.P.; SCARPASSA, V.M.; SOUZA, A.C. (1988b). Estudo das adaptações de anophelinos e outros culicídeos na UHE- Tucuruí. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.40, n.7, p.665.
- TADEI, W.P. et al. (1993). Incidência, distribuição, e aspectos ecológicos de espécies de *Anopheles* (Díptera: Culicidae), em regiões naturais e sob impacto ambiental da Amazônia Brasileira. In: FERREIRA, E.J.G. et al. *Bases científicas para estratégia de preservação e desenvolvimento da Amazônia*. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. v. 2.

- TADEI, W.P. et al. (1998). Ecologic observations on anopheline vectors of malaria in the Brazilian Amazon. *American Journal Tropical Medical Hygiene*, Baltimore, v.59, n.2, p.325-335.
- TAUIL, P.L. (1984). Malária: agrava-se o quadro da doença no Brasil. *Ciência Hoje*, v.2, n.12, p. 58-66.
- THOMSON, M.C. et al. (1997). Mapping malaria risk in Africa: what can satellite data contribute? *Parasitology Today*, Amsterdam, v.13, n.8, p. 313-318.
- TREVETT, J.W. (1986). *Imaging radar for resources surveys*. London: Chapman and Hall.
- ULABY, F.T.; MOORE, R.K.; FUNG, A.K. (1981). *Microwave remote sensing: active and passive*. Reading Mass: Assison-Wesley. v.1.
- UNION SQUARE MEDICAL ASSOCIATES (2000). *About lyme disease*. Disponível em: <<http://www.usmadocs.com/06lyme/lyme.htm>>. Acesso em: 16 fev. 2000.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO (2003). Disponível em: <www.saude.ufma.br/polo/jornal/jornal_polo1.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2003.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO DO SUL (2003). Disponível em: <<http://www.ufms.br/ensino/deptos/dbiplaqu/definicoes.htm>>. Acesso em: 7 mai. 2003.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (2003). Disponível em: <http://www.ufscar.br/~probio/info_macrof.html (2003)>. Acesso em: 8 abr. 2003.
- VENTURIERI, A. (1996). *Segmentação de imagens e lógica nebulosa para treinamento de uma rede neural artificial na caracterização do uso da terra na região de Tucuruí (PA)*. 140p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.
- WASHINO, R.K.; WOOD, B.L. (1994). Application of remote sensing to arthropod vector surveillance and control. *American Journal Tropical Medical Hygiene*,

Baltimore, v.50, n.6, p.134-144.

WELCH, J.B. et al. (1989). Conceptual model for the use of aerial color infrared photography by mosquito control districts as a survey technique for *Psorophora columbiae* e oviposition habitats in Texas ricelands. *Journal of the American Mosquito Control Association*, Fresno, v.5, n.3, p. 369-373.

WOOD, C.H. (2002). *Land use and deforestation in the Amazon*. Florida: University Press of Florida.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION (2004). Disponível em: http://www.rbm.who.int/cmc_upload/0/000/015/372/RBMInfosheet_1.htm>. Acesso em: 15 mai. 2004.

YI, J.L.R. et al. (1998). Segmentação de imagens – fração derivadas do sensor TM – Landsat para o mapeamento do uso do solo no município de Sapezal (MT). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. *Anais...* Santos: INPE/SELPER. 1 CD-ROM.

ANEXO A

```

// Recorte de uma imagem com a máscara da Represa
{
Imagem          entrada,saida("IMAGEM_TM96");
Tematico        mascararepresa("REPRESA");

    entrada      = Recuperere (Nome = "mos22463_22363B5");
    saida        = Novo(Nome="mosrec", ResX=30, ResY=30);

    mascararepresa = Recuperere (Nome = "represa_TUC");

    saida        = mascararepresa.Class == "Represa" ? entrada : 255;
}

// Programa em Legal para executar Fatiamento
// de grade numerica
{
Numerico grd ("MNT");
Tematico fat ("Fatiamentos");
Tabela tab (Fatiamento);

grd = Recuperere (Nome="dist_macr_maioTuc");
tab = Novo (CategoriaFim="Fatiamentos",
           [0.1, 300] : "muito_alta",
           [300, 600] : "alta",
           [600, 900] : "media",
           [900, 1200] : "baixa",
           [1200, 32000]: "muito_baixa");
fat = Novo (Nome="Fat_macr_maioTuc", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
fat = Fatie (grd, tab);
}

// Média das grades numéricas ponderadas
{
//Inicio
// Parte 1- Declaracao

Numerico dist1,dist2,dist3,dist4,dist5,dist6,dist7,estfinal ("MNT");

// Parte 2 - Instanciacao

dist1= Recuperere (Nome = "pond_dist_areaurbTuc01");
dist2= Recuperere (Nome = "pond_dist_estrTuc01");
dist3= Recuperere (Nome = "pond_dist_reserTuc");
dist4= Recuperere (Nome = "pond_dist_riosTuc");
dist5= Recuperere (Nome = "pond_estpopTuc01");
dist6= Recuperere (Nome = "pond_mac_dezTuc");
dist7= Recuperere (Nome = "pond_reclas_Tuc01");

```

```

//resultado

estfinal = Novo (Nome = "malTuc_dez01Final", ResX=30, ResY=30,
Escala=100000, Min=0,Max=3);

estfinal = (dist1+dist2+dist3+dist4+dist5+dist6+dist7)/7;

}

//Ponderação
{
// Parte 1- Declaracao
Tematico Fatdist ("Fatiamentos");
Tabela ponderaFat (Ponderacao);
Numerico distpond ("MNT");

// Parte 2 - Instanciacao
Fatdist = Recuperar (Nome = "Fat_grdIPATuc96");
// Criacao do novo mapa de dist ponderado
distpond = Novo (Nome = "pond_grdIPATuc96", ResX = 30, ResY = 30,
Escala = 100000, Min = 0, Max = 3);

// Definicao da Tabela de Pesos
ponderaFat = Novo (CategoriaIni = "Fatiamentos",
"muito_alta" : 3,
"alta" : 2.25,
"media" : 1.5,
"baixa" : 0.75,
"muito_baixa" : 0);

// Parte 3 - Operacao de Ponderacao
distpond = Pondere (Fatdist, ponderaFat);
}

//Programa Legal para reclassificar as classes de uso e ocupação
{
//declaração
Tematico uso, reclass ("Uso_ocupacao");
Tabela tab (Reclassificacao);

//tabela
tab = Novo (CategoriaIni="Uso_ocupacao",
CategoriaFim= "Uso_ocupacao",
"Veg_Nativa" : "muito_baixa",
"Rebrota" : "media",
"Agua" : "muito_baixa",
"Agrossilvopastoril" : "muito_alta",
"Area_Alagada": "alta",
"Nuvem": "muito_baixa",
"Banco_Areia": "muito_baixa",
"Area_Urb": "baixa",
"Corte_ Seletivo": "alta");

//instanciação
uso = Recuperar (Nome="NRep_01");
reclass = Novo (Nome= "reclas_NRep01", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);

//operação
reclass = Reclassifique (uso, tab);
}

```

ANEXO B



Foto 1- Rio Pacajá (Novo Repartimento)



Foto 2 – Casa de pau-a-pique, sem portas e janelas, próximo ao Rio Pacajá em Novo Repartimento.



Foto 3 – Criança com muitas picadas de mosquito. A família reside em vicinal próxima ao reservatório.



Foto 4- Ilha do reservatório de Tucuruí, com vegetação aquática nas bordas.



Foto 5 – Habitação muito próxima da margem do reservatório.



Foto 6 – Paliteiros no reservatório de Tucuquí.

ANEXO C

Ficha de Campo

QUESTIONÁRIO n°.....

Localidade: (nome) (Tipo)
 Município:
 Coordenada LAT: LONG:

N ° de pessoas residentes ou que freqüentam o local 1-10 10-20 20-30 mais de 30

A quanto tempo o local é habitado

Trabalha no local

Qual a principal atividade do local pecuária agricultura outra.....

Alguém já contraiu malária alguma vez sim não

Quando contrai a malária procura posto de saúde hospital pronto socorro
 outro..... nenhum

Em qual município

Toma algum medicamento sim não
 Qual

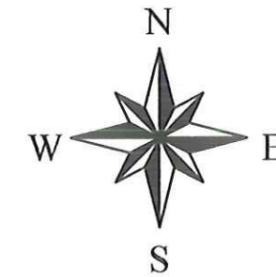
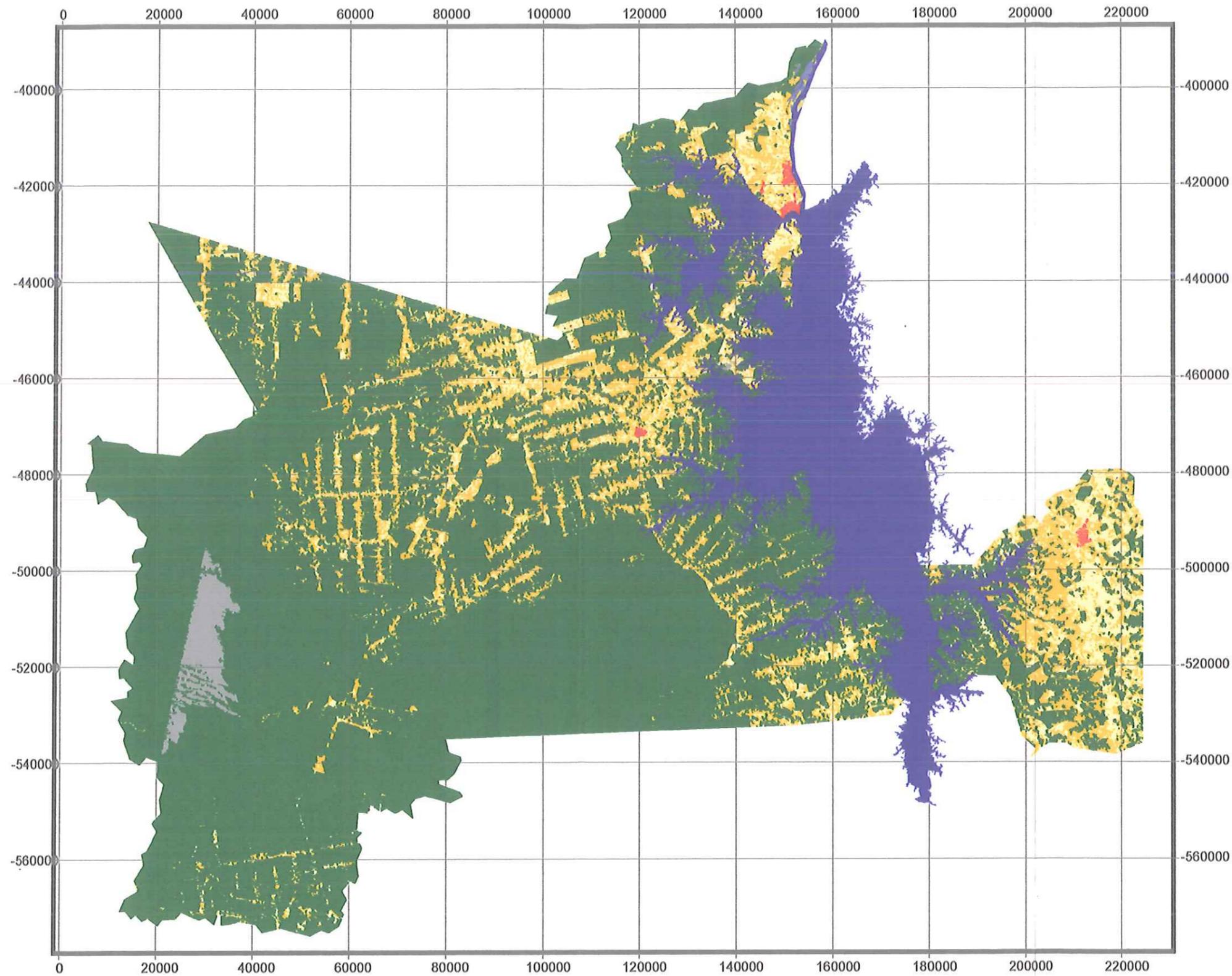
Se utiliza algum inseticida para combater os mosquitos. Qual? sim não

FOTO: Número..... Filme.....

OBS (tipo de moradia, proximidade a corpos d'água, estradas, etc...)

ANEXO D

MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA REGIÃO DO RESERVATÓRIO DE TUCURUÍ EM 1996

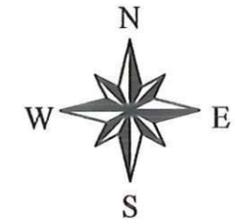
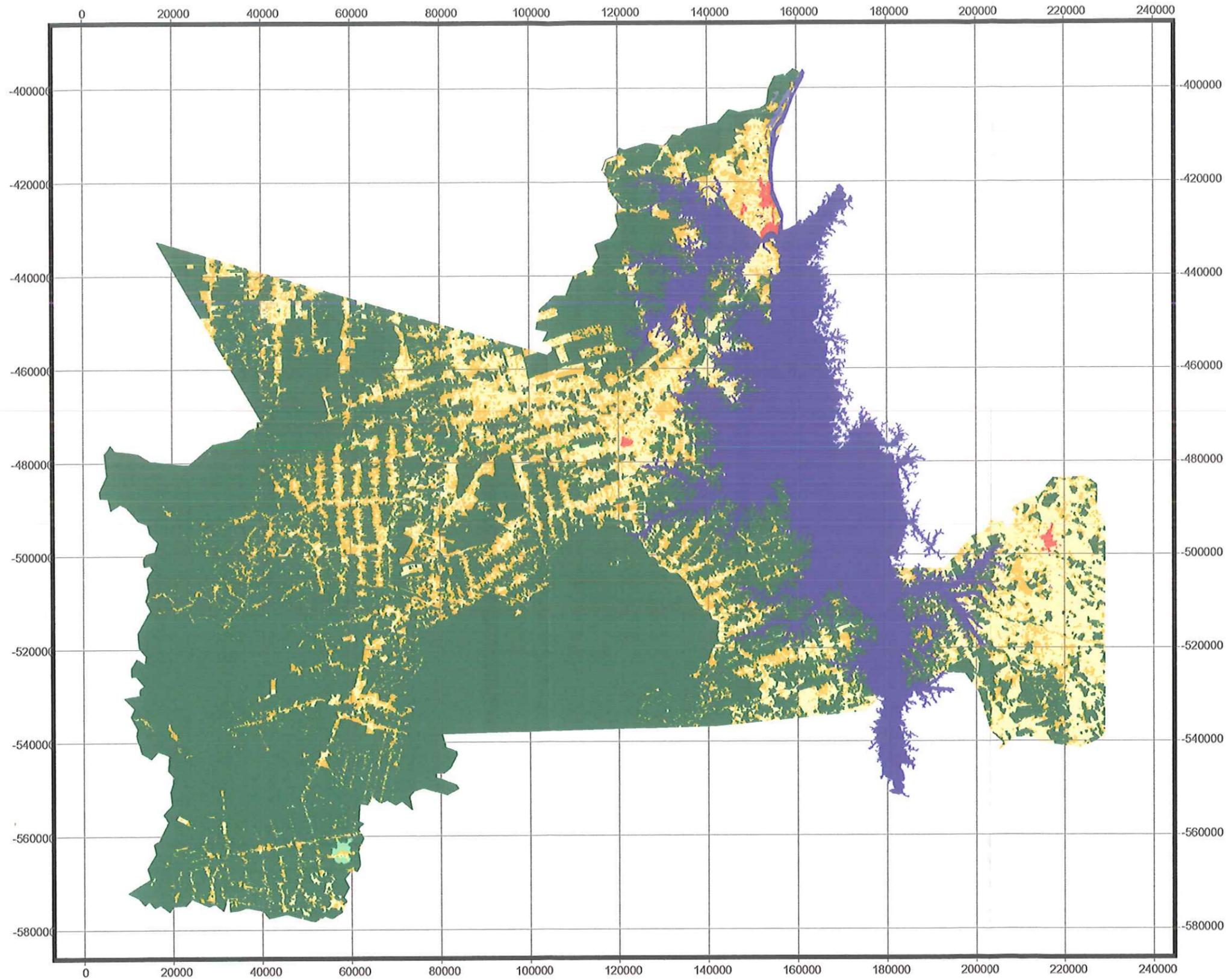


20000 0 20000 40000 Meters

LEGENDA

- agrossilvopastoril
- água
- área alagada
- área urbana
- banco de areia
- nuvem
- vegetação em regeneração
- vegetação nativa

MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA REGIÃO DO RESERVATÓRIO DE TUCURUÍ EM 2001

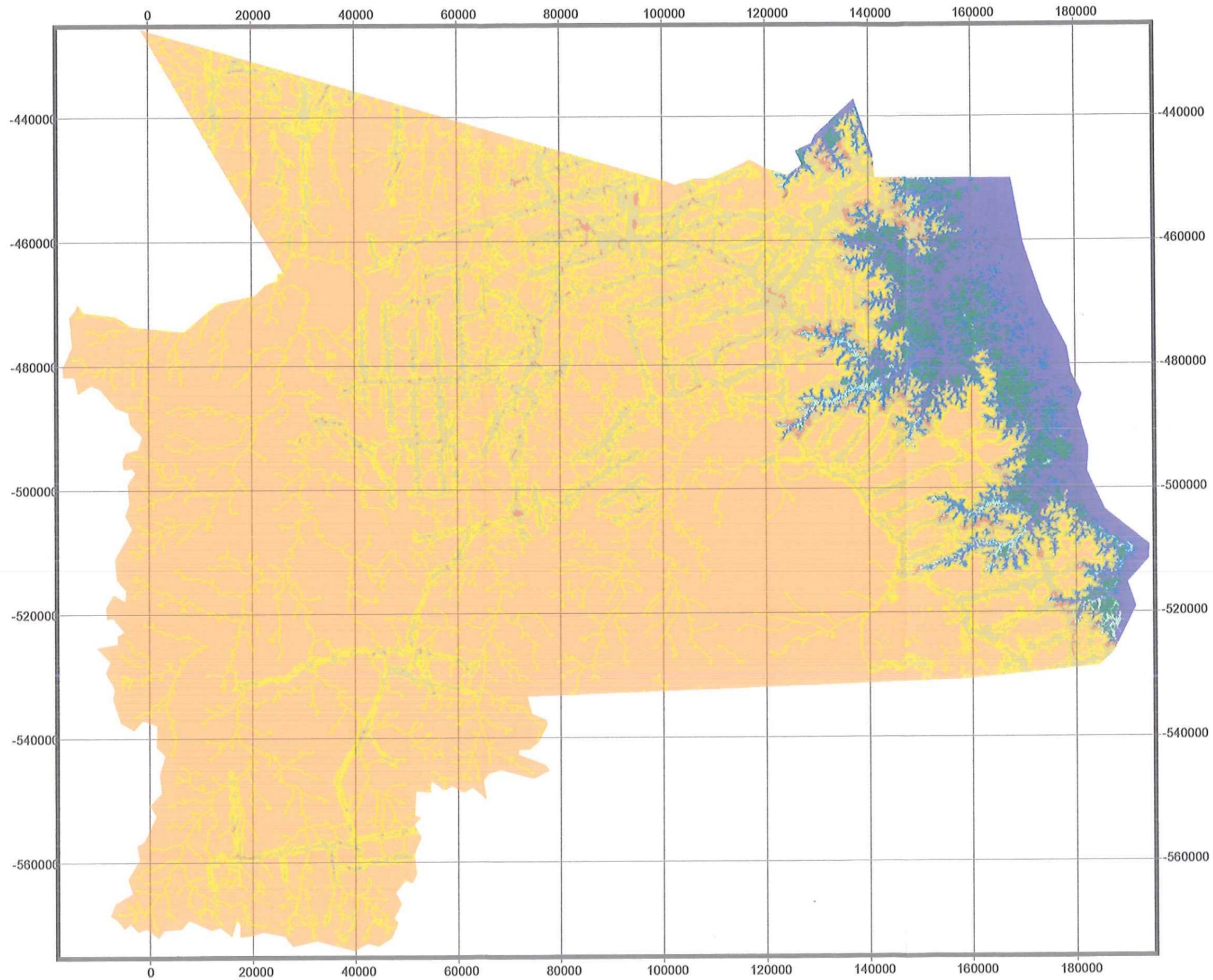


LEGENDA

- agrossilvopastoril
- água
- área alagada
- área urbana
- banco de areia
- corte seletivo
- nuvem
- vegetação em regeneração
- vegetação nativa

40000 0 40000 Meters

MAPA DE RISCO DE ADQUIRIR MALÁRIA NO MUNICÍPIO DE NOVO REPARTIMENTO EM ABRIL DE 1996

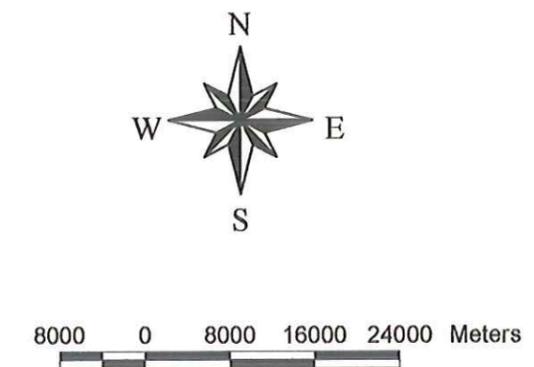
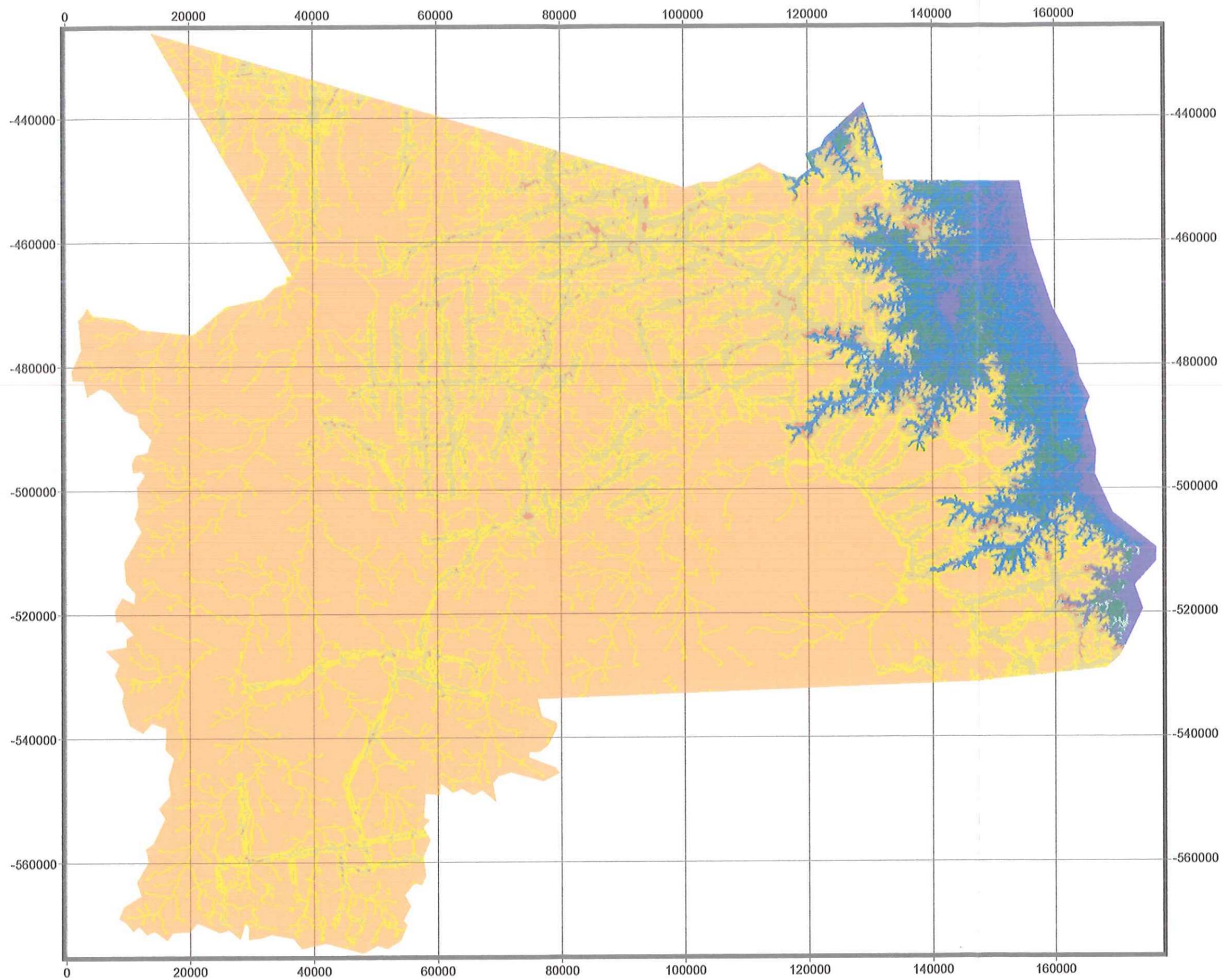


6000 0 6000 12000 18000 Meters

LEGENDA

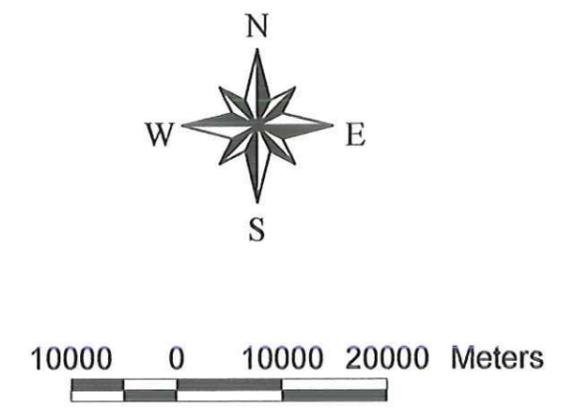
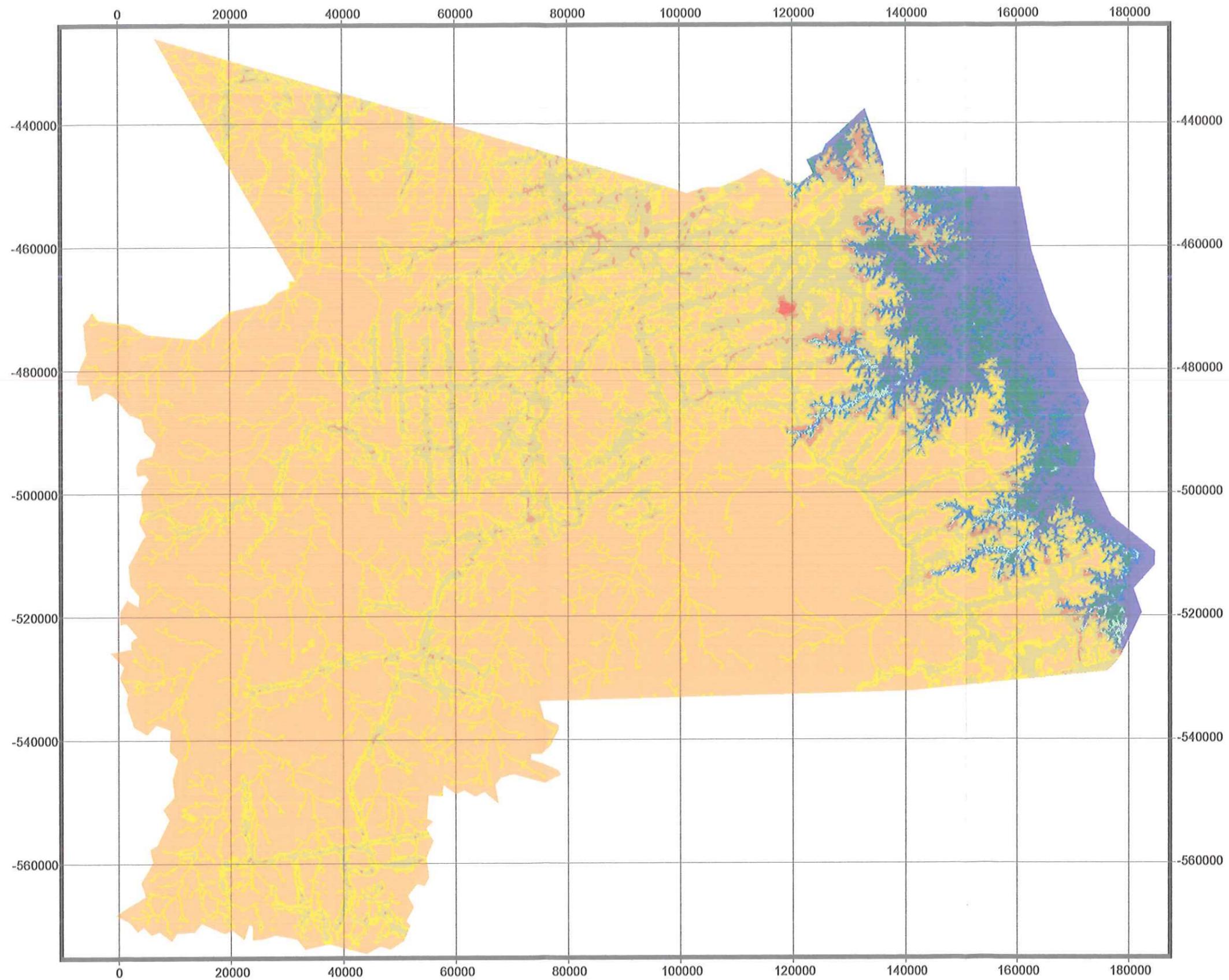
- alto
- baixo
- médio
- muito_baixo
- água_aberta
- ilhas
- macrófitas
- paliteiros
- área urbana

MAPA DE RISCO DE ADQUIRIR MALÁRIA NO MUNICÍPIO DE NOVO REPARTIMENTO EM DEZEMBRO DE 1996



- LEGENDA**
- alto
 - baixo
 - médio
 - muito_baixo
 - água_aberta
 - ilhas
 - macrófitas
 - paliteiros

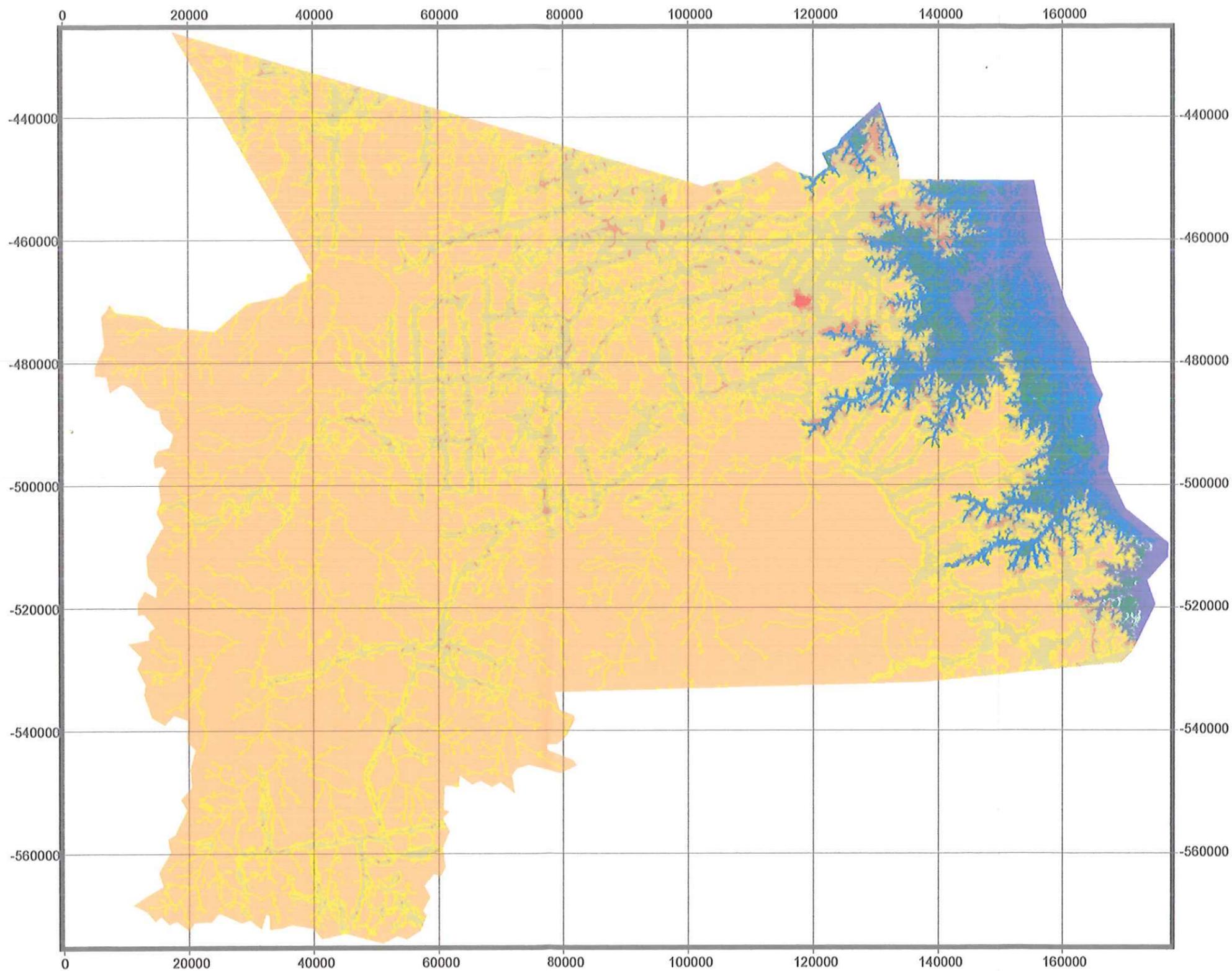
MAPA DE RISCO DE ADQUIRIR MALÁRIA NO MUNICÍPIO DE NOVO REPARTIMENTO EM ABRIL DE 2001



LEGENDA

- alto
- baixo
- médio
- muito_baixo
- água_aberta
- Ilhas
- macrófitas
- paliteiros
- área urbana

MAPA DE RISCO DE ADQUIRIR MALÁRIA NO MUNICÍPIO DE NOVO REPARTIMENTO EM DEZEMBRO DE 2001

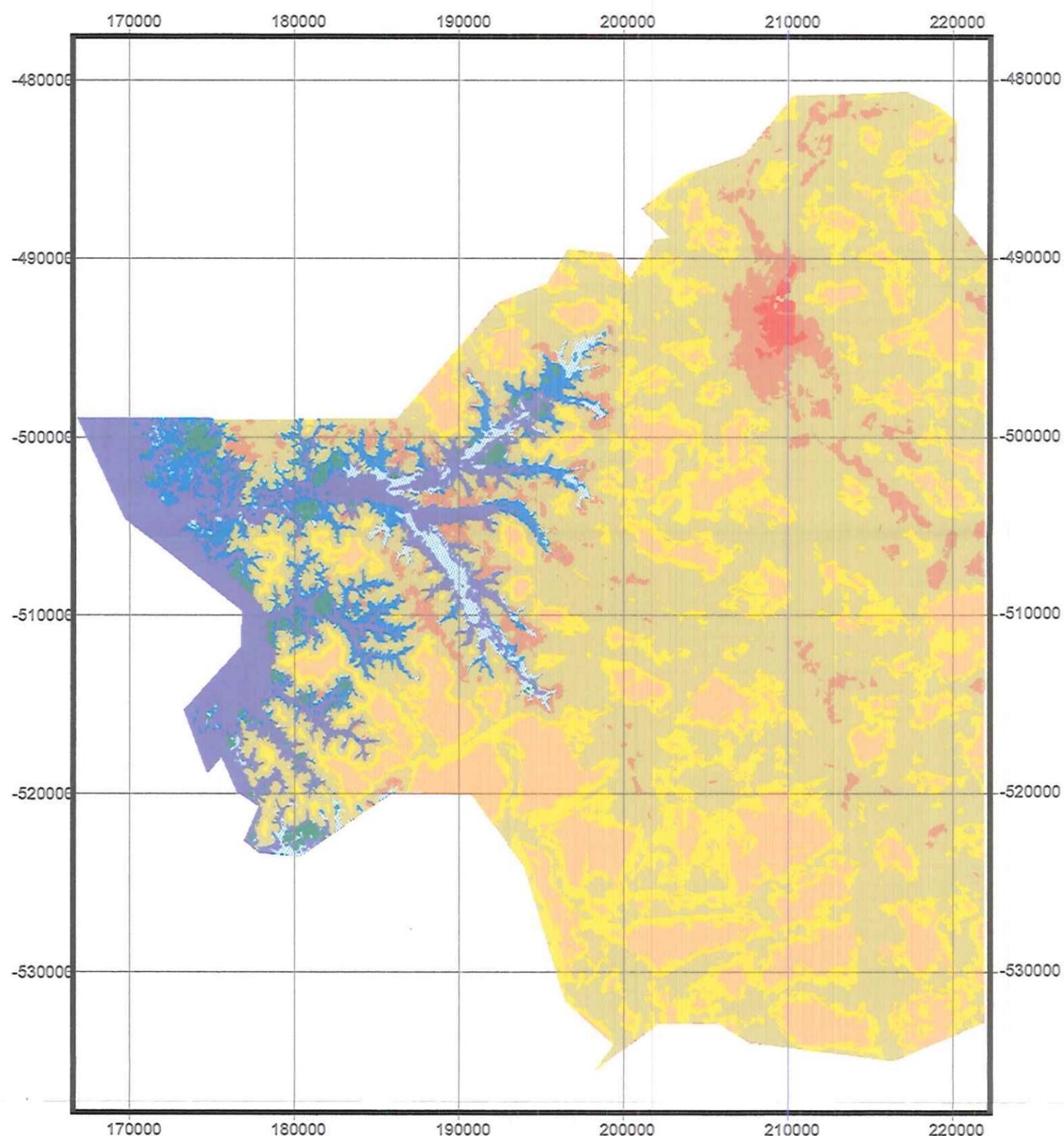


10000 0 10000 20000 Meters

LEGENDA

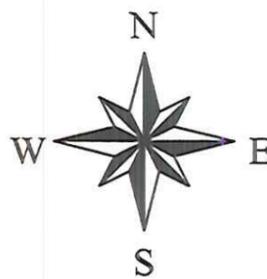
- alto
- baixo
- médio
- muito_baixo
- água_aberta
- ilhas
- macrófitas
- paliteiros
- área urbana

MAPA DE RISCO DE ADQUIRIR MALÁRIA NO MUNICÍPIO DE JACUNDÁ EM ABRIL DE 1996



LEGENDA

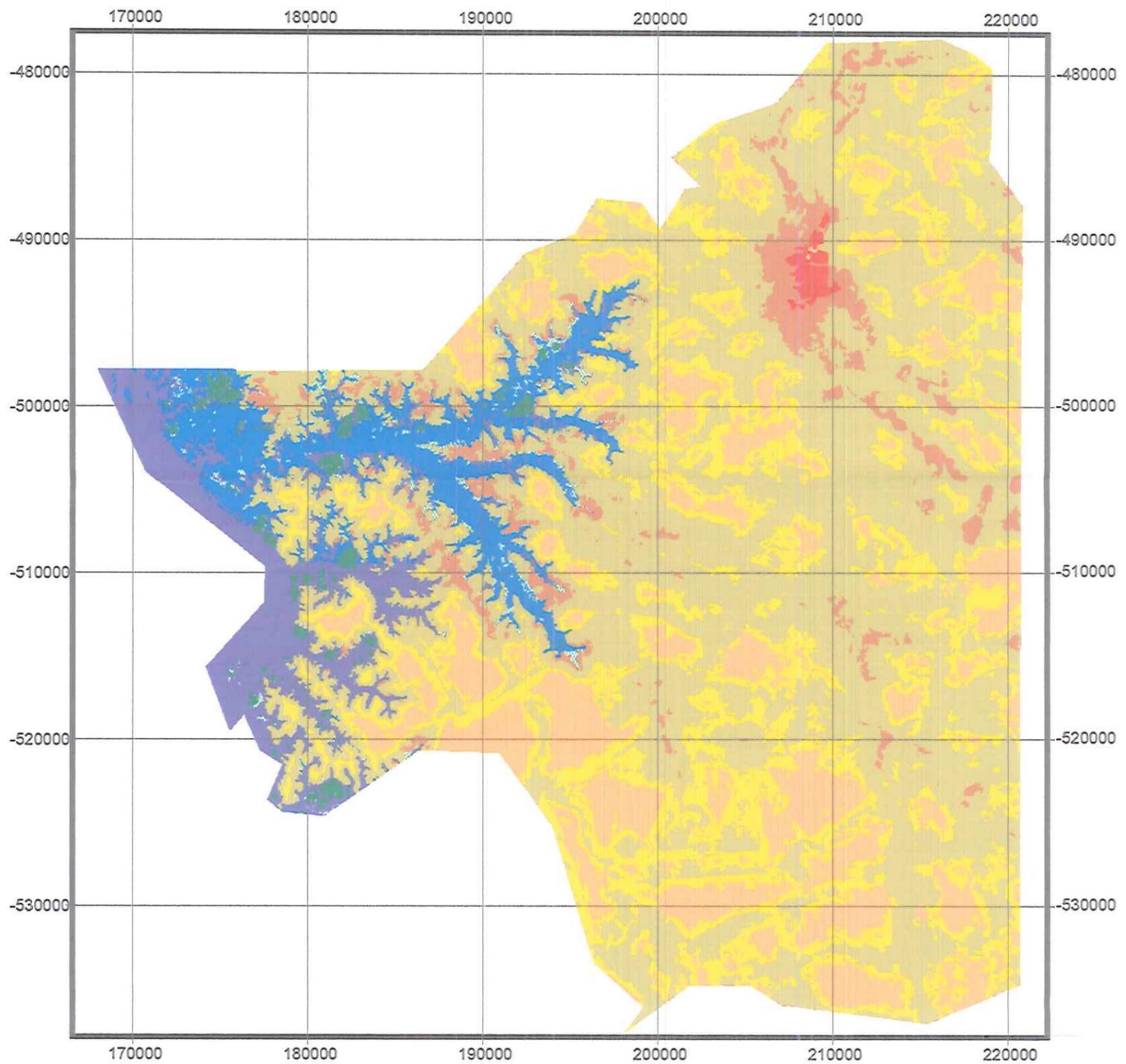
-  alto
-  baixo
-  médio
-  muito_baixo
-  água aberta
-  ilhas
-  macrófitas
-  paliteiros
-  área urbana



9000 0 9000 18000 27000 Meters

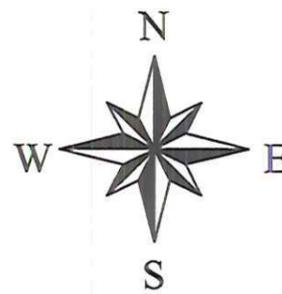


MAPA DE RISCO DE ADQUIRIR MALÁRIA NO MUNICÍPIO DE JACUNDÁ EM DEZEMBRO DE 1996



LEGENDA

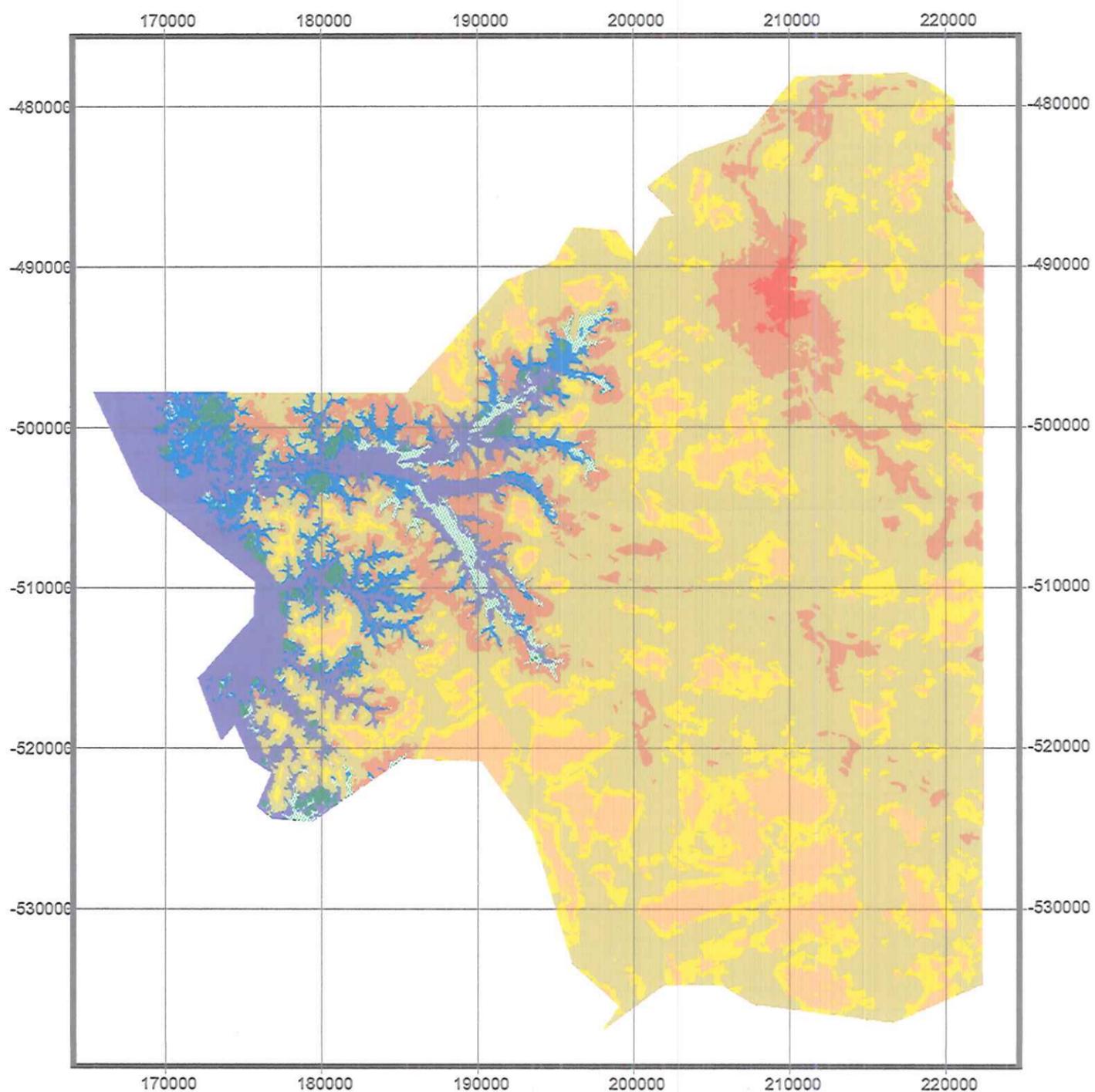
-  alto
-  baixo
-  médio
-  muito_baixo
-  água_aberta
-  Ilhas
-  macrófitas
-  paliteiros
-  área urbana



7000 0 7000 14000 Meters

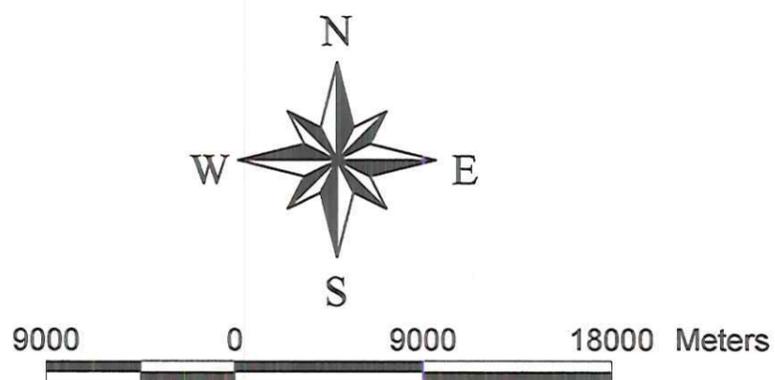


MAPA DE RISCO DE ADQUIRIR MALÁRIA NO MUNICÍPIO DE JACUNDÁ EM ABRIL DE 2001

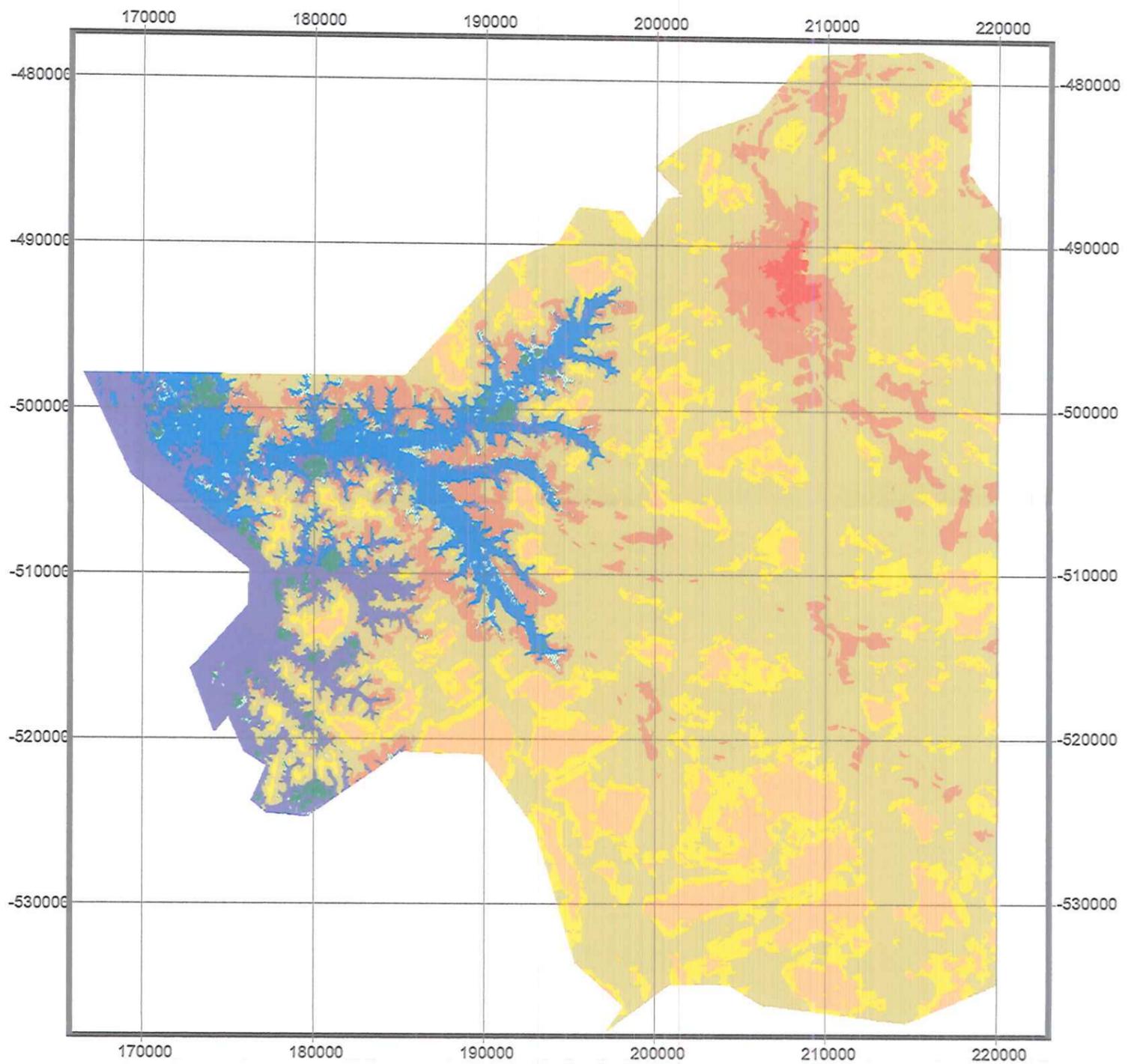


LEGENDA

-  alto
-  baixo
-  médio
-  muito_baixo
-  água aberta
-  ilhas
-  macrófitas
-  paliteiros
-  área urbana

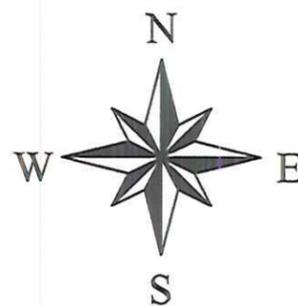


MAPA DE RISCO DE ADQUIRIR MALÁRIA NO MUNICÍPIO DE JACUNDÁ EM DEZEMBRO DE 2001



LEGENDA

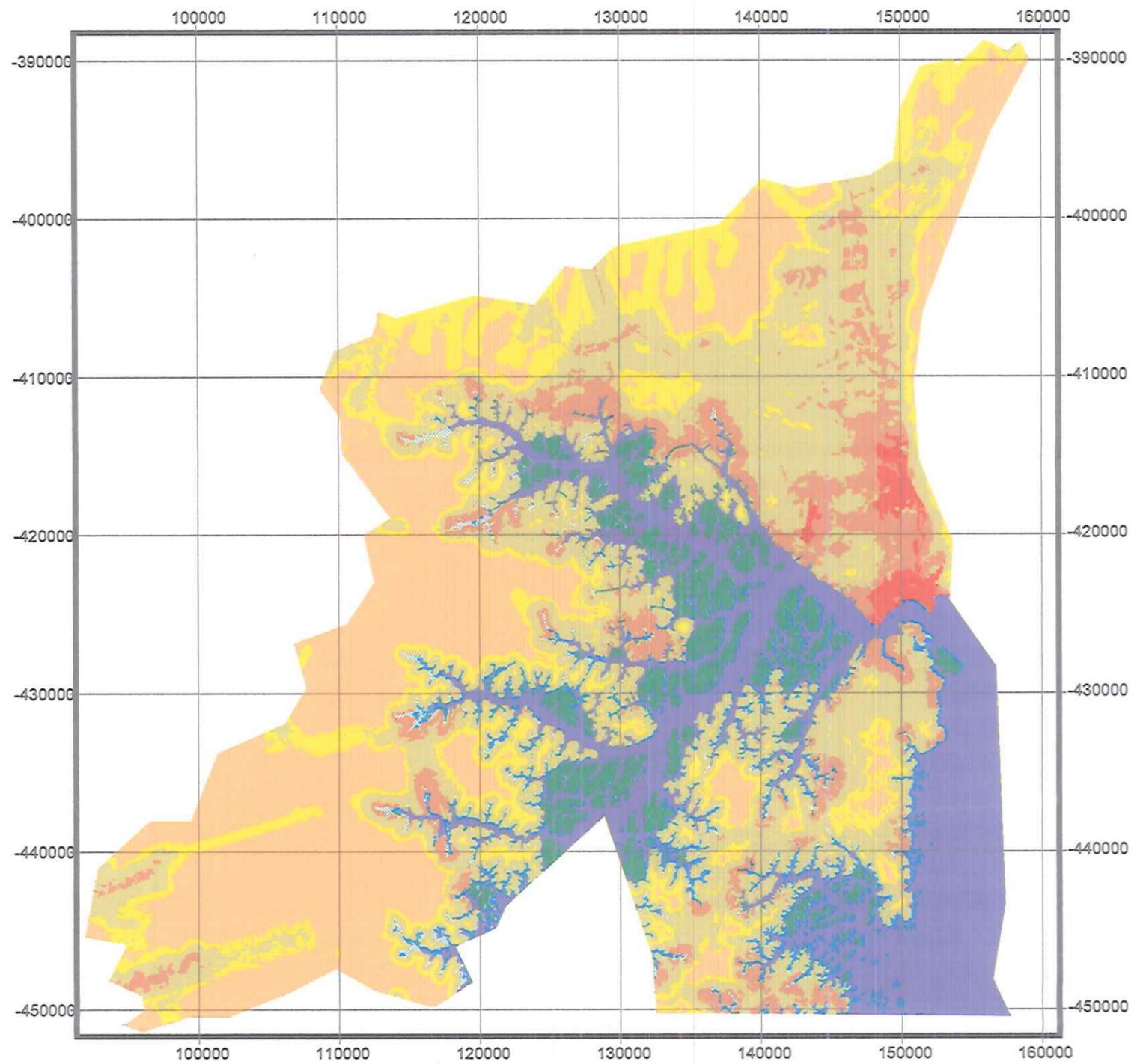
-  alto
-  baixo
-  médio
-  muito_baixo
-  água_aberta
-  ilhas
-  macrófitas
-  paliteiros
-  área urbana



7000 0 7000 14000 Meters

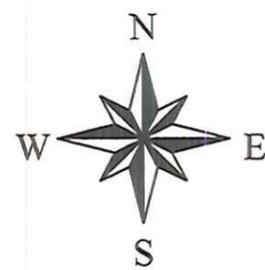


MAPA DE RISCO DE ADQUIRIR MALÁRIA NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ EM ABRIL DE 1996



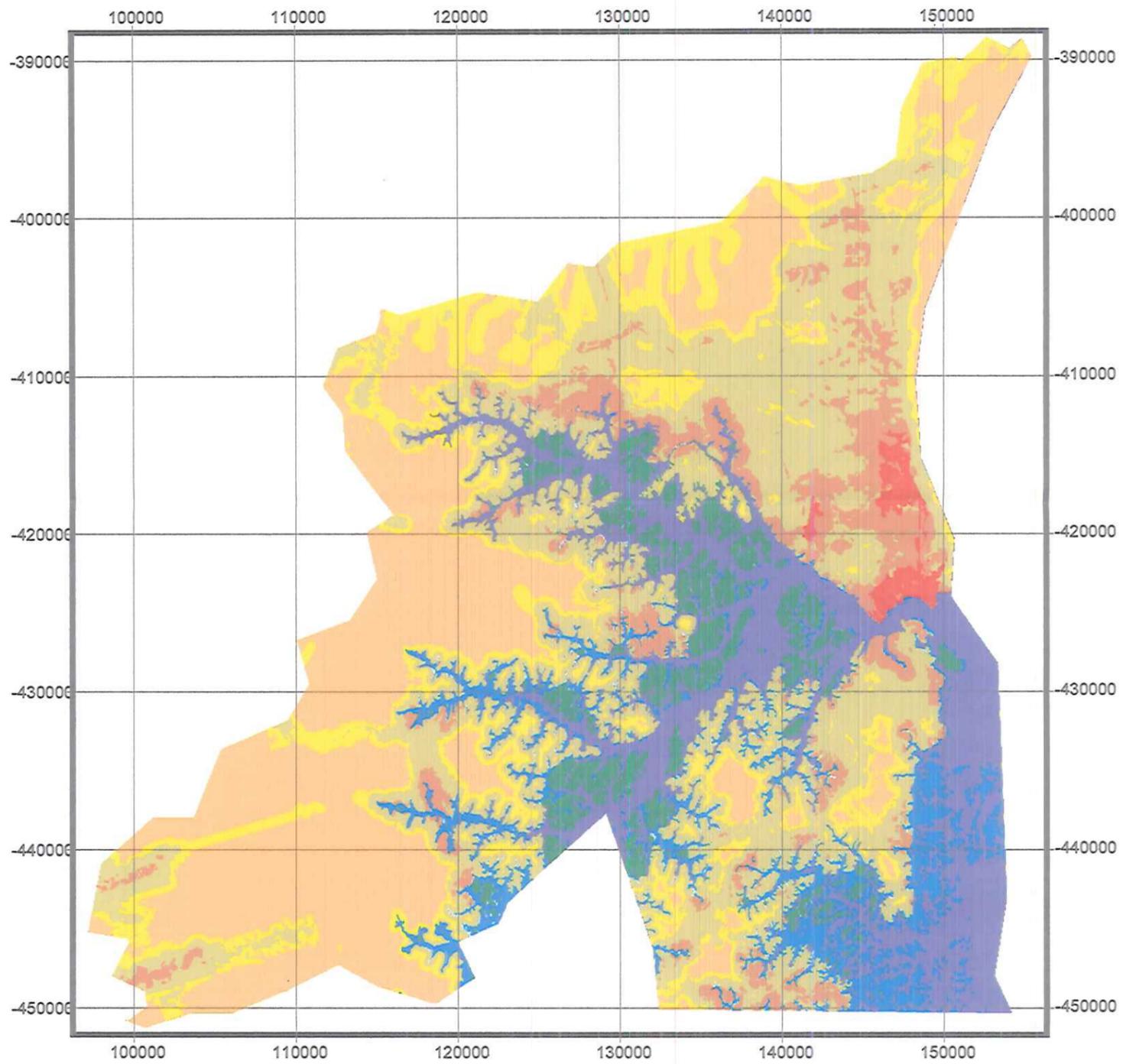
LEGENDA

-  alto
-  baixo
-  médio
-  muito baixo
-  água
-  ilhas
-  macrófitas
-  paliteiros
-  área urbana



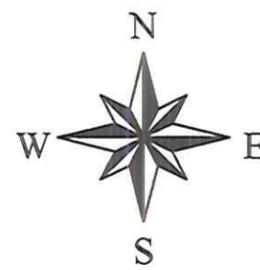
6000 0 6000 12000 18000 24000 Meters

MAPA DE RISCO DE ADQUIRIR MALÁRIA NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ EM DEZEMBRO DE 1996



LEGENDA

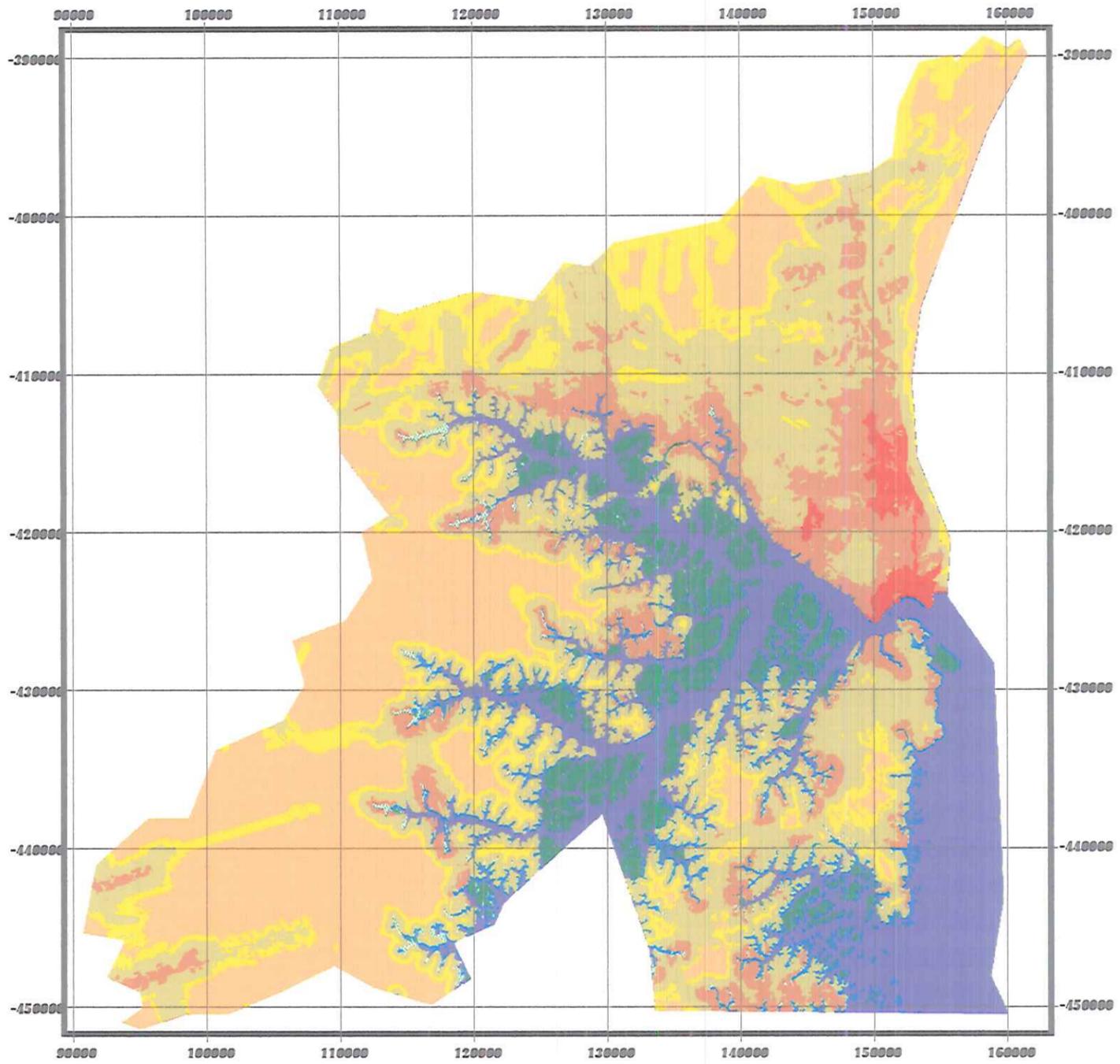
-  alto
-  baixo
-  médio
-  muito_baixo
-  água aberta
-  Ilhas
-  macrófitas
-  paliteiros
-  área urbana



6000 0 6000 12000 Meters



MAPA DE RISCO DE ADQUIRIR MALÁRIA NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ EM ABRIL DE 2001



LEGENDA

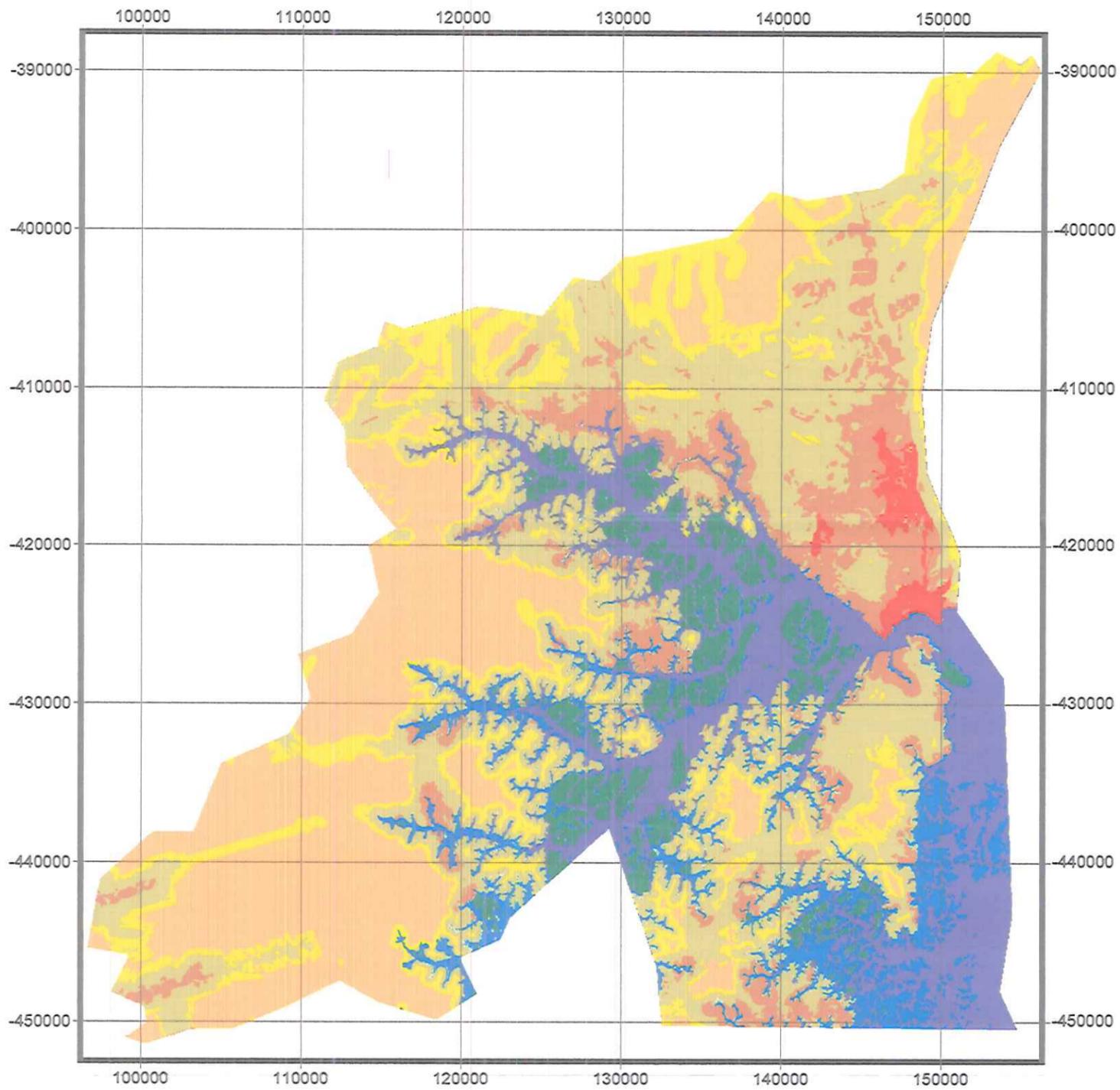
- alto
- baixo
- médio
- muito_baixo
- água aberta
- Ilhas
- macrófitas
- paliteiros
- área urbana



8000 0 8000 16000 24000 Meters



MAPA DE RISCO DE ADQUIRIR MALÁRIA NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ EM DEZEMBRO DE 2001



LEGENDA

- alto
- baixo
- médio
- muito_baixo
- água aberta
- Ilhas
- macrófitas
- paliteiros
- área urbana

