



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE POS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**VIRTUALIZAÇÃO DA PAISAGEM DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DA ZONA DE
EXPANSÃO URBANA DO MUNICÍPIO DE BELEM-PA POR MEIO DE
CARTOGRAFIAS TEMÁTICAS DIGITAIS**

RICARDO ALEXANDRE FIALHO DE OLIVEIRA

Orientador
Prof. Dr. Maurício da Silva Borges

Belem-PA
MAR/2006



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

**VIRTUALIZAÇÃO DA PAISAGEM DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DA ZONA DE
EXPANSÃO URBANA DO MUNICÍPIO DE BELEM-PA POR MEIO DE
CARTOGRAFIAS TEMÁTICAS DIGITAIS**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR
RICARDO ALEXANDRE FIALHO DE OLIVEIRA

COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS
NA ÁREA DE GEOLOGIA

Área de Abrangência:
Neotectônica/Ecologia da Paisagem

Orientador: Prof. Dr. Maurício da Silva Borges

**BELEM-PARA
MAR/2006**

A minha mae Sena (In Memorian) pelo
apoio de ontém, de hoje e de sempre.

AGRADECIMENTOS

Ao único que é digno de receber honra e glória, Nosso Senhor Jesus Cristo.

Ao Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica por proporcionar a realização deste curso e, conseqüentemente com a finalização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Maurício da Silva Borges, tanto pela orientação e valiosas sugestões concedidas, como pelas críticas oportunamente apontadas durante a execução deste trabalho, que nortearam o desenvolvimento desta pesquisa e elaboração do texto final da Dissertação.

A Fundação ATECH e ao Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) por me concederem parte de meu horário de trabalho para que pudesse frequentar as aulas do curso de pós-graduação e me dedicar a elaboração deste trabalho.

Aos amigos e amigas da Pós-Graduação em Geologia, pela amizade, pelo apoio e incentivo durante o processo de aprendizagem em sala de aula.

Aos professores do CPGG que dedicaram parte de seu precioso tempo na tarefa de transmitir seus conhecimentos.

A Secretaria do CPGG pela presteza no atendimento dos discentes, sem a qual o caminho das pedras seria mais difícil.

As bibliotecárias da Biblioteca Raimundo M. G. de Montalvão, do Centro de Geociências, pelo atendimento atencioso dispensado.

Deixo ainda meu agradecimento a todos os amigos funcionários do Centro de Geociências, que indiretamente contribuíram para a finalização deste trabalho.

Agradeço as pessoas e instituições que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, em especial ao Instituto de Ensino Superior da Amazônia (IESAM) e a Companhia de Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém (CODEM) pela cessão de dados do Cadastro Técnico Multifinalitário de Belém.

A minha família que sempre esteve presente, em todos os momentos de minha existência, os meus sinceros agradecimentos.

A minha esposa que durante a realização deste curso sempre me apoiou e incentivou para a finalização desse trabalho.

Aos meus filhos, que tem sido minha motivação para continuar minha vida acadêmica.

”Quando olho para os rios da minha cidade noto que eles não tem meandros, não tem barrancos, não tem barcos, não tem peixes; enfim, tudo aquilo que o imaginário popular costuma associar com rios. Volto-me para a realidade e percebo que não se trata mais de cursos d’água naturais, com funções de lazer, alimentação, transporte, irrigação, etc., mas de canais artificiais de condução de esgotos, que caminham pastosamente por entre caminhos e automóveis. Sinto saudades de um tempo que não vivi, de um rio que não vi.”

Valério Victorino

SUMARIO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
EPIGRAFE	iii
LISTA DE ILUSTRACOES	vi
RESUMO	1
ABSTRACT	2
 1 - INTRODUCAO	 3
 2 – ESTRUTURA FISICA DO MEIO AMBIENTE DO MUNICIPIO DE BELEM	 5
2. 1 – ÁREA DE ESTUDO E CONDICÖES DEMOGRÁFICAS	5
2. 2 – FISIOGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO	10
2. 2. 1 – Fisiografia do DAMOS	11
2. 2. 2 – Fisiografia da ilha de Caratateua	13
2. 2. 3 – Fisiografia do DAICO.....	15
 2. 3 – ESTRUTURA DA PAISAGEM DO MUNICÍPIO DE BELÉM	 17
2. 3. 1 - Geologia e geomorfologia	17
2. 3. 2 - Relevo	24
2. 3. 3 - Hidrografia	27
2. 3. 4 - Solos	30
2. 3. 5 - Clima	32
2. 3. 6 - Vegetacao.....	33
 3 – ARCABOUCO TEORICO	 36
3. 1 – NEOTECTONICA DO NORDESTE PARAENSE	36
3. 2 – ECOLOGIA DA PAISAGEM	39
3. 3 – GEOPROCESSAMENTO E ECOLOGIA DA PAISAGEM	42
3. 3. 1 – Geoprocessamento	42
3. 3. 2 – Sensoriamento remoto	43

3. 3. 3 – Sistemas de informacoes geograficas (SIG)	44
3. 3. 4 – Modelagem numerica de terreno	46
4 – MATERIAIS E METODOS	50
4. 1 – PRÉ-PROCESSAMENTO DE DADOS	50
4. 2 – MODELAGEM NUMÉRICA DE TERRENO	55
4. 3 – GERACAO DE CARTOGRAFIAS TEMÁTICAS DIGITAIS	58
4. 3. 1 – Mapa de Declividade	58
4. 3. 2 – Mapa de Aspecto (Orientacao das Vertentes)	59
4. 3. 3 – Mapa das Bacias Hidrograficas	59
4. 3. 4 – Mapa das Areas de Baixadas	60
4. 3. 5 – Mapa das Faixas de Dom nio dos Igarapes	60
4. 3. 6 – Mapa de Lineamentos Tectonicos	60
5 - RESULTADOS E DISCUSSAO	61
5. 1 – CARACTERIZACAO DA PAISAGEM	61
5. 1. 1 – Modelos Numericos de Terreno.....	62
5. 1. 2 – Mapa de Declividade	68
5. 1. 3 – Mapa de Aspecto	76
5. 1. 4 – Mapa das Bacias Hidrograficas	80
5. 1. 5 – Mapa das Areas de Baixadas	84
5. 1. 6 – Mapa das Faixas de Dom nio dos Igarapes	88
5. 1. 7 – Mapa de Lineamentos Tectonicos	92
5. 1 – CONSIDERACOES ACERCA DA DINAMICA DA PAISAGEM	96
6 - CONCLUSOES	104
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	106

LISTA DE ILUSTRA ES

FIGURAS

Figura 2. 1 – Localizacao da área de estudo	5
Figura 2. 2 – Distrito Administrativo de Mosqueiro (DAMOS)	6
Figura 2. 3 – Mapa do Distrito Administrativo de Mosqueiro (DAMOS)	7
Figura 2. 4 – Mapa da Ilha de Caratateua, Distrito Administrativo de Outeiro (DAOUT)	8
Figura 2. 5 – Mapa do Distrito Administrativo de Icoaraci (DAICO)	9
Figura 2. 6 – Mosaico fotográfico da Ilha de Mosqueiro – Distrito Administrativo de Mosqueiro (DAMOS)	12
Figura 2. 7 – Mosaico fotográfico da Ilha de Caratateua – Distrito Administrativo de Outeiro (DAOUT)	14
Figura 2. 8 – Mosaico fotográfico do Distrito Administrativo de Icoaraci (DAICO)..	16
Figura 2. 9 – Esboco geológico nas áreas investigadas neste trabalho, produzido a partir do processamento de dados de Costa (2001)	19
Figura 2. 10 – Fotografias da sequencia aflorante da Formacao Barreiras na Praia do Barro Branco - (I) Plintito, (II) Horizonte Concrecionário e (III) Depósito Organico	20
Figura 2. 11 – Fotografias da sequencia aflorante da Formacao Barreiras na Praia do Barro Branco- (I) Plintito, (II) Replintificacao	20
Figura 2. 12 – Fotografias da sequencia aflorante da Formacao Barreiras na Prainha - (I) Plintito, (II) Horizonte Concrecionário e (III) Depósito Organico-Mineral	21
Figura 2. 13 – Fotografias dos depósitos modernos macicos, com estruturas mega-prismáticas na Prainha, Ilha de Caratateua	21
Figura 2. 14 – Fotografias dos depósitos supeiores, com laterizacoes incipientes e/ou relaterizacoes dos mantos concrecionários	22
Figura 2. 15 – Perfil esquemático, de uma parte da RMB, relacionando as principais unidades litológicas e as feicoes geomorfológicase estruturais da área (Pinheiro, 1987)	24

Figura 2. 16 – Perspectiva ortográfica do Modelo Numérico de Terreno (MNT) da Região Metropolitana de Belém.....	26
Figura 2.17 – Hidrografia e área antropizada da Ilha de Mosqueiro.....	28
Figura 2.18 – Hidrografia e área antropizada da Ilha de Caratateua.....	29
Figura 2.19 – Hidrografia e área antropizada do Distrito Administrativo de Icoaraci	30
Figura 2. 20 – Áreas verdes do município de Belém visualizadas em mosaico fotográfico produzido a partir de levantamento aerofotogramétrico do Cadastro Técnico Multifinalitário de Belém (Codem, 1998)	35
Figura 4.1 - Mapa de contornos da Ilha de Mosqueiro (DAMOS), com curvas de nível equidistantes em 5m – processados a partir de base digital na escala 1:10.000	51
Figura 4.2 - Mapa de contornos da Ilha de Caratateua (DAOUT), com curvas de nível equidistantes em 5m – processados a partir de base digital na escala 1:10.000	52
Figura 4.3 - Mapa de contornos dos distritos administrativos de Icoaraci (DAICO) e Bengui (DABEN).....	53
Figura 4. 4 – Tela do programa AutoCAD Map2000, exibindo o ambiente gráfico para edição de cartografias digitais	54
Figura 4. 5 – Tela do programa ArcView GIS 3.3, exibindo o ambiente gráfico para edição e modelamento de superfícies	55
Figura 4. 6 – Estrutura de dado em rede triangular irregular (TIN) adotada para a geração dos MNT's (INPE/DPI, 1998)	57
Figura 5. 1 – MNT da Ilha de Mosqueiro	63
Figura 5. 2 – Perspectiva Ortográfica da Ilha de Mosqueiro	64
Figura 5. 3 – MNT da Ilha de Caratateua.....	65
Figura 5. 4 – Perspectiva Ortográfica da Ilha de Caratateua	66
Figura 5. 5 – MNT dos distritos administrativos de Icoaraci (DAICO) e Bengui (DABEN)	67

Figura 5. 6 – Perspectiva Ortográfica dos distritos administrativos de Icoaraci (DAICO) e Bengui (DABEN)	68
Figura 5. 7 – Declividade da Ilha de Mosqueiro em graus	70
Figura 5. 8 – Declividade da Ilha de Mosqueiro em classes	71
Figura 5. 9 – Declividade da ilha de Caratateua em graus	72
Figura 5. 10 – Declividade da Ilha de Caratateua em classes	73
Figura 5. 11 – Declividade dos distritos DAICO e DABEN em graus	74
Figura 5. 12 – Declividade dos distritos DAICO e DABEN em classes	75
Figura 5. 13 – Mapa de aspecto da Ilha de Mosqueiro.....	77
Figura 5. 14 – Mapa de aspecto da ilha de Caratateua.....	78
Figura 5. 15 – Mapa de aspecto dos distritos de Icoaraci (DAICO) e Bengui (DABEN)	79
Figura 5. 16 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Igarapé Tamanduá	81
Figura 5. 17 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Igarapé Curuperé.....	82
Figura 5. 18 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Igarapé Paracuri.....	83
Figura 5. 19 – Mapa das áreas de baixadas da Ilha de Mosqueiro.....	85
Figura 5. 20 – Mapa das áreas de baixadas da Ilha de Caratateua.....	86
Figura 5. 21 – Mapa das áreas de baixadas dos distritos DAICO e DABEN	87
Figura 5. 22 – Mapa das faixas de domínio do igarapé Tamanduá. Nas áreas em laranja encontram-se os limites das zonas de riscos naturais	89
Figura 5. 23 – Mapa das faixas de domínio do igarapé Curuperé. Nas áreas em laranja encontram-se os limites das zonas de riscos naturais	90
Figura 5. 24 – Mapa das faixas de domínio do igarapé Paracuri. Nas áreas em laranja encontram-se os limites das zonas de riscos naturais	91
Figura 5. 25 – Lineamentos estruturais da ilha de Mosqueiro, visualizados sobre o MNT	93
Figura 5. 26 – Lineamentos estruturais da ilha de Caratateua, visualizados sobre o MNT	94
Figura 5. 27 – Lineamentos estruturais dos distritos DAICO e DABEN, visualizados sobre o MNT	95

Figura 5. 28 – Aspectos da paisagem cultural urbana na bacia hidrográfica do igarapé Tamanduá na Ilha de Mosqueiro, sobrepondo o MNT	97
Figura 5. 29 – Aspectos da paisagem cultural urbana na bacia hidrográfica do igarapé Tamanduá na Ilha de Mosqueiro, sobrepondo a declividade do terreno .	98
Figura 5. 30 – Aspectos da paisagem cultural urbana na bacia hidrográfica do igarapé Curupeté, sobrepondo o MNT	99
Figura 5. 31 – Aspectos da paisagem cultural urbana na bacia hidrográfica do igarapé Curupeté, sobrepondo a declividade do terreno	100
Figura 5. 32 – Aspectos da paisagem cultural urbana na bacia hidrográfica do igarapé Paracuri, sobrepondo o MNT	101
Figura 5. 33 – Aspectos da paisagem cultural urbana na bacia hidrográfica do igarapé Paracuri, sobrepondo a declividade do terreno	102

TABELAS

Tabela 1 – Densidade demográfica, segundo distrito administrativo da área de estudo.....	10
Tabela 2 – Domicílios por situação do domicílio e Taxa Bruta de pessoas por domicílio, segundo distrito administrativo da área de estudo.....	10
Tabela 3 – Desmatamento (%) no Município de Belém.....	34

ANEXOS

Anexo 1 – Mapa de Contornos da Ilha de Mosqueiro
Anexo 2– Mapa de Contornos da Ilha de Caratateua
Anexo 3– Mapa de Contornos dos Distritos DAICO e DABEN
Anexo 4 – Modelo Numérico de Terrenos (MNT) da Ilha de Mosqueiro
Anexo 5 – Modelo Numérico de Terrenos (MNT) da Ilha de Caratateua
Anexo 6 – Modelo Numérico de Terrenos (MNT) dos Distritos DAICO E DABEN
Anexo 7 – Mapa de Declividade da Ilha de Mosqueiro
Anexo 8 – Mapa de Declividade da Ilha de Mosqueiro
Anexo 9 – Mapa de Declividade da Ilha de Caratateua
Anexo 10 – Mapa de Declividade da Ilha de Caratateua

Anexo 11 – Mapa de Declividade dos Distritos DAICO e DABEN

Anexo 12 – Mapa de Declividade dos Distritos DAICO e DABEN

Anexo 13 – Mapa de Aspecto da Ilha de Moqueiro

Anexo 14 – Mapa de Aspecto da Ilha de Caratateua

Anexo 15 – Mapa de Aspecto dos Distritos DAICO e DABEN

Anexo 16 – Bacia Hidrográfica do Igarapé Tamanduá

Anexo 17 – Bacia Hidrográfica do Igarapé Curuperé

Anexo 18 – Bacia Hidrográfica do Igarapé Paracuri

Anexo 19 – Mapa das Áreas de Baixadas da Ilha de Mosqueiro

Anexo 20 – Mapa das Áreas de Baixadas da Ilha de Caratateua

Anexo 21 – Mapa das Áreas de Baixadas dos Distritos DAICO e DABEN

Anexo 22 – Faixa de Domínio do Igarapé Tamanduá

Anexo 23 – Faixa de Domínio do Igarapé Curuperé

Anexo 24 – Faixa de Domínio do Igarapé Paracuri

Anexo 25 – Lineamentos Neotônicos da Ilha de Mosqueiro

Anexo 26 – Lineamentos Neotônicos da Ilha de Caratateua

Anexo 27 – Lineamentos Neotônicos dos Distritos DAICO e DABEN

Anexo 28 – Paisagem Cultural Urbana e MNT na Bacia Hidrográfica do Igarapé Tamanduá

Anexo 29 – Paisagem Cultural Urbana e Declividade na Bacia Hidrográfica do Igarapé Tamanduá

Anexo 30 – Paisagem Cultural Urbana e MNT na Bacia Hidrográfica do Igarapé Curuperé

Anexo 31 – Paisagem Cultural Urbana e Declividade na Bacia Hidrográfica do Igarapé Curuperé

Anexo 32 – Paisagem Cultural Urbana e MNT na Bacia Hidrográfica do Igarapé Paracuri

Anexo 33 – Paisagem Cultural Urbana e Declividade na Bacia Hidrográfica do Igarapé Paracuri

RESUMO

O município de Belém (PA) situado na região nordeste do Estado do Pará, caracteriza-se por apresentar uma posição geográfica próxima ao oceano atlântico, relevo plano, baixas altitudes e clima típico da Amazônia (quente e chuvoso), onde predominam os elevados índices pluviométricos (2.600 a 3.300 mm/ano), condicionando a formação da paisagem. E esta paisagem é esculpida em rochas da formação Barreiras e em sedimentos Pós-Barreiras, estando condicionadas a processos transcorrentes neotectônicos, evidenciados por dois grandes grupos de falhas na escala macroscópica, que cortam os sedimentos Terciário e Quaternários. Um feixe apresenta-se com direção N05E e N60E, o outro feixe com direção N45-55W. Estas falhas produzem "microrelevos", típicos de cidades amazônicas, os quais muitas vezes imperceptíveis, são importantes quando da sua interação com os processos hidrológicos, neotectônicos e de ocupação territorial e gestão do espaço. A associação e/ou interação desses fatores, ou de alguns, são os principais responsáveis por diversos problemas observados, em Belém, quanto ao uso e ocupação do meio físico nas Zonas de Expansão Urbana (ZEU) do município de Belém. Neste trabalho virtualiza-se a estrutura da paisagem e o seu padrão espacial nas bacias hidrográficas dos igarapés Paracuri, Curupeté e Tamandua, localizadas em áreas de expansão urbana do município de Belém, por meio de cartografias temáticas digitais derivadas de Modelos Numéricos de Terrenos (MNT). A geração de tais cartografias possibilitou a extração de informações associadas aos aspectos fisiográficos e aos processos (naturais e artificiais) responsáveis pelo modelamento da superfície nas bacias hidrográficas. Pois a representação tridimensional do espaço, utilizando-se técnicas de geoprocessamento, adquire importância fundamental, quando associado a aplicações voltadas para o uso e ocupação do meio físico nos espaços urbanos das grandes cidades, se constituindo em informações valiosas para trabalhos futuros que envolvam aspectos ambientais, geotécnicos e de planejamento do uso e ocupação do meio físico nas bacias hidrográficas. E a utilização integrada de MNT's com outros tipos de dados, ampliaram o conhecimento sobre a realidade da paisagem, permitindo visualizar os fenômenos decorrentes de intervenções naturais e antrópicas sobre o espaço urbano, e submeter tais modelos a avaliação.

ABSTRACT

The municipal district of Belém (PA) located in the northeast area of the State of Pará, it is characterized by presenting an outstanding originality, due to his close geographical position to Atlantic ocean, relief plane, low altitudes and typical climate of the Amazonian (hot and rainy), where they prevail the high indexes (2.600 to 3.300 mm/ano), conditioning the formation of the landscape. And their landscapes are sculpted in rocks of the formation Barreiras and sediments Pós-Barreiras and generated by a process of extension lithosphere neotectonic, evidenced by two great groups of faults in the macroscopic scale in the Tertiary-quaternary sediments. A bunch with direction N05E and N60E. And a bunch with direction N45-55W. These faults origin "microrelief" typical of Amazonian cities, the ones which many imperceptible times, they are important when of his interaction with the processes hidrologics, neotectonics and use of the soil. And the association and/or interaction of those factors, or of some, they are the main ones responsible for several observed problems in the Urban Expansion Zones (ZEU), in Belém, as for the use and occupation of the physical middle in the hidrographics basins. In this work it is characterized the structure of the landscape and their space pattern in the watersheds of the igarapés Paracuri, Curuperé and Tamanduá, all those located in the Area of Urban Expansion of the municipal district of Belém. In this work the structure of the landscape and her space pattern in the watersheds it is characterized, through digital thematic cartographies derived of Models Numeric of Terrain (MNT). The generation of such cartographies made possible the extraction of information associated to the physiographic aspects and to the processes (natural and artificial) responsible for the modelling of the surface in the watersheds. Because the three-dimensional representation of the space, being used geoprocessing techniques, acquires fundamental importance, when associate to applications gone back to the use and occupation of the physical middle in the urban spaces of the great cities, if constituting in valuable information for future works that involve environmental aspects, geotecnics and of planning of the use and occupation of the physical middle. And the integrated use of MNT's with other types of data, they enlarged the knowledge about the reality of the landscape, allowing to visualize the current phenomena of natural interventions and antropics on the urban space, and to submit such models to the evaluation.

1 - INTRODUCAO

O município de Belém (PA) está situado na região nordeste do Estado do Pará e, nas proximidades da linha do equador ($01^{\circ} 27' 21''$ S/ $48^{\circ} 30' 16''$ W), situa-se na Região Metropolitana de Belém (RMB), esta composta por mais quatro municípios (Ananindeua, Marituba, Benevides e Santa Bárbara do Pará). Os municípios da RMB se caracterizam por apresentarem uma originalidade marcante, com relevo plano, baixas altitudes e clima típico da Amazonia (quente e chuvoso), onde predominam os elevados índices pluviométricos (2.600 a 3.300 mm/ano). A geomorfologia da RMB atesta a existencia de "microrelevos", típicos das paisagens amazonicas, os quais muitas vezes imperceptíveis, mas importantes na sua interação com os processos hidrológicos, estruturais, neotectônicos, sendo elementos chaves no entendimento da paisagem. Os microrelevos são resultado das interações da tectônica, da litologia e do clima em tempos atuais. E são importantes para o entendimento e para o estabelecimento de suas potencialidades quanto a sua capacidade de suportar o desenvolvimento urbano/industrial, minimizando assim os efeitos ou impactos na fisiologia da paisagem.

O município de Belém caracteriza-se em sua ecologia da paisagem, por uma rica e bem distribuída rede hidrográfica (rios, furos, canais e igarapés). Todo esse potencial hídrico é responsável, principalmente, pelo abastecimento de água e transporte fluvial na região (Oliveira et al, 2000). As paisagens são esculpidas em rochas da formação Barreiras e em sedimentos Pós-Barreiras, e geradas por processos neotectônicos, evidenciados por dois grandes conjuntos de falhas na escala macroscópica observados nos sedimentos do Terciário e Quaternários. Um feixe apresenta direção N05E e N60E, o outro feixe apresenta-se com direção N45-55W. Ambos representam as transcorrências do sistema distensivo neotectônico (Costa et al, 1996). A associação e/ou interação desses fatores, ou de alguns, são os principais responsáveis por diversos problemas observados, em Belém, quanto ao uso e aproveitamento do meio físico nas bacias hidrográficas, em áreas urbanas, tais como a ocupação de áreas topograficamente baixas, denominadas de "baixadas", que compreendem todas as áreas abaixo da cota de 4m, sujeitas a enchentes periódicas, e o uso e ocupação de áreas inadequadas à expansão urbana, comprometendo os recursos hídricos (subterrâneos e superficiais), assim como o próprio bem estar geral da população

(Oliveira et al, 2000). Esse quadro demonstra a necessidade de elaboracao de estudos com enfoque no reconhecimento da diversidade paisagística e nos processos de formacao da paisagem. E que forneçam subsídios as acoes ou políticas públicas que minimizem os impactos decorrentes das atividades antrópicas.

Este trabalho objetiva em uma primeira aproximacao a análise integrada do meio natural e de sua ecodinamica, através de uma abordagem sintética da ecologia da paisagem nas bacias hidrográficas da zona de expansao urbana do município de Belém, que englobam um complexo mosaico dos meios naturais em transformacao decorrente de acoes antrópicas e, portanto passíveis de serem mapeadas. Nesse contexto é imperativo a elaboracao de cartografias temáticas digitais derivadas de Modelos Numéricos de Terrenos (MNT), como mapas de declividade, de aspecto, de bacias hidrográficas, de faixa de domínios dos igarapés, lineamentos tectonicos e arruamentos, para a definicao da estrutura da paisagem e seu padrao espacial, com abordagem dos fatos fundamentais, das limitacoes, e das potencialidades e de algumas recomendacoes em nível generalizado.

O presente estudo corresponde a elaboracao de cartografias temáticas digitais a partir de MNT para caracterizacao dos aspectos físicos da paisagem, cujo objetivo é individualizar zonas homólogas, com características similares, possibilitando orientar as diretrizes de planejamento e gestao para as bacias hidrográficas. A identificacao e caracterizacao dos arranjos espaciais das paisagens foram obtidas com base na análise integrada dos temas envolvidos, complementados por informacoes de produtos de sensoriamento remoto (ortofotos e mosaicos fotográficos), cartas topográficas (1:10.000 e 1:2.000). E como auxílio de ferramentas de geoprocessamento, foram integradas em um ambiente de Sistemas de Informacoes Geográficas e de banco de dados geográficos, permitindo o desenvolvimento de produtos voltados para a geracao de informacoes básicas, com vistas a fornecer subsídios a organizacao do espaco geográfico das bacias hidrográficas do município de Belém.

2 – ESTRUTURA FISICA DO MEIO AMBIENTE DO MUNICÍPIO DE BELEM

2.1 – ÁREA DE ESTUDO E CONDIÇÕES DEMOGRÁFICAS

O município de Belém localiza-se na região Nordeste do Estado do Pará, totalizando uma área de 505,823 Km², com 34,36% de áreas continentais e 65,64% insulares (Figura 2.1). E encontra-se dividido político-administrativamente em oito distritos administrativos: Mosqueiro (DAMOS), Outeiro (DAOUT), Icoaraci (DAICO), Benguá (DABEN), Entroncamento (DAENT), Sacramento (DASAC), Belém (DABEL) e Guamá (DAGUA) (Segep, 1999).

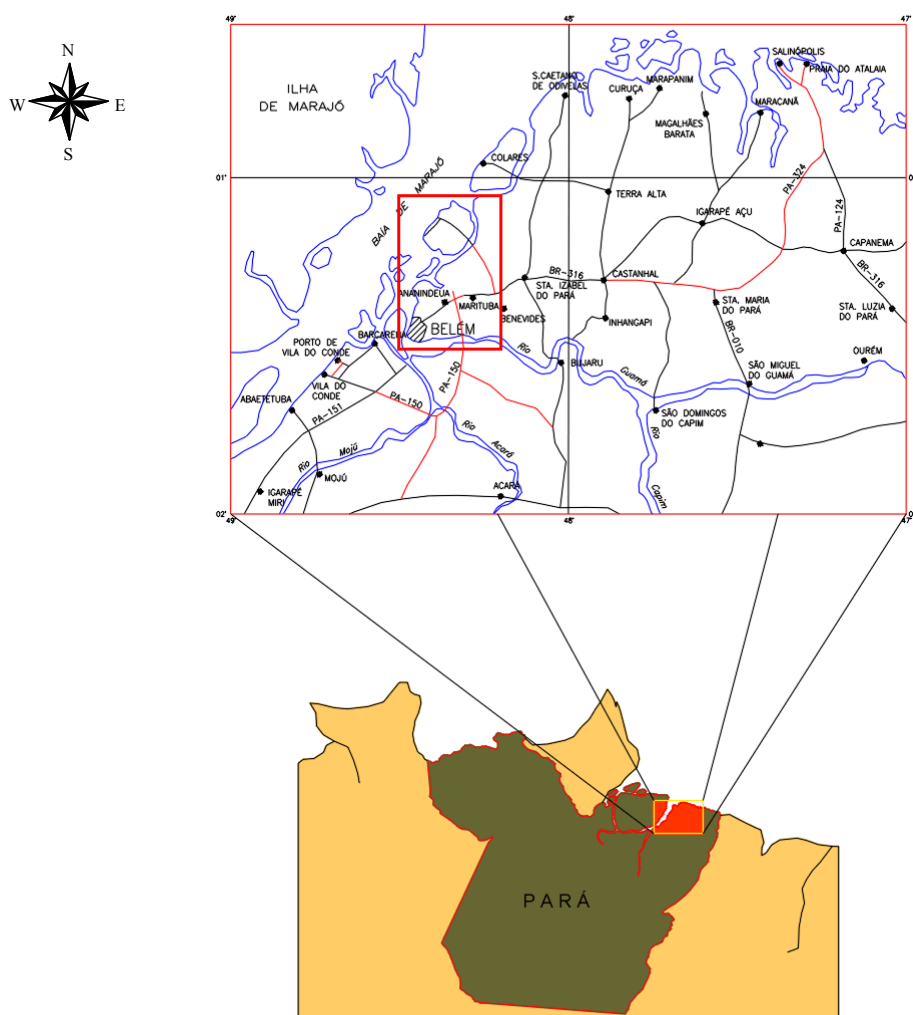


Figura 2.1 – Localização da área de estudo.

O DAMOS está situado a aproximadamente 82 km, via rodoviária, na região limitada pela margem direita da Baía do Marajó e a margem direita do Furo das Marinhas (Figura 2.3). O DAMOS é constituído por dezenove bairros, população de 27.896 habitantes (Tabela 1) e 6.347 domicílios (Tabela 2), distribuídos em uma superfície de 220.641 Km² (Segep, 1999).

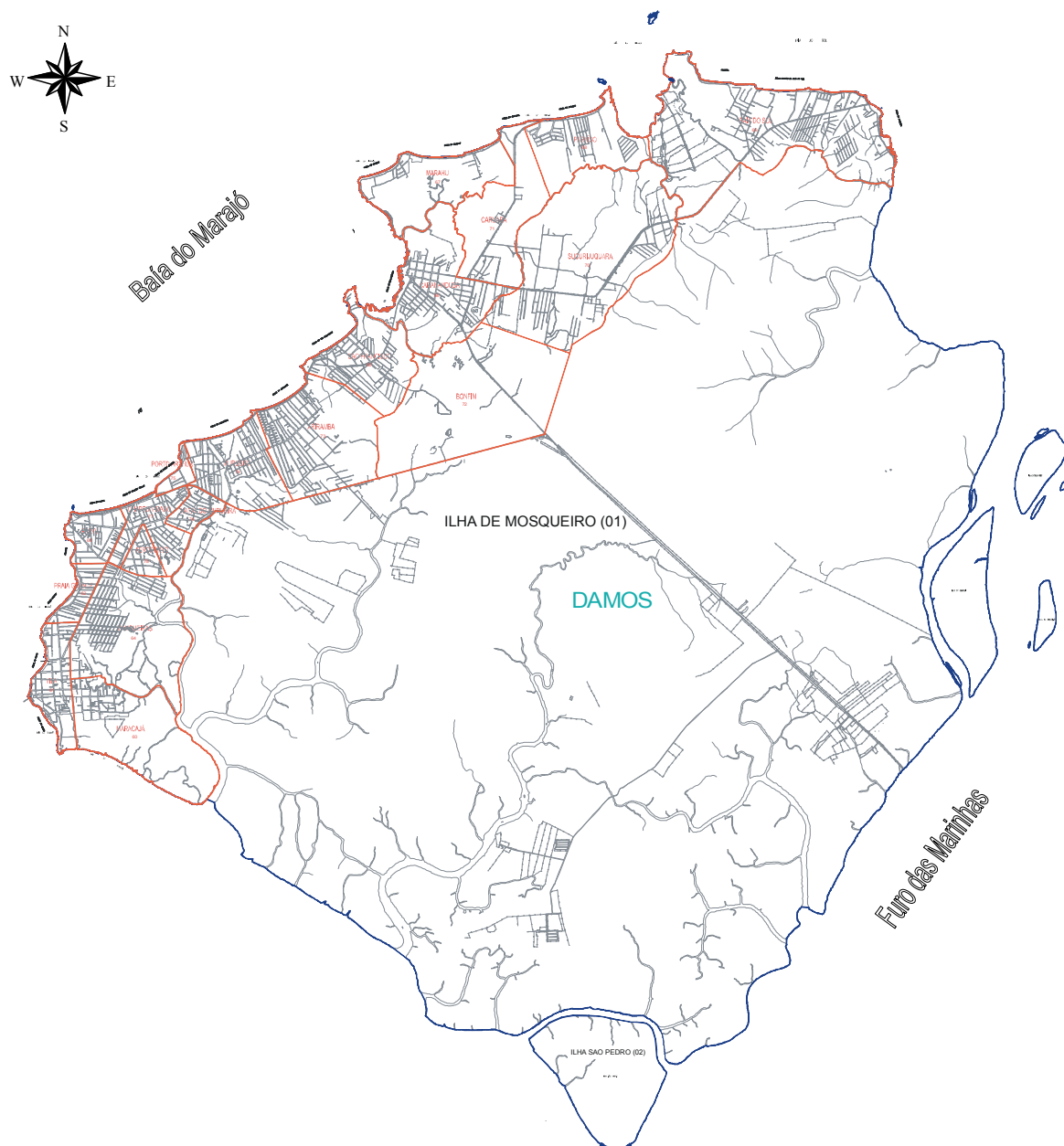


Figura 2. 3 – Mapa do Distrito Administrativo de Mosqueiro (DAMOS).

O DAOUT está situado a aproximadamente 25 km do centro de Belém, na região limitada pela margem direita da Baía de Santo Antonio e a margem direita do Rio Maguari. O DAOUT é constituído por 19 ilhas, sendo a ilha de Caratateua (Figura 2.4) a de maior extensão, com quatro bairros, população de 26.225 habitantes (Tabela 1) e 6.338 domicílios (Tabela 2), distribuídos em uma superfície de 111.395 Km² (Segep, 1999).

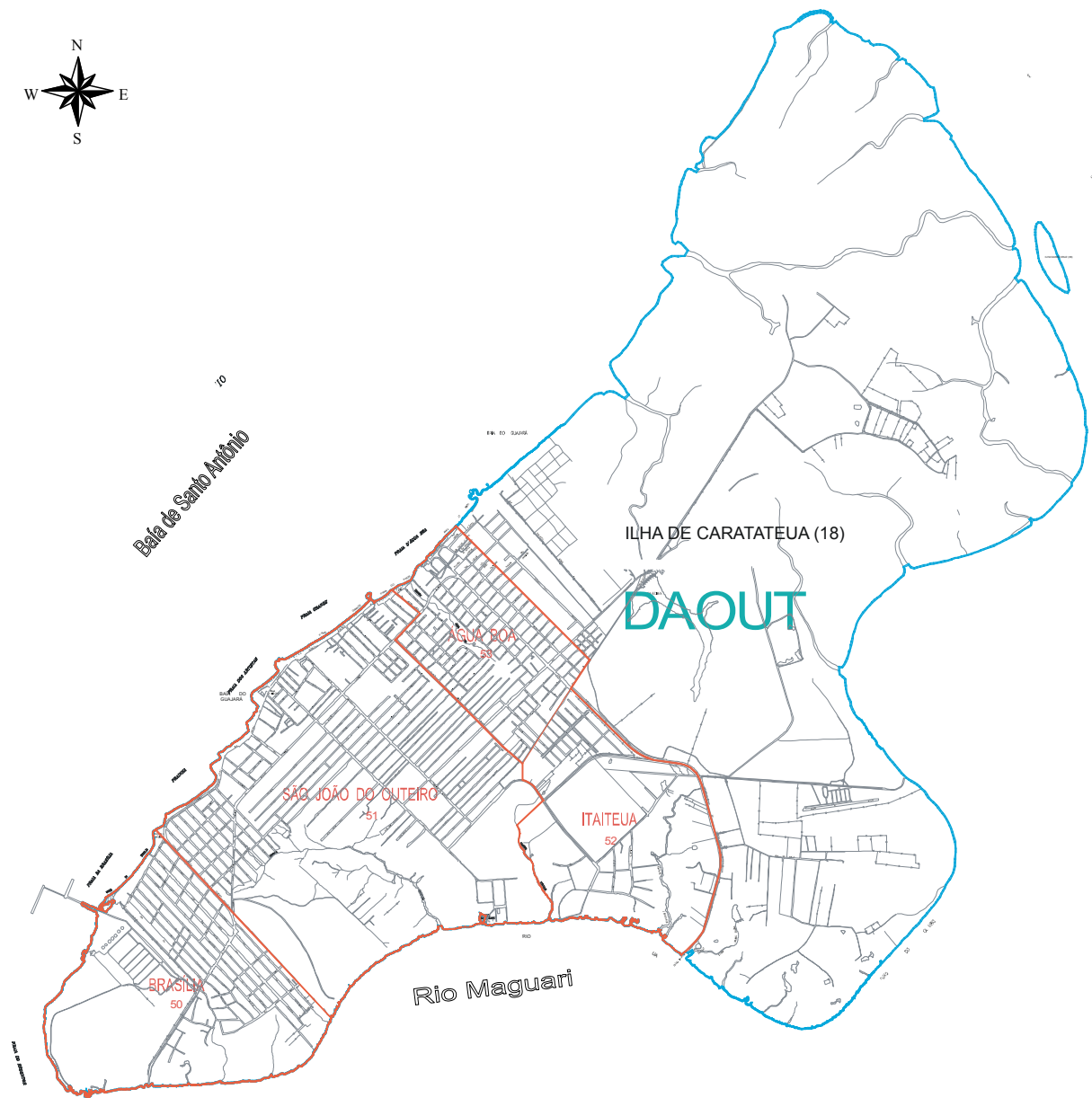


Figura 2. 4 – Mapa da Ilha de Caratateua, Distrito Administrativo de Outeiro (DAOUT).

O DAICO está situado a aproximadamente 18 km ao Norte do centro de Belém, na região limitada pela margem direita da Baía do Guajará e a margem esquerda do Rio Maguari (Figura 2. 5). O DAICO é constituído por nove bairros, população de 133.150 habitantes (Tabela 1) e 31.522 domicílios (Tabela 2), distribuídos em uma superfície de 32.949 Km² (Segep, 1999).

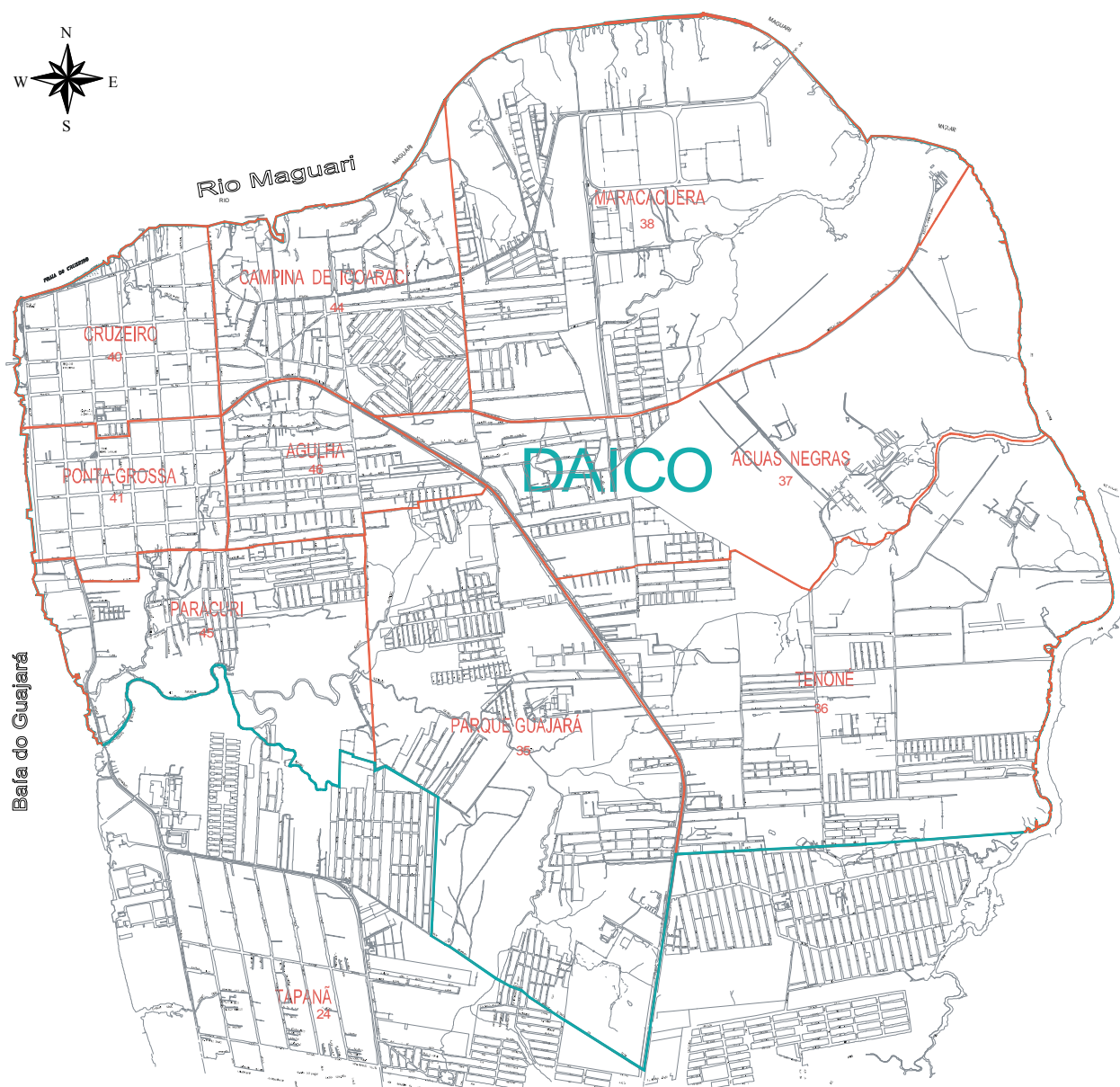


Figura 2. 5 – Mapa do Distrito Administrativo de Icoaraci (DAICO).

Tabela 1 – Densidade demográfica, segundo distrito administrativo da área de estudo.

Distrito Administrativo	Área (Km ²)	População	Densidade Demográfica
DAMOS	220,641	27.896	126,43
DAOUT	111,395	26.225	235,42
DAICO	32,949	113.150	4.041,00

Fonte: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, Censo Demográfico, 2000

Tabela 2 – Domicílios por Situação e Taxa Bruta de pessoas, segundo distrito administrativo da área de estudo.

Distrito Administrativo	Domicílios	Taxa bruta de pessoas por domicílios	Situação do Domicílio	
			Urbana	Rural
DAMOS	6.347	4,29	5.972	375
DAOUT	6.338	4,12	4.893	1.445
DAICO	31.522	4,22	31.522	-

Fonte: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, Censo Demográfico, 2000

2. 2 – FISIOGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO

A fisiografia das áreas de estudo é caracterizada por baixas altitudes e relevo plano, envolvendo superfície continental, transicional, insular e sub-aquática, pois situa-se na típica região do Estuário Guajará. O Estuário Guajará, ambiente fluvial com influências marinhas, forma-se na confluência dos rios Pará, Acará e Guamá. Este último limita o município de Belém ao sul e, a Baía de Marajó a Norte (Penteado, 1967). A análise da fisiografia de cada distrito administrativo foi efetuada a partir da investigação usual de mosaicos fotográficos, na escala 1:25.000, provenientes do Levantamento Aerofotogramétrico do Município de Belém, do ano de 1998.

2. 2. 1 – Fisiografia do DAMOS

A fisiografia do DAMOS caracteriza-se pelo predomínio de baixas altitudes (cotas médias de 15 m), relevo plano a suavemente ondulado típico do estuário Guajarinó, com morfografias de platos/planaltos sustentados por rochas Terciárias e planícies de inundação Quaternárias.

A rede hidrográfica que caracteriza o DAMOS é formada pelas baías do Marajó, do Sol e de Santo Antonio, pelos furos do Maguari, Marinhas e Santa Rosa, pelos rios Murubira, Pratiçara, Cajueiro e Mari-Mari (Figura 2.6). Os principais igarapés são o Tamanduá, do Pocão, do Cajueiro, Carananduba, Pindauatua, Jacareçara, Sucuriçara, Ipixuna e Irapara que recortam em sua grande maioria áreas em processo de urbanização, na porção norte, noroeste e sudoeste, ou áreas pouco urbanizadas na porção central, nordeste e sudeste da ilha. A drenagem retangular exibe um forte controle estrutural.

Os platos Terciários são moldados em rochas da Formação Barreiras, correspondendo as maiores altitudes (20 a 25m), são recortados em quatro níveis de terraços, em consequência da alternância dos períodos de sedimentação e erosão do final do Terciário, dando origem as falésias que se distribuem ao longo da faixa litorânea na porção nordeste e noroeste da ilha (Pará, 1995). Os platos são resultantes da ação tectônica sobre a planície fluvial, dando origem assim aos planaltos escalonados destas antigas paisagens dominantes.

As planícies de inundação quaternárias compõem um emaranhado de furos e igarapés, com partes sujeitas a inundações periódicas (baixadas inundáveis) quer pelas águas das chuvas, quer pelas águas das marés diárias ou de equinócio. Estas áreas inundáveis se limitam pelo nível máximo das marés, e distribuem-se ao longo da faixa litorânea a sudoeste da ilha e dos principais furos e igarapés que compõem a fisiografia do DAMOS. As planícies de inundação podem encontrar-se constituídas por materiais continentais que apresentam maior intemperismo/saprolitização e que foram truncadas e/ou soterradas por ações das neopaisagens e a geração de novos sedimentos e novas formas de relevo ou novas unidades fisiográficas de cada paisagem.

No mosaico fotográfico (Figura 2.6), nota-se a variação no tipo de vegetação (de várzea, floresta densa e de floresta secundária), o avanço da expansão urbana na

porção noroeste e sudoeste, caracterizado por diversos padrões de uso e ocupação do solo.



Figura 2. 6 – Mosaico fotográfico da Ilha de Mosqueiro – Distrito Administrativo de Mosqueiro - DAMOS (Codem, 1998).

2. 2. 2 – Fisiografia da ilha de Caratateua

A análise visual do mosaico fotográfico, na escala 1:25.000, do ano de 1998, exhibe para a Ilha de Caratateua (DAOOUT) uma morfografia com baixas altitudes (cotas médias de 10 m) e relevo colinoso a suave ondulado, marca a margem leste do Estuário Guajarino. Como na região de Mosqueiro, exhibe morfologia de platos e planícies de inundação.

A rede hidrográfica é caracterizada pelas baías do Guajará e Santo Antonio, Rio Maguari, e pelos furos do Outeiro e Maguari (Figura 2.7). Os principais igarapés são o Água Boa, Curuparé, Itaiteua, Jararaca e Traira que recortam em sua grande maioria áreas urbanizadas ou de expansão urbana. As drenagens apresentam forte controle estrutural, com direção N05E, N60E e N45-55W.

Os platos são moldados em rochas da Formação Barreiras e recortados em três níveis de terraços, em consequência da alternância dos períodos de sedimentação e erosão do final do Terciário, dando origem às falésias que se distribuem ao longo da faixa litorânea na porção noroeste e sudoeste da ilha (Pará, 1995).

As planícies de inundação quaternárias compostas de furos e igarapés, com partes sujeitas a inundações periódicas (baixadas inundáveis), correspondem ao nível das "baixadas", que se identifica com o nível máximo das marés, distribuindo-se ao longo da faixa litorânea a norte, nordeste e a sudeste da ilha, e ao longo dos principais igarapés que compõem a fisiografia da ilha.

No mosaico fotográfico (Figura 2.7), nota-se a variação no tipo de vegetação (de várzea, floresta densa e de floresta secundária), a área urbana na porção sudoeste da ilha, e os padrões de uso e ocupação do solo.



Figura 2. 7 – Mosaico fotográfico da Ilha de Caratateua – Distrito Administrativo de Outeiro (DAOUT).

2. 2. 3 – Fisiografia do DAICO

A análise visual do mosaico fotográfico, na escala 1:25.000, exhibe para o DAICO uma morfografia com baixas altitudes (cotas médias de 10 m) e relevo plano a suave ondulado, típica do Estuário Guajarino. Como nas ilhas de Mosqueiro e Caratateua, exhibe morfologia de platos e planícies de inundacao (Cebro, 1976).

A rede hidrográfica que caracteriza o DAICO é formada pela Baía do Guajará, Rio Maguari, Rio Ariri e igarapés (Paracuri, Outeiro e Anani), e canais (Pimenta Bueno, Cubatao, Águas Negras e Santa Isabel) que recortam em sua grande maioria áreas densamente urbanizadas. A rede hidrográfica que compoe as bacias hidrográficas do DAICO exibem um forte controle estrutural (Figura 2.8).

Os platos sao moldados em rochas da Formacao Barreiras e recortados em tres níveis de terracos, em consequencia da alternancia dos períodos de sedimentacao e erosao do final do Terciário (Pará, 1995).

As planícies de inundacao sao compostas pelos canais e igarapés, com partes sujeitas a inundacoes periódicas (baixadas inundáveis), que correspondem ao nível das "baixadas" com cotas inferiores a 4 metros. E distribuem-se ao longo dos principais canais e igarapés que compoem a fisiografia do DAICO.

No mosaico fotográfico (Figura 2. 7), nota-se a expansao urbana avancando sobre a vegetacao de várzea, de floresta densa e de floresta secundária (porcao nordeste). Na bacia hidrográfica do igarapé Paracuri, porcao sudeste do DAICO, nota-se um avanco sobre as matas ciliares ao longo do principal curso d'água. E o uso e ocupacao do solo apresentam características de estágios avancados de urbanizacao, evidenciado pelas áreas densamente urbanizadas a oeste, e pelas áreas de atividades industriais nas margens e no Distrito Industrial de Icoaraci, a leste e nordeste do DAICO.



Figura 2. 8 – Mosaico fotográfico do Distrito Administrativo de Icoaraci (DAICO).

2. 3 - ESTRUTURA DA PAISAGEM DO MUNICÍPIO DE BELÉM

2. 3. 1 - Geologia e geomorfologia

Os terrenos que constituem o município de Belém são de rochas sedimentares, sobrejacendo a um substrato granito-gnáissico (Idesp, 1980). Esse pacote sedimentar pertence a bacia sedimentar da foz do Amazonas, com cerca de 700m de espessura. Nele, encontram-se depósitos sedimentares do Terciário, representado pelas formações Pirabas e Barreiras, e do Quaternário, com os sedimentos Pós-Barreiras e Recentes (Figura 2.9) (Farias et al., 1992).

A Formação Pirabas (Mioceno Inferior) é constituída por calcários diversificados intercalados com arenitos calcíferos, argilas negras e folhelhos rítmicos. Apresentam um variado conteúdo macro e microfossífero animal, e vegetais piritizados (Rosseti et al., 1989). Esta unidade não aflora na área, e são encontradas em variadas profundidades da ordem de centenas de metros.

A Formação Barreiras é constituída de sedimentos continentais, argilosos, arenosos e ocasionalmente conglomeráticos e ferruginizados (Gres do Pará). Apresenta estratificações cruzadas, conteúdo fóssilífero constituído por vegetais e fósseis animais. Segundo Igreja et al. (1990) a camada argilo-arenosa é constituída predominantemente de argila de coloração esbranquiçada, com manchas avermelhadas, arroxeadas e/ou amareladas, resultantes do intemperismo (plintito típico). Observa-se variações granulométricas locais principalmente arenosas, no topo da camada também ocorrem níveis microconglomeráticos, que constituem as bases das falésias e na baixa mar as exposições onde se desenvolvem as praias atuais, frutos do desmantelamento das falésias na ilha de Mosqueiro e Caratateua. Apresenta como estruturas sedimentares principais a laminação de maré plano-paralela (intercalação areia/argila), laminação flase (Silítica-argilosa) e localmente wavy. Identifica-se raízes fósseis, gretas de contração e estruturas diapíricas que atestam a oscilação do nível do mar, com períodos de exposição sub-aérea. Sobreposto a camada argilo-arenosa ocorre um nível pelítico decimétrico, de coloração amarelo-amarronzado, litificado pela laterização. Apresenta-se geralmente horizontalizado, com laminações plano-paralelas milimétricas bem definidas alternando-se nas colorações avermelhadas e amareladas, e

invariavelmente muito coeso. A camada areno-argilosa a areno-conglomerática ocorre estratigraficamente acima da camada argilo-arenosa, geralmente sobre o nível pelítico. É granulosa a conglomerática na base, gradando até níveis areno-argilosos no topo, onde a laterização é mais intensa, salientada pelos megablocos métricos de concreções ferruginosas como pelas estruturas colunares (lateritas retrabalhadas). As principais estruturas sedimentares associadas a esta camada são as estratificações cruzadas de pequeno a médio porte, espinha de peixe e estruturas de escavação e preenchimento, ressaltadas pelos processos de laterização.

O Pós-Barreiras é constituído por sedimentos arenosos, em parte argilo-arenoso ou argilo-conglomerático, apresentado coloração amarelada típica, bastante homogênea, e com estrutura maciça. Esta camada marca o nível de topo das falésias e é sempre sobrejacente a camada areno-argilosa a areno-conglomerática na ilha de Mosqueiro (Farias et al., 1992).

Os Sedimentos Recentes consistem de areias e argilas com silte associado. Estes depósitos tem coloração marrom e são compostos de areias de granulação fina a média, com intercalações de argilas. As argilas são cinzas, marrons e às vezes pretas, com restos de vegetais. Este conjunto de sedimentos ocorrem nas áreas de baixadas inundáveis da faixa litorânea, praias, e nas margens dos rios e igarapés do município (Farias et al., 1992).

As informações geológicas disponíveis foram digitalizadas para uso em SIG, e indicam que as exposições da Formação Barreiras estão expostas somente na Ilha de Caratateua onde a cobertura detrítica superposta foi removida (Figura 2. 9) (Costa, 2001). A base da sequência aflora nas falésias das praias do Barro Branco, da Brasília e Prainha, sendo constituída por um argilito branco, caulínico, de estrutura maciça e também estratificado em camadas com até 10cm de espessura, intercalado a níveis arenosos (Figuras 2. 10 e 2.11). Esse pacote argiloso, em decorrência da alteração laterítica, apresenta manchas avermelhadas ou amareladas de material ferruginoso, aumentando em concentração em direção ao topo da sequência, resultante da distribuição irregular dos óxi-hidróxidos de ferro, endurecidos pela ação combinada das águas da preamar, e da insolação na baixa-mar (Pará, 1995) (Borges & Angélica, 1986). Nos horizontes permeáveis, desenvolveram-se lateritas imaturas de natureza

ferruginosa, bem como horizonte denominado de concrecionário (Figura 2. 12 e 2.13) (Costa et al., 1991).

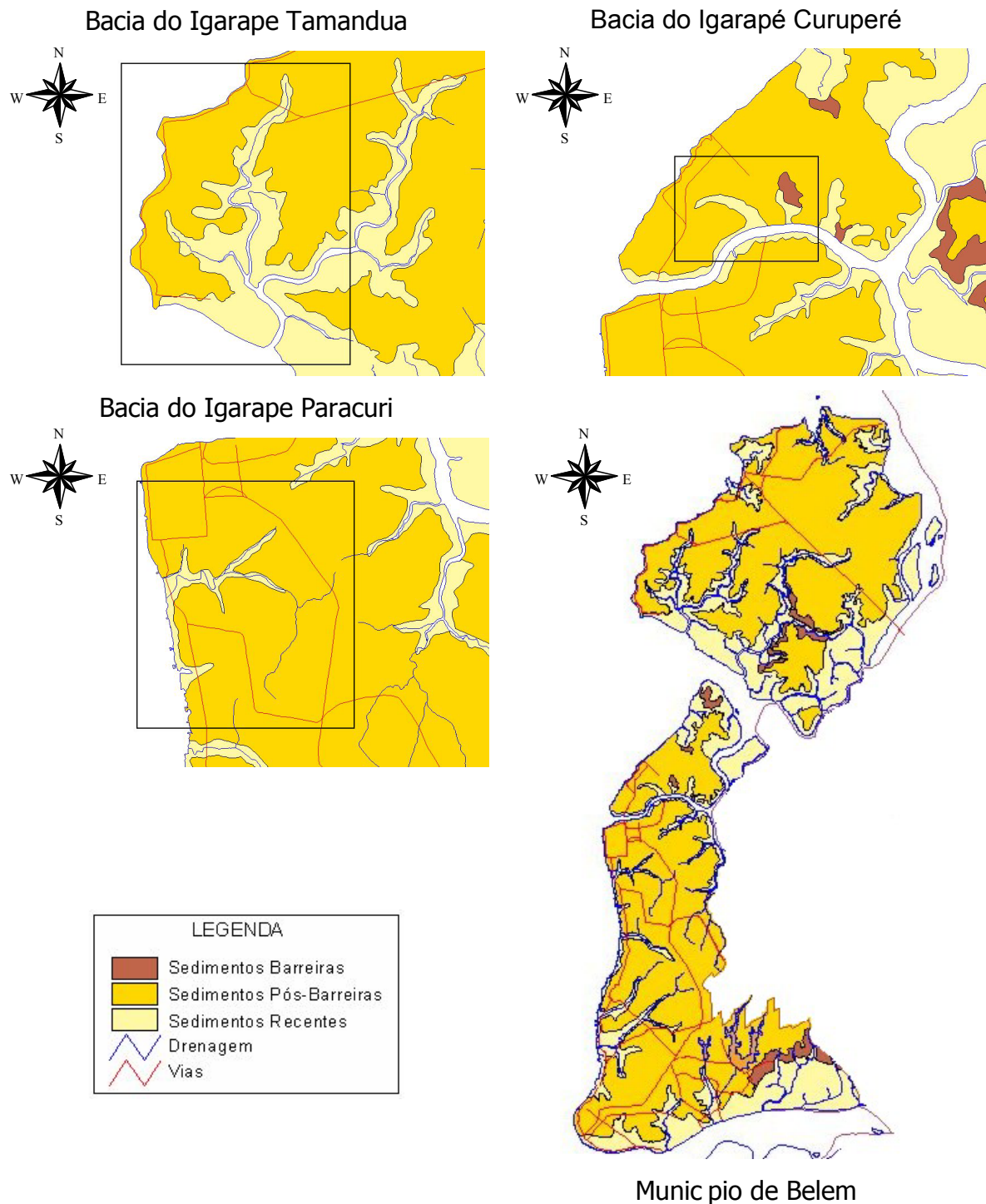


Figura 2.9 – Esboço geológico nas áreas investigadas neste trabalho, produzido a partir do processamento de dados de Costa (2001).



Figura 2. 10 – Fotografia da sequencia aflorante da Formacao Barreiras na Praia do Barro Branco - (I) Plintito, (II) Horizonte Concrecionário e (III) Depósito Organico.



Figura 2. 11 – Fotografia da sequencia aflorante da Formacao Barreiras na Praia do Barro Branco - (I) Plintito, (II) Replintificacao.



Figura 2. 12 – Fotografia da sequencia aflorante da Formacao Barreiras na Prainha - (I) Plintito, (II) Horizonte Concrecionário e (III) Depósito Organico-Mineral.



Figura 2. 13 – Fotografia dos depósitos modernos macicos, com estruturas mega-prismáticas na Prainha, Ilha de Caratateua.

A figura 2. 12 mostra na base dos perfis presença de Plintitos em sistemas estruturais sinformais, possivelmente desenvolvidos durante o Terciário Superior, os quais foram exumados no presente e se encontram soterrados por sedimentos mais recentes como afirma Codem (1975). E que podem estar ainda recobertos por sedimentos marinhos subatuais (Holoceno), e que apresentam pela distribuição dos rios/canais atuais uma tendência e/ou estruturação atual/subatual holocena de “alto estrutural”. E que pode na atualidade estar dando origem a laterizações incipientes e/ou relaterizações dos mantos concrecionários, assim como das camadas arenosas e silto/argilosas, não na forma planar, mas como a presença de canalículos brancos e/ou vermelhos ou ainda tingindo dos materiais totalmente de vermelho/avermelhado nos depósitos superiores como se pode observar na figura 2.14.



Figura 2. 14 – Fotografias dos depósitos superiores, com laterizações incipientes e/ou relaterizações dos mantos concrecionários.

Segundo a Codem (1975), a paisagem do município de Belém consta de quatro unidades geomorfológicas, a saber: (i) Terrenos Sedimentares do Quaternário-Pleistoceno; (ii) Terrenos sedimentares do Quaternário-Holoceno; (iii) Zonas Rebaixadas e Terracos Fluviais Inundáveis, e (iv) Planícies Flúvio-Marinhas, a seguir descritas.

- Terrenos Sedimentares do Quaternário-Pleistoceno

Esta unidade corresponde a pediplanos, com ondulações suaves de topos arredondados. São feições que se sustentam por níveis de concreções ferruginosas e, que podem pertencer a base dos sedimentos Pós-Barreiras. Nas áreas de estudo correspondem as maiores cotas topográficas, destacando-se como a unidade de maior expressão no município.

- Terrenos Sedimentares do Quaternário-Holoceno

Esta unidade corresponde as áreas de baixada na cidade de Belém, com representações significativas nas ilhas de Mosqueiro, Caratateua e no Distrito de Icoaraci. A feição está relacionada a antigos depósitos em terracos fluviais.

- Zona Rebaixada e Terracos Fluviais Inundáveis

Esta unidade corresponde aos depósitos que se sobrepõem aos terrenos quaternários mais antigos, sendo bem representados nas zonas de baixadas do município, em zonas onde ocorrem inundações periódicas, ou por ocorrência de chuvas ou por marés lancantes. Está relacionada as menores cotas topográficas da região, por vezes negativas. A deposição de sedimentos argilosos dá-se com o represamento dos rios e igarapés na região, e com o aporte da maré alta, sendo, encontrados em toda a área de estudo, urbanizada ou não.

- Planícies Flúvio-Marinhas

Esta unidade corresponde as feições das áreas de manguezais, praias, rios e igarapés, onde depositam-se sedimentos modernos. Relaciona-se também as zonas de várzea, em virtude dos constantes períodos alagados.

Segundo Pinheiro (1987) as feições geomorfológicas maiores do município de Belém, tais como os Terrenos Sedimentares do Quaternário-Pleistoceno ("Terra Firme"), Zona Rebaixada e Terracos Fluviais Inundáveis (várzeas) e as Planícies Flúvio-Marinhas (canais fluviais), estariam condicionadas a estruturação do substrato, onde repousam rochas pré-Terciárias, que teriam sido diferenciadas em blocos por falhas normais de baixo rejeito (Figura 2. 15). Estas discontinuidades estariam associadas a uma estabilização tardia da Fossa do Marajó.

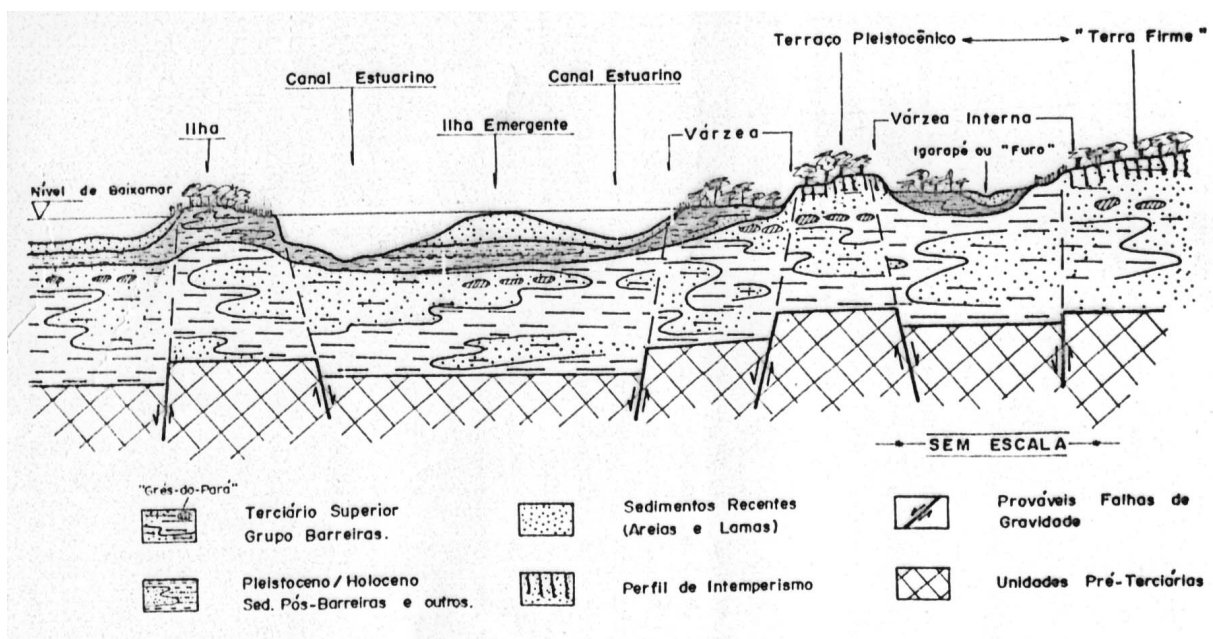


Figura 2. 15 - Perfil esquemático, de uma parte da RMB, relacionando as principais unidades litológicas e as feições geomorfológicas e estruturais da área (Pinheiro, 1987)

2. 3. 2 - Relevo

O relevo da Região Metropolitana de Belém, descrito a partir de bloco diagrama em três dimensões (Figura 2.16), apresenta-se com morfografia bastante uniforme, de plana a suavemente ondulada, baixa, com cotas médias de 15 metros, mínima de 5m, e máxima de 25 metros acima do nível do mar (Oliveira, 1999). Morfologicamente, pertence ao conjunto de formas erosivas constituídas pelas superfícies pediplanadas e pela planície fluvial, caracterizada por um emaranhado de canais recentes, paleocanais,

furos e igarapés, paranás, meandros abandonados e lagos que marcam um complexo de terra e água em evolucao, com partes sujeitas a inundacoes periódicas, baixadas inundáveis, quer pelas águas das chuvas, quer pelas águas das marés diárias ou de equinócio.

A topografia no município de Belém é pouco variável e baixa, atingindo 25m na Ilha do Mosqueiro, ponto de altitude máxima, com as cotas mais baixas chegando a 5m. A ilha de Mosqueiro, apresenta um bloco soerguido a nordeste onde ocorrem falésias, e um rebaixado a sudeste onde se concentram as áreas inundáveis que se estendem para sul e sudoeste. Na ilha de Caratateua a maior altitude situa-se ao redor de 15 m, a sudoeste, com desenvolvimento de falésias, e nota-se um basculamento para nordeste, onde se concentram as planícies inundáveis. No Distrito Administrativo de Icoaraci (DAICO) a maior altitude situa-se ao redor de 15 m, a sudeste e a noroeste, e as áreas mais baixas se estendem por toda a linha de costa, onde se concentram as áreas de baixadas (Pará,1995). Os dados dos elementos naturais da paisagem da RMB foram simulados numericamente e apresentados sob a forma de Modelo Numérico de Terreno (MNT) para fins de visualizacao e interpretacao geomorfológica (Figura 2.16).

As formas de relevo do município sao moldadas em rochas do Terciário e em sedimentos do Quaternário, com características marcantes decorrente de fortes influencias climáticas e elevado índice pluviométrico. Tais formas de relevo, denominadas de "microrrelevos", muitas vezes imperceptíveis, sao importantes quando da sua interacao com os processos hidrológicos, geomorfológicos, neotectonicos e de formacao da paisagem.

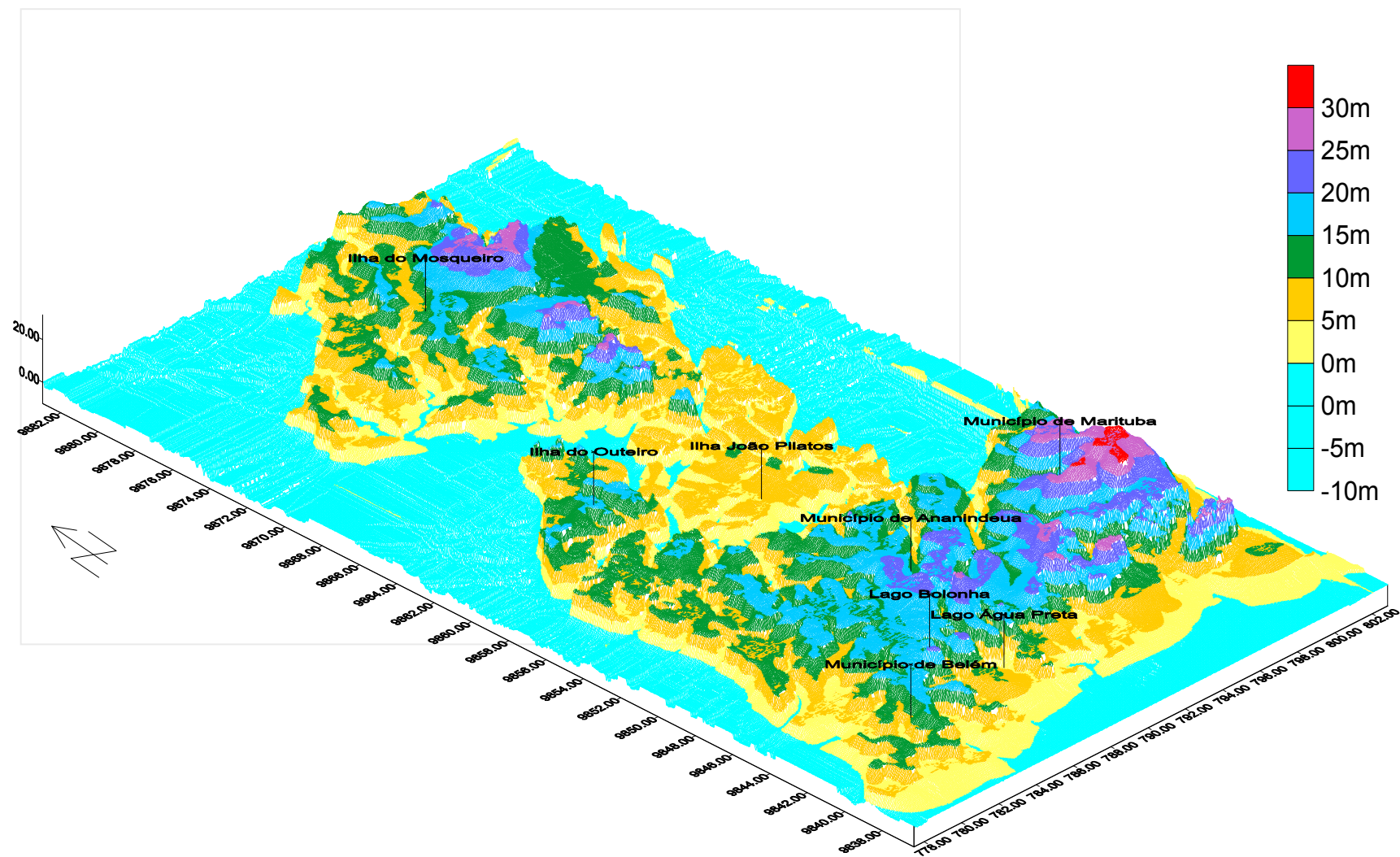


Figura 2. 16 – Perspectiva ortográfica do Modelo Numérico de Terreno (MNT), gerado a partir de dados altimétricos, dos elementos naturais da paisagem para a Região Metropolitana de Belém.

2. 3. 3 - Hidrografia

A rede hidrográfica do município de Belém foi obtida a partir de cartas planialtimétricas, na escala 1:10.000, em formato digital. A avaliação desses dados permitiram caracterizar a hidrografia, como sendo formada por furos, baías, rios e igarapés, que drenam inclusive o centro urbano de Belém. Os elementos hídricos de maior significado para o município são as baías do Guajará, Marajó, Sol e Santo Antonio, e os rios Guamá, Maguari, Murubira, Pratiçara e Aurá, além de inúmeros igarapés que desaguam ao Norte nas baías de Marajó e do Sol, ao Sul e a Leste no Rio Guamá, e a oeste na Baía de Guajará, formando uma drenagem bem distribuída do tipo dendrítica (Merces, 1997).

A baía de Guajará, parte do estuário da foz do rio Amazonas, tem forma alongada e estreita, apresentando continuidade na baía de Marajó a Norte, sofrendo diretamente influência das marés oceânicas. Situa-se a Oeste da cidade de Belém, e recebe as águas dos rios Pará, Acará e Guamá. Suas águas são barrentas e, no período de baixa pluviosidade na região, ficam salobras devido às influências das águas oceânicas (Pinheiro, 1987).

O rio Guamá limita a cidade de Belém pela parte Sul, desaguando na baía de Guajará. Suas águas são barrentas, devido grande quantidade de material em suspensão, provenientes das atividades erosivas nas margens. O material em suspensão é, principalmente, argiloso (Pará, 1995).

Na Ilha de Mosqueiro a drenagem apresenta-se bem desenvolvida, constituindo rios, igarapés e furos com forte controle tectônico, cujos parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas (circularidade e alongação) associados aos parâmetros do relevo e aos regimes de maré evidenciam uma tendência a enchentes rápidas. A rede hidrográfica que caracteriza a Ilha de Mosqueiro é formada pelas baías do Marajó, do Sol e de Santo Antonio, pelos furos do Maguari, Marinhas e Santa Rosa, pelos rios Murubira, Pratiçara, Cajueiro e Mari-Mari. Os principais igarapés são o Tamanduá, do Pocão, do Cajueiro, Carananduba, Pindauatua, Jacareçara, Sucuriçuara, Ipixuna e Irapara (Figura 2.17).

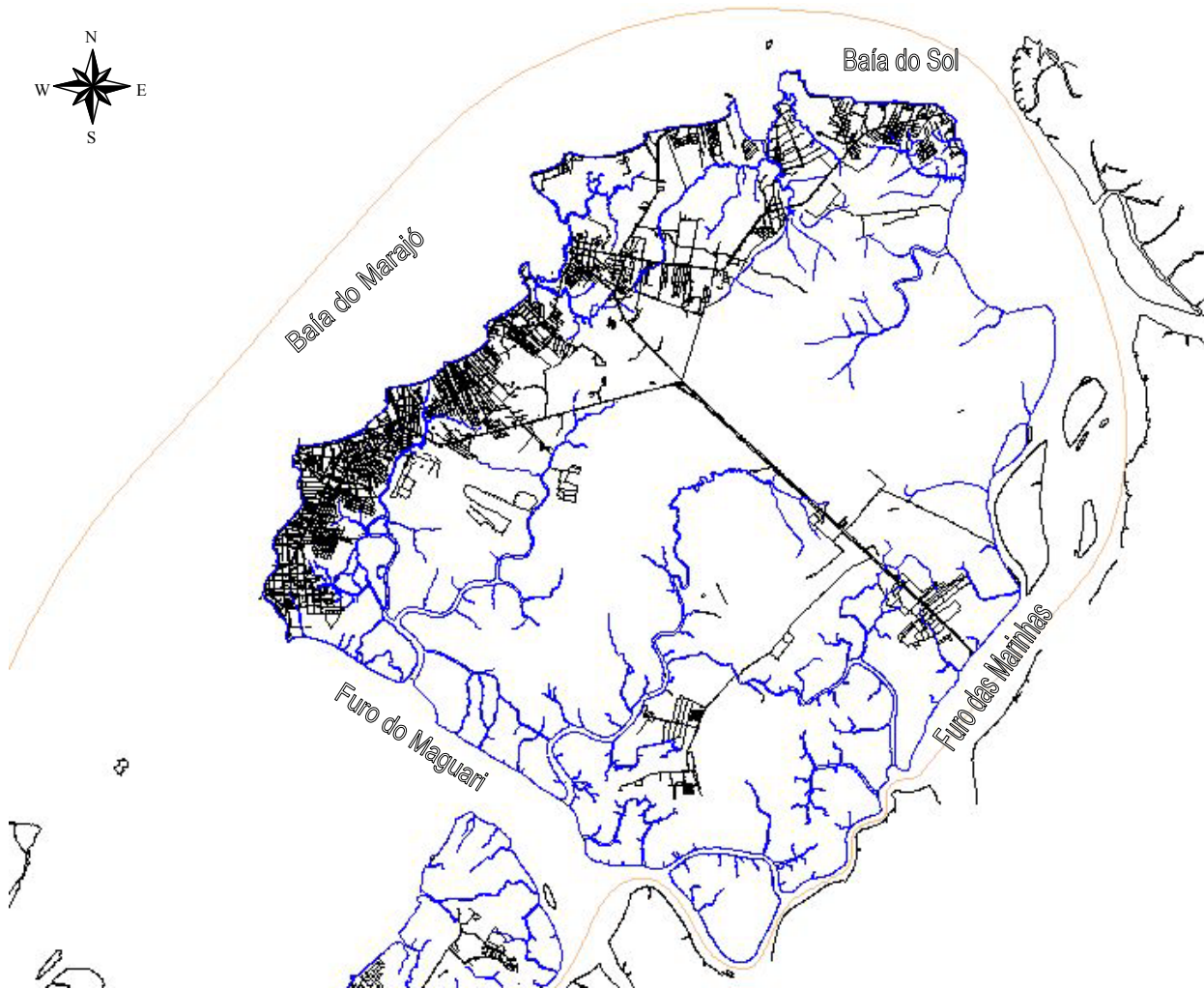


Figura 2.17 – Hidrografia e área antropizada da Ilha de Mosqueiro.

Na Ilha de Caratateua a drenagem apresenta-se pouco desenvolvida, contudo na ilha os igarapés e os furos exibem forte controle tectônico, os parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas (circularidade e alongamento) associados evidenciam uma tendência a enchentes em determinadas áreas a noroeste. A rede hidrográfica que caracteriza o DAOUT é formada pelas baías do Guajará, Santo Antônio, Rio Maguari, e pelos furos do Outeiro e Maguari. Os principais igarapés são o Água Boa, Curupeté, Itaiteua, Jararaca e Traira. (Figura 2.18).

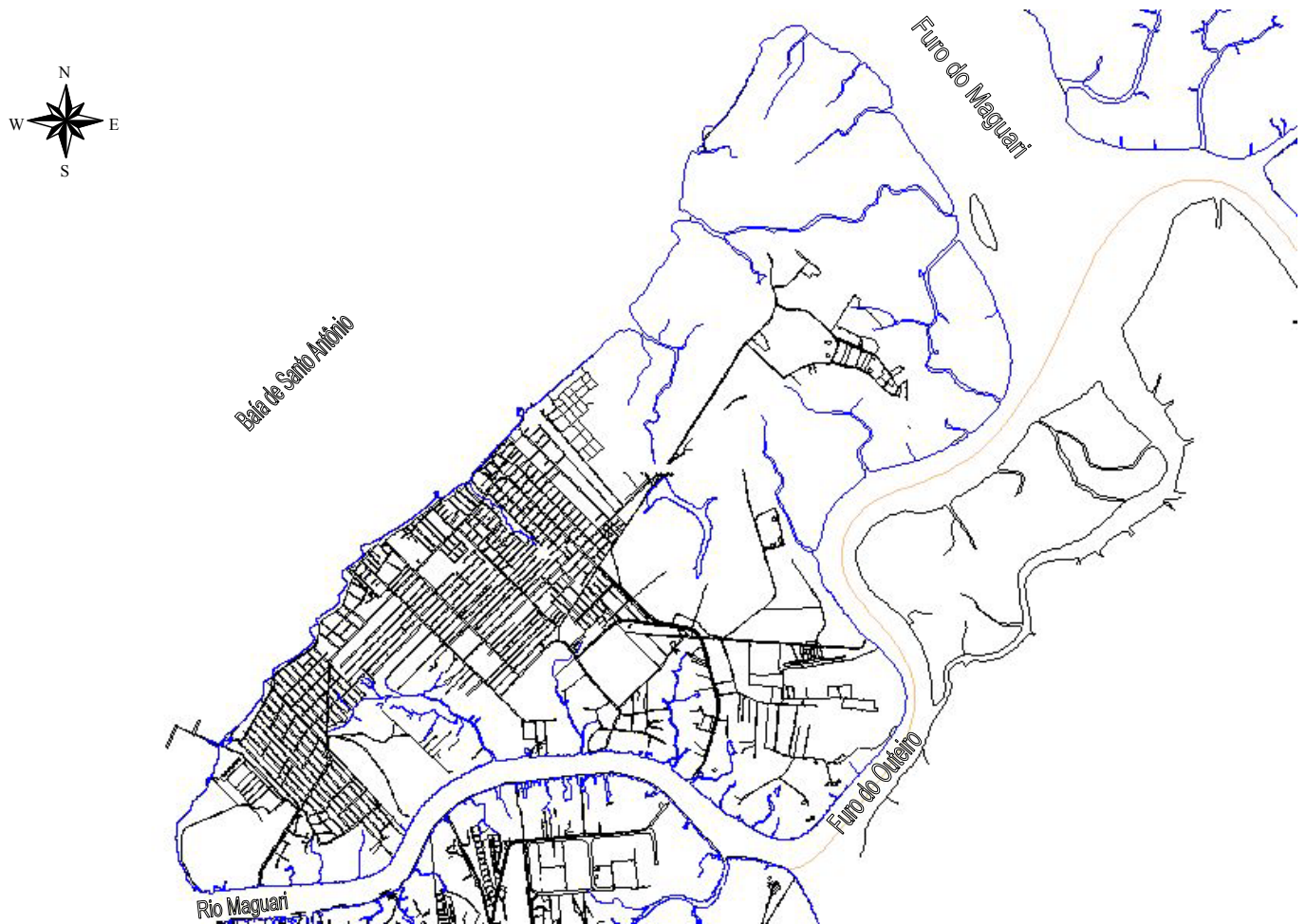


Figura 2.18 – Hidrografia e área antropizada da Ilha de Caratateua.

No Distrito Administrativo de Icoaraci a drenagem apresenta-se pouco desenvolvida, com o *landcover* antrópico avançando sobre o meio natural e provocando forte fragmentação da malha hidrográfica. Os igarapés tem forte controle tectônico, e os parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas (circularidade e alongação) evidenciam uma tendência a enchentes rápidas, registradas principalmente no período de dezembro a março, na bacia hidrográfica do igarapé Paracuri. A rede hidrográfica que caracteriza o DAICO é formada pela Baía do Guajará, Rio Maguari, Rio Ariri e igarapés Paracuri, Outeiro e Anani, e canais (Pimenta Bueno, Cubatao, Águas Negras e Santa Isabel) (Figura 2.19).



Figura 2.19 – Hidrografia e área antropizada do Distrito Administrativo de Icoaraci.

2.3.4 - Solos

Em Belém são identificados sete tipos de solos, alguns condicionados a topografia, predominando solos Concrecionários Lateríticos Distróficos, os Latossolos Amarelos Distróficos, e nas áreas de baixadas e as margens do rio Guamá, os solos do tipo "Gley Pouco Húmico" (Vieira & Santos, 1987).

Os solos Concrecionário Laterítico Distróficos (CLd) são solos formados em ambiente plano e suavemente ondulado e sob cobertura vegetal de floresta densa. São solos medianamente profundos, constituídos por uma mistura de partículas mineralógicas finas e concreções de um arenito ferruginoso, com teor de ferro mais elevado que o de alumínio. Apresentam perfis normalmente argilosos ou argilo-arenosos no horizonte A e argilosos no B (Vieira & Santos, 1987). No entanto, devemos

levar em consideração que nos solos Concrecionários Lateríticos Distróficos (CLd), as concreções tratam-se de evidência das erosões e dos materiais de transporte que por aqui substituíram os “seixos”, pois é o único material grosso e resistente, tornando-se portanto a substituição da “linha de pedras”, e evidência dos depósitos sedimentares e como tal não podem ser classificados como CLd. Pois estes depósitos ainda não apresentam uma intervenção e interação para gerar registros destas evoluções, demonstradas na saprolitização de tais materiais sedimentares e/ou regolitos, ocasionando uma diferenciação vertical de “horizontes diagnósticos”. E se por acaso existir pode estar ocorrendo uma relaterização em função da ferrolise atual e/ou uma argilo ferruginização/gotização, o que pode induzir a classificar como Biconcrecionário (Bicn) e portanto Cambissolo Concrecionário Distroférrico no topo, soterrando outras sequências pedogenicas ali presentes. A formação de Latossolos, depende de no mínimo 75 Ka anos sob condições tropicais muito úmidas, e para originar lateritas nestes latossolos e/ou horizontes de grande porte são necessários milhões de anos e/ou quando de ferrolise em materiais já ferruginizados, caso dos concrecionários e dos sedimentos provindos da erosão de antigos latossolos e lateritas. Portanto, sedimentos oxídicos concrecionários podem hoje por efeito do atual clima tropical muito úmido, estar gerando retro/neolaterização e/ou neolatossolização/laterização e plintificação incipiente. Os Latossolos Concrecionários são depósitos sedimentares muito modernos, portanto macios e argilosos. E as concreções correspondem às evidências do transporte dos materiais provindos da erosão das áreas antigamente laterizadas e ferruginizadas, trata-se de sedimentos oxídicos/sesquioxídicos, e por esta razão são Cambissolos Distróficos.

Os Latossolo Amarelo Distróficos (LAd) são oriundos principalmente da Formação Barreiras, em relevo plano e ondulado, sob cobertura vegetal de floresta densa. São solos profundos, textura média a muito argilosos, baixo conteúdo de carbono orgânico, baixa relação carbono/argila, baixa organização macro-estrutural, com perfil de aspecto macio, e baixo conteúdo de fósforo assimilável e relativamente alto conteúdo de fósforo total (Vieira & Santos, 1987). Os Latossolos Amarelos tratam-se de solos desenvolvidos da Formação Barreiras, já ferruginizada e que devido passar por truncamento da sua parte superior, formam horizontes bem típicos (lateritas e

plintitos), restando a parte de acumulacao de argilas cauliniticas e fósforo. Tais materiais se encontram na atualidade recentemente soerguidos, ocasionando com isto a saída das águas por percolacao lenta, dando origem as cores amarelas da goetizacao. E portanto, podem até tratar-se de um Argissolo Amarelo Distrófico.

Os solos do tipo Gley Pouco Húmico sao formados em relevo plano, sao solos pouco profundos e pouco permeáveis. E sao originários de sedimentos argilo-silticos (Vieira & Santos, 1987).

As Areias Quartzosas (Podzol Hidromórfico) (AQ) ocorrem principalmente nas áreas de baixadas, formam-se a partir de sedimentos arenosos predominantemente do Quaternário. Caracterizam-se por serem solos de textura arenosa com menos de 15% de argila no perfil, essencialmente quartzoso, bem drenado, e com ausencia de materiais primários que passam a se decompor (Vieira & Santos, 1987). O Podzol Hidromórfico, realmente trata-se de um neossolo quartzoarenico típico de ambientes estuarinos, onde alternam depósitos de barras e lagoas.

A Bacia do Igarapé Tamanduá deve apresentar para a sua regio central presenca de solos mais argilosos, consequentemente retém mais umidade, se mostrando bons para instalacoes urbanas de alto porte.

A Bacia do Igarapé Curupeté que se encontra entre altos, caracterizando um baixio típico, apresenta solos argilosos e alta retencao de água e/ou recobertos por sedimentos muito recentes, com o lencol freático alto a muito alto.

A Bacia do Igarapé Paracuri possivelmente como se encontra dentro de um alto, pode ser melhor drenado, com lencol freático profundo na sua regio mediana. Os solos sao um pouco mais evoluídos com cambissolos típicos e/ou transicoes cambissolos/argilossolos.

2. 3. 5 - Clima

No município de Belém, o clima é quente úmido, pertencendo a zona climática Afi (classificacao Koppen), coincidindo com o clima de floresta tropical úmida, assim definido: A – clima tropical chuvoso, onde a temperatura média do mes mais frio é superior a 18°C; F – ocorrencia de chuvas durante todo o ano, condicionando o tipo de vegetacao conhecida como selva tropical, com o mes de menor cota pluviométrica

alcançando 60mm; I – o clima não conhece variação estacional sensível, dado que a oscilação anual da temperatura é inferior a 5°C (Vieira & Santos, 1987). Com ausência de estação fria, a precipitação anual fica em torno de 2.800mm/ano, com maior frequência de chuvas no período de dezembro a junho, e a temperatura média é de 26°C, com máxima de 34°C e mínima de 18°C, umidade relativa do ar de 85% e ventos de baixa velocidade e direção predominante dos ventos de Norte, Nordeste e Leste.

As condições climáticas, elevado índice pluviométrico, reinantes no município são um dos agentes que contribuem decisivamente na morfogenese do relevo e da paisagem na área em apreço, condicionando a formação de solos e da vegetação.

Os elementos do clima urbano (temperatura do ar, umidade relativa do ar, vento, precipitação pluviométrica e brilho solar) sofrem modificações que estão relacionadas com o crescimento desordenado da cidade e as formas de urbanização. A temperatura é o elemento do clima que mais se altera com a ocupação e expansão urbana (Matta, 2002). Segundo Oliveira¹ apud Matta (2002) em ambientes sem arborização a temperatura é mais elevada que no ambiente arborizado, em função da superfície exposta receber aquecimento direto através da radiação solar, enquanto que na superfície arborizada ocorre uma certa atenuação da radiação solar.

2. 3. 6 - Vegetação

A cobertura vegetal no município de Belém encontra-se fortemente condicionada aos fatores geomorfológicos, climáticos e pedológicos, onde se distinguem, predominantemente, três tipos: 1) vegetação de várzea, típica de área inundável sob controle periódico das marés; 2) vegetação de floresta densa associada aos pedimentos mais elevados; 3) floresta secundária associada a áreas desmatadas, denominadas "capoeiras". A caracterização da ocorrência da vegetação mostra uma boa relação com o desenvolvimento dos solos, assim a vegetação das várzeas devem relacionar-se com solos Gelissolos e/ou Organossolos e a Floresta Densa associa-se com os solos Concrecionários/Latossolos Amarelos.

¹OLIVEIRA, M. C. F.; ROCHA, E. J. P. da; RIBEIRO, J. B. M.; MOTA, G. V. 1995. Estudo das alterações meteorológicas associadas a urbanização Belém-PA. In: CONG. BRAS. DE AGROMETEOROLOGIA, 9, Campina Grande-PB. *Anais*. P. 177-179

A área verde da Região Metropolitana de Belém, em 1986, representava 50% do território (588 km²). Essa área foi reduzida para 37% (434 km²) em 1994 e para 33% (388 km²) em 2001. Os municípios que sofreram maior desmatamento foram Santa Bárbara (57 km²), Benevides (41 km²) e Belém (40 km²). Os municípios com os menores desmatamentos líquidos ocorreram em Ananindeua (29 km²) e Marituba (34 km²). No município de Belém o percentual de área verde, relativos a área terrestre, em 1986 era de 33%, em 1994 de 28% e em 2001 apenas de 25% (Tabela 3) (Paranaguá et al., 2003).

Tabela 3 – Desmatamento (%) no Município de Belém.

Município	% de área verde			Desmatamento (1986-2001)	
	1986	1994	2001	%	Área (km ²)
Belém	33	28	25	8	40
Ananindeua	59	44	43	16	29
Marituba	67	45	33	34	34
Benevides	66	43	40	26	41
Santa Bárbara	59	41	36	23	57
RMB	49,6	36,6	32,7	16,9	201
Área Remanescente (km ²)	588	434	388	-	-

Fonte: Paranaguá et. al., 2003.

No município de Belém, as áreas verdes remanescentes estão situadas nas ilhas e em áreas continentais restritas, tais como terrenos militares, instituições públicas de ensino e pesquisa (Embrapa, MPEG, UFPA e UFRA) e unidades de conservação (Figura 2.20). Na porção continental, onde residem 97% da população do Município, as áreas verdes correspondem a aproximadamente 30 m² por habitante (Paranaguá et. al., 2003).

Nas áreas de estudo a cobertura vegetal primária e secundária está representada por Culturas de Subsistência (CLS), Floresta de Terra Firme Aberta (FTA), Capoeira de Terra Firme (CTC), Floresta de Igapó (FVI), Floresta de Várzea (FVV) e Outras Culturas (CLO) (Geotécnica, 1980).



Figura 2. 20 – Áreas verdes do município de Belém visualizadas em mosaico fotográfico produzido a partir de levantamento aerofotogramétrico do Cadastro Técnico Multifinalitário de Belém (Codem, 1998).

3 – ARCABOUCO TEORICO

3. 1 – NEOTECTONICA DO NORDESTE PARAENSE

O termo “neotectonica” foi empregado, pela primeira vez, em 1948 pelo geólogo soviético V. A. Obruchev para definir os movimentos da crosta terrestre que se instalaram durante os períodos do Terciário Superior (Mioceno e Plioceno) e do Quaternário, e que assumiram um papel decisivo na formação da topografia contemporânea. O objeto da neotectonica é “o estudo dos eventos tectônicos novos, que ocorreram ou estão ocorrendo numa região após a orogênese final (pelo menos nos casos em que ocorreu orogênese recente), ou mais precisamente após a sua reorganização tectônica mais significativa” (Saadi, 1993). O conhecimento da neotectonica é de fundamental importância em estudos da geomorfologia atual e em ecologia da paisagem, em regiões por ela afetadas. A seguir apresenta-se uma síntese da neotectonica na região nordeste do Estado do Pará:

Igreja et al. (1990) apresentaram resultados preliminares de um modelamento neotectônico da Costa Estuarina - Sul da Baía do Guajará – Nordeste do Estado do Pará. A região engloba as ilhas de Outeiro e Mosqueiro. O padrão neotectônico proposto representa a primeira tentativa de sistematização dos elementos estruturais terciários e quaternários do nordeste do Estado do Pará, que revelam uma forte interrelação com as feições geomorfológicas da Costa Guajarina e adjacências, incluindo a Grande Belém. As interpretações das fotos aéreas, imagem de radar, levantamentos geológicos e dos ambientes atuais da região, convergem, no sentido de uma neotectonica distensional oblíqua predominantemente sinistral, segundo um eixo de estiramento máximo de direção N30-40°W e de falhas transferentes principais N45-55°W e N10°E.

Costa et al. (1991) apresentam a caracterização do quadro neotectônico da região nordeste do Estado do Pará, a partir de resultados preliminares de investigações realizadas nos municípios de Maracana e Salinópolis. O litoral norte do Brasil é particularmente caracterizado por rios que se destacam pelo forte controle estrutural. No trecho compreendido distinguem-se baías orientadas preferencialmente nas direções N30-40W, N20-30E.

Borges et al. (1994) descrevem a morfografia, as unidades de relevo e analisam a rede de drenagem na região de Curuca. A morfografia da região consiste de uma faixa litorânea que evolui a norte do município e que se apresenta com uma certa disposição NE-SW. A análise da rede de drenagem permitiu identificar padrões da rede (retangular angulado, retangular, pinado, recurvado ou composto), destacando o forte controle das falhas e fraturas na instalação da rede de drenagem no relevo de degradação.

Costa et al. (1996) definiram o quadro neotectônico da Região Amazonica, os conjuntos de estruturas e de sequências sedimentares, bem como a distribuição dos elementos principais das bacias hidrográficas e dos sistemas de relevo desenvolvidos do Mioceno ao Recente.

Borges et al. (1997) apresentam a aplicação de modelagem digital de terreno a área entre as praias do Farol e Paraíso localizadas na Ilha do Mosqueiro, nordeste do Estado do Pará. O controle morfoestrutural do relevo e da drenagem é forte, e evidenciado pelas direções NW-SE preferencial, NE-SW e N-S subordinadas. Os elementos morfotectônicos observados a partir dos modelos de visualização representam excelentes produtos para inferências morfoestruturais e morfotectônicas na região estudada, pois possibilitaram a leitura dos processos morfotectônicos que controlam a evolução da paisagem e a influência da morfogenese litorânea nas feições de erosão e deposição do estuário Guajará.

Borges et al. (1999) apresentaram modelo digital de terreno, da parte norte/nordeste da cidade de Belém. O MDT gerado exibe expressivos segmentos do Planalto Rebaixado da Amazonia e da Planície Amazonica. O arranjo das feições morfoestruturais da paisagem é identificado nos modelos digitais através da escultura do relevo, superimposta preferencialmente, ao longo de falhamentos. A análise do modelo digital permite destacar na área como estruturas principais, aquelas, orientadas a NE-SW e outras a E-W, secundariamente superimpoem-se estruturas N-S. São feições morfotectônicas uma vez que controlam e se superimpoem aos sedimentos pleistoceno-holocenos da Planície Amazonica.

Almeida et al. (2001) apresentaram as principais características morfológicas da região nordeste do Estado do Pará, que estão diretamente relacionadas com a

tectonica meso-cenozóica que responde pela fragmentacao do Gondwana resultando na formacao do Oceano Atlantico Equatorial e da margem passiva. A área investigada faz parte da bacia de Braganca-Viseu, que evoluiu a partir da incidencia da tectonica extensional no nordeste do Estado do Pará, desde o Jurássico Superior. No Mioceno, essa regio foi submetida a tectonica transtensional que gerou falhas normais de direcao NW-SE e falhas transcorrentes dextrais E-W e NE-SW.

Bemerguy et al. (2001a) apresentaram os indicadores neotectonicos nos rios da Amazonia. A complexidade estrutural da regio reflete diretamente na geomorfologia através da coexistencia de contrastantes gradientes morfológicos, e ampla diversidade de padroes e de anomalias de drenagem, a exemplo de bloqueios gerando lagos, basculamento de blocos impondo migracoes de canais e formacao de extensas redes de paleocanais ou meandros abandonados, longos lineamentos de drenagem, que podem alcançar várias centenas de quilometros de extensao, testemunhos de áreas soerguidas expressas por serras que alcançam cotas de até 300 metros no meio de áreas de planície extensas áreas de dominancia de sedimentos pleistocenicoholocenicos.

Bemerguy et al. (2001b) definiram quatorze domínios morfotectonicos na regio amazonica. Tais domínios estao diretamente relacionados a transtensao, transpressao e movimentos *strike-slip* intra-placa ocorridos no Terciário Superior e Quaternário. As maiores formas de relevo e as bacias hidrográficas sao controladas por falhas normais, reversas e strike-slip e por dobras.

Felipe et al. (2001) apresentam uma síntese dos principais eventos neotectonicos da regio amazonica e do sudeste do Brasil. A configuracao paisagística macro-regional pode ser entendida em parte como decorrente de eventos neotectonicos Cenozóicos. O arcabouco neotectonico na Amazonia compreende uma série de estruturas preferencialmente orientadas nas direcoes E-W, NE-SW, NW-SE e N-S.

Oliveira et al. (2003) apresentam uma avaliacao ambiental das falésias da ilha de Caratateua que devido suas condicoes topográfico-morfológica, litológico-geomorfológicas, morfoestruturais, climato-hidrológico e antrópicas, registram a ocorrencias de fluxos gravitacionais nas falésias erosivas da Praia do Barro Branco, Praia dos Artistas, Prainha e Praia da Brasília. As ortofotos digitais coloridas, na escala

1:2.000, permitiram caracterizar as estruturas neotectônicas macroscópicas (falhas) e, as áreas de risco de desmoronamento. E em termos de impacto negativo sobre as áreas de riscos, as áreas urbanizadas circunvizinhas as falésias em desequilíbrio, correspondem aos pontos críticos. Com o uso de ferramentas de geoprocessamento, foi possível estabelecer uma visão espacial dos locais mais susceptíveis a fluxos gravitacionais e dos impactos negativos da urbanização em tais áreas.

3. 2 – ECOLOGIA DA PAISAGEM

O termo Ecologia da Paisagem foi introduzido, pela primeira vez, em 1939 pelo geógrafo alemão Carl Troll, visando a fundação de uma nova ecociência, que teria o objetivo de unificar os princípios da vida e da terra. O objetivo dessa nova ciência passava a ser o estudo de paisagem, a qual poderia ser definida como uma entidade total espacial e visual, integrando a geosfera, biosfera e a nooesfera – a esfera da consciência e mente humana (Troll² apud Soares Filho, 1998).

A Ecologia da Paisagem busca a compreensão das relações do meio ambiente e sua dinâmica por meio de uma visão integrada de aspectos físicos e ecológicos de sistemas naturais e de suas interações com os fatores sócio-econômicos e políticos. (Haines-Young et al., 1993).

A Ecologia da Paisagem centra-se no estudo das inter-relações horizontais entre as diversas unidades espaciais e, baseia-se na combinação de três dimensões: a dimensão topológica, a dimensão corológica e a dimensão geoesférica. A dimensão topológica apresenta-se com suas heterogeneidades, devido aos atributos do uso e de cobertura do solo. A dimensão corológica apresenta as relações entre a heterogeneidade horizontal, causada pelos elementos da paisagem e a dimensão geoesférica, advinda dos relacionamentos globais entre as paisagens. Como exemplos de relacionamentos topológicos e corológicos, citam-se, respectivamente, as trocas verticais de materiais através das raízes das plantas ou vegetação absorvendo o impacto da chuva no solo, e o transporte de material ou a migração de animais de uma região para outra (Naveh & Lieberman, 1994).

²TROLL, C. 1939. *Lufbildplan and ökologische bodenforschung*. Z. Ges. Erdkund. Berlin, v. 241, n. 98, 1939.

Turner & Gardner (1991) dizem que a Ecologia da Paisagem enfatiza a mudancas em grande escala e seus efeitos ecológicos no padrao espacial dos ecossistemas, considerando o desenvolvimento e a dinamica da heterogeneidade espacial, a interacao e trocas através da paisagem heterogenea, a influencia dessa heterogeneidade nos processos bióticos e abióticos e ainda o manejo dessa heterogeneidade espacial.

Vink³ apud Soares Filho (1998) considera a Ecologia da Paisagem dentro de uma visao tradicional, como o estudo das inter-relacoes entre os fenomenos e processos da paisagem ou da geoesfera, incluindo as comunidades de plantas, animais e o Homem.

Neste trabalho, adota-se a conceituacao de Bunce⁴ apud Soares Filho (1998) para Ecologia da Paisagem, como um estudo integrado dos padroes texturais da paisagem e dos processos de que resultaram. A ecologia da paisagem surgiu entao como uma importante disciplina no estudo da estrutura, da funcao e das mudancas da paisagem.

Segundo Soares Filho (1998) a Ecologia da Paisagem combina o estudo da ecologia humana – alimentacao, água, saúde, combustível e coesao cultural – com saúde biofísica, produtividade primária, biodiversidade, sobrevivencia das espécies, preservacao dos recursos dos solos e hídricos e ciclos de nutrientes.

O termo paisagem foi introduzido como conceito geográfico-científico no início do século XIX por Alexander Von Humboldt, que definiu a Paisagem como “Der Totalcharakter einer Edgegend” – o caráter total de uma área geográfica. Procurando conhecer as inter-relacoes entre os componentes da paisagem, principalmente as características físicas do meio ambiente, sem todavia negligenciar os aspectos humanos (Naveh & Lieberman, 1994).

³VINK, A. P. A. *Landscape ecology and land use*. London, Longman, 1983. 264p.

⁴BUNCE, R. G. H.; JONGMAN, R. H. G. *An introduction to landscape ecology*. In: BUNCE, R. G. H.; PAOLETTI, R. M. G. *Landscape ecology and agroecosystems*. Boca Raton, Lewis Publishers, London, 1993. Cap 1, p. 3-10.

No ocidente, o significado do termo Paisagem foi se estreitando para a caracterizacão das feições fisiográficas, geológicas e geomorfológicas de uma região da crosta terrestre, tornando-se sinónimo de forma de relevo. No oriente o conceito de paisagem incluía ambos os fenómenos orgânicos e inorgânicos e denominando o estudo dessa totalidade como Geografia de Paisagem (Naveh & Lieberman⁵ apud Soares Filho, 1989).

Bertrand⁶ apud Soares Filho (1998) define a paisagem como sendo “uma determinada porção do espaço que resulta da combinação dinâmica dos elementos físicos, biológicos e antrópicos, os quais interagindo dialeticamente uns sobre os outros formam um conjunto único e indissociável em perpetua evolução”.

Zonneveld (1989) conceitua a paisagem “como uma parte do espaço na superfície terrestre abrangendo um complexo de sistemas caracterizados pela atividade geológica, da água, do ar, de plantas, de animais e do homem e por suas formas fisionômicas resultantes, que podem ser reconhecidos como entidades”. Ainda em Zonneveld (1989), a paisagem é considerada como uma entidade formada pelo trabalho mútuo da natureza viva e inorgânica em uma parte reconhecida da superfície terrestre. Turner & Gardner (1991) referem-se a paisagem como as formas de relevo de uma região e seus habitats associados a escala de hectares ou de vários quilómetros quadrados.

Desse modo, a Ecologia da Paisagem passou a ser também definida, de acordo com Forman & Godron (1986) como o estudo da estrutura, função e mudança de uma região heterogênea composta de ecossistemas em interação, sendo estas três características principais de uma paisagem. A estrutura é o produto do relacionamento espacial entre os distintos ecossistemas ou elementos presentes, mais especificamente, é como que o arranjo ou padrão espacial da paisagem (tamanhos, formas, números e tipos de configuração dos ecossistemas) governa a distribuição de energia, materiais e organismos. A função é a interação entre os elementos espaciais,

⁵NAVEH, Z.; LIEBERMAN, A. S. *Landscape ecology: theory and application*. New York, Spring Verlag, 1989. 356p. Série *Environment Management*.

⁶BERTRAND, G. *Paysage et géographie physic globale: esquisse methodologique*. Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, v. 39, n. 3, p. 249-72, 1968.

representadas pelos fluxos de energia, materiais e espécies entre os ecossistemas presentes. E a mudança é dada pela alteração na estrutura e na função do mosaico ecológico através do tempo.

Soares Filho (1998) destaca que fatores antropogênicos são explicitamente incluídos no reconhecimento do potencial do Homem em influenciar a estrutura e função da paisagem. Portanto, o estudo da Ecologia da Paisagem se concentra não somente nas dimensões biológicas e físicas de um ambiente, mas também nos aspectos históricos, culturais, sócio-econômicos da Ecologia Humana, que se encontram conectados aos diferentes usos do solo.

Naveh & Lieberman (1994) afirmam “na Ecologia da Paisagem, o homem não representa apenas um fator de perturbação externa aos ecossistemas naturais, mas sim um componente interativo e co-evolucionário”.

3. 3 – GEOPROCESSAMENTO E ECOLOGIA DA PAISAGEM

Para a aplicação prática dos conceitos de ecologia da paisagem, é necessária uma prévia caracterização da paisagem. Neste sentido, as técnicas de geoprocessamento, em especial o sensoriamento remoto e o sistema de informações geográficas (SIG), vêm assumindo papel estratégico nesse ramo da ciência. O sucesso da aplicabilidade do sensoriamento remoto deve-se principalmente às suas características de multiespectralidade, de visão sinóptica, de repetitividade, que permitem uma melhor caracterização dos atributos de uma paisagem. Os sistemas de informações geográficas têm-se destacado pela sua capacidade de interação e análise dos diferentes planos de informação que caracterizam as paisagens.

3. 3. 1 - Geoprocessamento

O geoprocessamento trata das diversas técnicas empregadas na coleta, armazenamento, processamento, análise e representação de dados com expressão espacial, isto é, possíveis de serem referenciados geograficamente (Teixeira et al., 1995). O sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas são as técnicas do geoprocessamento que mais vêm sendo empregadas em estudos de ecologia da paisagem. Tais técnicas tornaram-se essenciais em ecologia da paisagem,

porque tem a capacidade de caracterizar no espaço e no tempo, os padrões de uso e cobertura do solo, que são a base para posterior quantificação da estrutura e definição dos padrões da paisagem (Young et al., 1993).

3. 3. 2 - **Sensoriamento remoto**

Sensoriamento remoto pode ser definido como a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles. Os sensores são equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada a extração de informações (Novo, 1992).

A aplicação do sensoriamento remoto, de acordo com Campbell (1987), Crósta (1992), em diferentes ramos da ciência, em especial na área ambiental, é função de sua capacidade de coletar dados multiespectrais em diferentes escalas, diferentes épocas, oferecendo a oportunidade de analisar os vários fenômenos sinopticamente através do tempo. Esses atributos, associados às diferentes amplitudes espectrais que os modernos sensores possuem, fazem com que as imagens dos sensores remotos sejam fundamentais nas diferentes aplicações da ecologia da paisagem (Young et al., 1993).

As imagens digitais de sensoriamento remoto, que podem ser obtidas por satélites ou aeronaves, representam a forma de captura indireta de informação espacial. As informações são armazenadas como matrizes, sendo que cada elemento da imagem, denominado pixel, tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente (Camara & Medeiros, 1998).

Para Forman & Godron (1986), uma imagem de sensoriamento remoto é multidimensional: horizontal, vertical e multiespectral, o que permite, sob o ponto de vista da ecologia da paisagem, estudar diferentes aspectos dos ecossistemas.

Camara & Medeiros (1998) complementam, citando que a escolha da resolução espacial (menor área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada detector) e da resolução espectral da imagem (número e largura de faixas do espectro eletromagnético imageadas), assim como a resolução radiométrica do sensor (nível de

quantizacao registrado pelo sistema sensor), irao depender do aspecto da paisagem que deve ser abordado.

A tomada de decisao sobre sensor e a imagem a serem empregados, é seguida pela escolha da técnica de processamento digital (correcao geométrica e atmosférica de imagens; realce da imagem; classificacao da imagem e modelagem; ou fusao de dados) que será utilizada para a análise dos dados e extracao das informacoes da imagem. Pois, o formato digital das imagens permite que seja realizado diretamente o seu processamento digital. E a funcao primordial do processamento digital de imagens é a de fornecer meios para facilitar a identificacao e a extracao da informacao contida nas imagens, para posterior interpretacao. Nesse sentido, sistemas dedicados de computacao sao utilizados para atividades interativas de análise e manipulacao das imagens brutas. O resultado desse processo é a producao de outras imagens, estas já contendo informacoes específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens originais (Crósta, 1992).

Novo (1992) refere-se a producao de mapa temático, produto do procesamento digital, deve ter sua exatidao avaliada. E na avaliacao da exatidao dos procesamentos aplicados, torna-se necessário comparar o mapa temático obtido por meio do procesamento digital dos dados do sensor com os de referencia ou verdade de campo (Jensen, 1996).

Young et al. (1993) colocam que o mais apropriado é que esse mapa temático esteja integrado a um sistema de informacoes geográficas (SIG). Para Turner & Gardner (1990), o sensoriamento remoto, quando associado a tecnologia dos sistemas de informacoes geográficas (SIG) torna-se importante para a análise e manipulacao dos dados em estudos da paisagem e quantificacoes ecológicas, porque o SIG tem a capacidade de combinar, integrar, analisar e produzir diferentes tipos de informacao com estrutura espacial. Outras vantagens da integracao dos produtos de sensoriamento remoto a um SIG, sao a facilidade de modelagem dos dados gerados e a análise dos padroes da paisagem, obtidas por meio dos índices de ecologia da paisagem.

3. 3. 3 - Sistemas de Informacoes Geograficas (SIG)

A definicao de Sistemas de Informacoes Geográficas (SIG) ainda motiva muitas

discussões, em função de uma série de fatores, inerentes a tecnologia, dentre os quais destacam-se, o fato de ser uma tecnologia recente, receber uma orientação comercial que gera figuras de linguagem, o crescimento desordenado de seu uso em atividades de consultoria, a diversidade de utilização, e os diversos debates acadêmicos sobre seu enfoque principal. Os SIG tem sido intensamente definidos por diversos autores, que ora enfatizam determinados aspectos analíticos, ora os componentes de tais sistemas. No entanto, torna-se evidente a sua capacidade em capturar, integrar, analisar e visualizar dados espaciais georeferenciados (Maguire et al., 1991)

Neste trabalho adotou-se a definição de SIG, como sendo um conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e pessoas (usuário) perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e análise de dados georeferenciados, bem como a produção de informação derivada decorrente de sua aplicação (Teixeira et al., 1995).

Os SIG's podem ser definidos como sistemas destinados ao tratamento automatizado de dados referenciados espacialmente. Esses sistemas permitem a manipulação dos dados de diversas fontes como mapas, imagens e cadastros, permitindo recuperar e combinar informações para efetuar os mais diversos tipos de análises sobre os dados (Alves, 1990).

Os dados utilizados em SIG's são classificados por Burrough (1988) como espaciais e não-espaciais. O autor considera como fonte de dados espaciais: mapas, produtos de sensores remotos, relatórios de dados georeferenciados, relatórios de censos e outros levantamentos onde a natureza dos dados é mais implícita do que explícita. Os dados não-espaciais referem-se a atributos concretos de natureza espacial, como identificadores que possam estar associados a eles.

A informação espacial representada pela localização no espaço geográfico de atributos pode ser facilmente manipulada e processada pela combinação de três componentes (estatística espacial, procedimentos matemáticos e programas de computadores), se constituindo em fundamento dos sistemas de informações geográficas no qual a cartografia computadorizada, o sensoriamento remoto, o banco de dados e o programas de desenho assistido por computador (CAD) são os componentes estruturais (Maguire et al., 1991).

Para a ecologia da paisagem, os SIG's são uma ferramenta fundamental, especialmente quando permitem a manipulação de modelos e dados reais e a transferência de informações implícitas para análises explícitas (Farina, 1998), como é o caso da caracterização quantitativa da estrutura de uma paisagem a partir de seu mapa de uso e cobertura do solo.

Para a caracterização quantitativa da estrutura de uma paisagem, diversos programas computacionais de estatística espacial vêm sendo desenvolvidos, sendo que muitos executam suas análises no ambiente do próprio SIG. Esses programas caracterizam a fragmentação de uma paisagem, fornecendo valores quantitativos de extensão de área e de distribuição espacial dos diferentes tipos de fragmentos que compõem uma paisagem. Para isso, necessitam do mapa digital de uso e cobertura do solo ou do mapa com uma de suas classes, isto dependendo do processo que está sendo avaliado e de uma série de argumentos fornecidos pelo usuário (Turner & Gardner, 1990).

Segundo Farina (1998), para o melhor entendimento da composição e configuração de uma paisagem é necessário, contudo, em muitos casos, a caracterização e interação de seus atributos físicos (relevo, solos, geologia etc), o que é facilitado quando se dispõe de um SIG. Nesse contexto, o autor menciona que os SIG's são indispensáveis para a maioria das investigações da paisagem, como: as mudanças de uso do solo; padronagem da vegetação; distribuição de animais na paisagem; relacionamento entre a topografia e o sensoriamento remoto; e modelagem de processos ao longo da paisagem.

3. 3. 4 – Modelagem Numérica de Terreno

O relevo apresenta múltiplas funções na natureza. Os ciclos de matéria e energia dos processos físicos, químicos e biológicos numa bacia hidrográfica são dependentes sobremaneira da topografia. Com o advento de dados em ambiente de geoprocessamento, aprofundou-se a descrição e utilização numérica do terreno através de modelos numéricos de terrenos (MNT's) (Mendes & Cirilo, 2001).

Todo o processo de transferência (movimento) dos elementos do ciclo hidrológico, ao longo de bacias está fundamentalmente baseado na utilização da

topografia. O fluxo de água, sedimentos, poluentes, entre outros, obedece as condicionantes topográficas como indicadores do caminho do movimento.

A bacia hidrográfica foi definida como sistema físico aberto onde existe um trânsito (importação e exportação) de matéria e energia. Para o escoamento superficial, por exemplo, toda a precipitação (importação) e movimentação de água, sedimentos e contaminantes (exportação) acontece pela superfície de terra (limite). A energia potencial deste escoamento habilita o transporte de contaminantes e sedimentos e direciona a rede de drenagem (Mendes & Cirilo, 2001).

A distribuição espacial dos atributos topográficos pode ser usada como uma medida indireta da variabilidade de processos hidrológicos. Em primeiro lugar, os atributos topográficos podem ser divididos em atributos primários e secundários (Mendes & Cirilo, 2001). Os primeiros são diretamente calculados a partir dos dados de elevação e incluem variáveis como elevação e declividade. Atributos compostos envolvem combinações de atributos primários e índices que descrevem a variabilidade espacial de um processo ocorrendo ou associado ao relevo.

Os MNT's podem ser definidos como uma representação cartográfica digital de uma porção da superfície ou subsuperfície terrestre, ou uma representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno vinculado a uma superfície real (INPE/ DPI, 1998).

O Modelo Numérico do Terreno (MNT) é uma matriz (raster) de números que representam a distribuição geográfica de elevações (Maguire et al., 1991; Antenucci et al., 1991). No entanto há outras opções de representação do MNT além de matrizes (raster), mas o uso de estruturas matriciais para análise hidrológica é recomendado porque elas são computacionalmente eficientes e simples. Também são compatíveis com dados de sensoriamento remoto e muitos sistemas de informação geográfica (SIG).

Em SIG, os MNT's proporcionam uma oportunidade para modelar, analisar e visualizar fenômenos relacionados a topografia ou outras superfícies. Alguns autores argumentam que o termo 'Modelo Digital de Elevação (DEM)' pode ser usado ao invés de 'Modelo Numérico de Terreno' quando meramente o relevo é apresentado, porque o termo "terreno" costuma implicar atributos de uma paisagem além da altitude do terreno

(Maguire et al., 1991).

Os modelos numéricos do terreno (MNT) ou modelos de elevação tem sido largamente utilizados nas Geociências, no propósito de representar as características de variáveis regionalizadas. Quando são usados junto aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e técnicas de sensoriamento remoto, permitem estudar a variabilidade dos processos físicos nas bacias, com uma ampla aplicação em diversas áreas (Mendes & Cirilo, 2001).

De uma forma geral, um MNT pode ser usado como um modelo digital de qualquer superfície de valores. Neste trabalho será dada ênfase na sua utilização para visualização do relevo, e de sua relação com os aspectos fisiográficos das bacias hidrográficas da zona de expansão urbana do município de Belém, buscando relações que possibilitem a compreensão dos processos formadores do relevo e da paisagem.

O considerável interesse nos métodos para extração de informações a partir de representações digitais da topografia, tais como os MNT, por meio das diversas formas de modelagem de terreno, incluindo-se, linhas gráficas digitais (DLG), redes triangulares irregulares (TIN), grades (GRID) regulares ou modelos raster de elevação, deve-se em grande parte por servirem de base para obtenção de produtos secundários, tais como os mapas de declividade, aspecto, bacias hidrográficas e relevo sombreado. Tais mapas são de extrema importância na estimativa de diversos processos e/ou parâmetros, em muitos modelos ambientais (Brasington & Richards, 1997; Jone, 1998).

Consequentemente o uso de Modelos Numéricos de Terreno (MNT) elaborados no ambiente SIG apresentam um crescente emprego no estudo destas temáticas, como na análise de bacias hidrográficas e recursos hídricos (Dourado et al., 1996; Souza & Silva, 1996), na elaboração de mapas temáticos, tais como de susceptibilidade, aptidão, capacidade de uso e probabilidade de ocorrência de impactos ambientais (Ferreira, 1997b) e na confecção de cartas clinométricas para visualização do relevo (Gonçalves et al., 1996).

Chorley (1972) destacou os avanços alcançados na computação que tem fornecido importantes subsídios para a investigação da expressão tridimensional dos elementos superficiais da paisagem em nível mundial. Pois modelos 3D permitem uma rápida análise em termos de definição de processos morfológicos e tipos de modelado

do relevo.

Ferreira (1997a) apresentou resultados preliminares sobre a avaliação do uso de Modelos Digitais de Terreno (MDT), na estimativa de parâmetros de enchentes para Bacias Hidrográficas sem dados hidrológicos disponíveis.

Borges et al. (1997) apresentaram a aplicação de modelagem digital de terreno a área entre as praias do Farol e Paraíso localizadas na Ilha do Mosqueiro, nordeste do Estado do Pará. Evidenciando o controle morfoestrutural do relevo e da drenagem a partir dos elementos morfotectônicos observados nos modelos de visualização. Os MNT representam excelentes produtos para inferências morfoestruturais e morfotectônicas, pois possibilitaram a leitura dos processos morfotectônicos que controlam a evolução da paisagem e a influência da morfogênese litorânea nas feições de erosão e deposição do estuário Guajará.

Ebert & Bueno (1998) citam que a visualização simultânea de dados topográficos e geológicos como entidades tridimensionais facilitam sua análise integrada nas investigações básicas geológicas e geomorfológicas, bem como em projetos de pesquisa aplicados nos estudos de planejamento ambiental e urbano.

Ebert et al. (1999) apresentaram a visualização simultânea de dados fisiográficos e geológicos em MNTs, obtidos por meio de diferentes ângulos de observação e de iluminação, constituindo uma poderosa ferramenta para a representação e análise de dados em investigações geológicas e geomorfológicas. Pois a sobreposição de informações superficiais nos MNTs, tais como drenagens, estradas, limites urbanos, unidades geológicas e lineamentos estruturais, aprimora substancialmente a representação integrada dos dados e sua interpretação.

Borges et al. (1999) apresentaram modelo digital de terreno, da parte norte/nordeste da cidade de Belém, para identificação das feições morfoestruturais da paisagem através da escultura do relevo. A análise do modelo digital permitiu destacar na área as estruturas tectônicas principais (falhas).

Oliveira (1999) elaborou Modelos Digitais de Terreno (MDT) e cartas temáticas derivadas (mapas de declividade, aspecto, bacias hidrográficas, relevo sombreado e, o mapa das áreas de baixadas da RMB), para a melhor visualização das características do relevo na RMB, mediante o uso de Geoprocessamento.

Oliveira et. al. (2000) caracterizou as Bacias Hidrográficas do Distrito Administrativo de Icoaraci (DAICO) por meio de cartografias temáticas digitais derivadas de MDT (mapa de bacias hidrográficas, mapa das áreas de baixadas e o mapa das faixas de domínios dos igarapés), com o auxílio de Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), criando um banco de dados georeferenciado de diversos parâmetros físicos e sociais para subsídios a diagnósticos ambientais das bacias.

4. MATERIAIS E METODOS

Os procedimentos metodológicos e os materiais empregados neste trabalho são apresentados a seguir:

4.1 – PRÉ-PROCESSAMENTO DE DADOS

Os trabalhos desta fase contemplaram basicamente a elaboração de cartografias temáticas digitais e banco de dados associados a partir de cartografias digitais da área de estudo.

Os dados para os MNT's foram derivados de levantamentos topográficos com curvas de nível equidistantes em 5m e, de pontos cotados da base cartográfica do município de Belém de 1977, em meio digital (Figuras 4.1, 4.2 e 4.3), obtidos a partir do Cadastro Técnico Multifinalitário de Belém, na escala 1:10.000, projeção Local Transversa de Mercator - LTM. Os dados de levantamento topográfico foram introduzidos diretamente no computador por meio dos pontos cotados da base cartográfica digital.

Os dados aerofotogramétricos utilizados neste trabalho foram as ortofotos coloridas digitais, na escala 1:2.000, e mosaico fotográfico colorido na escala 1:25.000, ambos do Levantamento Aerofotogramétrico da Área Urbana e de Expansão Urbana de Belém, executados pelas empresas Aerocarta e Base em outubro de 1998, e cedidos pela CODEM para o Instituto de Educação Superior da Amazônia (IESAM), por meio de convenio. A interpretação de tais dados baseou-se na interpretação por meio de técnicas de padrão regular de amostragem, para extração de informação dos MNT's.

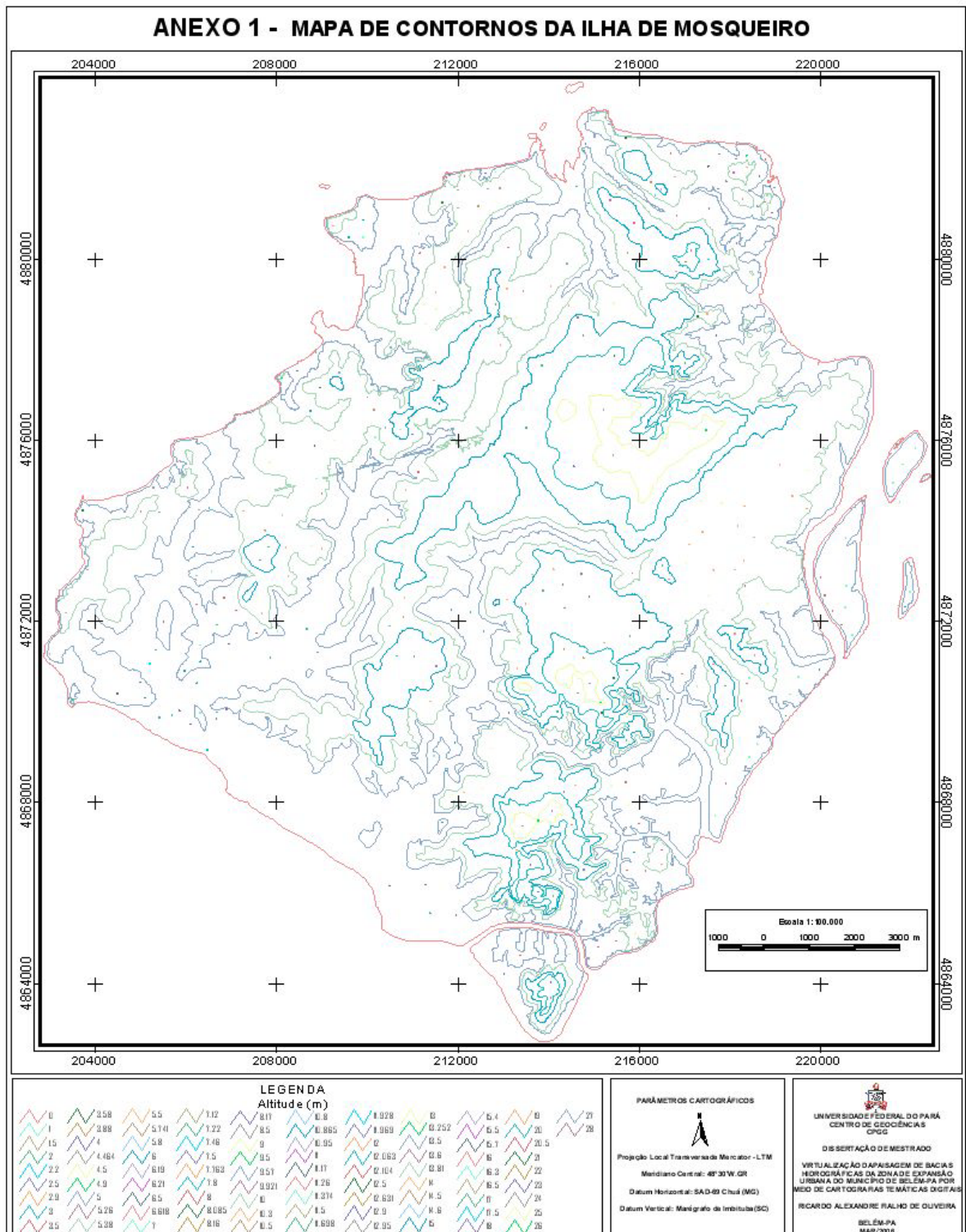


Figura 4.1 - Mapa de contornos da Ilha de Mosqueiro (DAMOS), com curvas de nível equidistantes em 5m – processados a partir de base digital na escala 1:10.000.

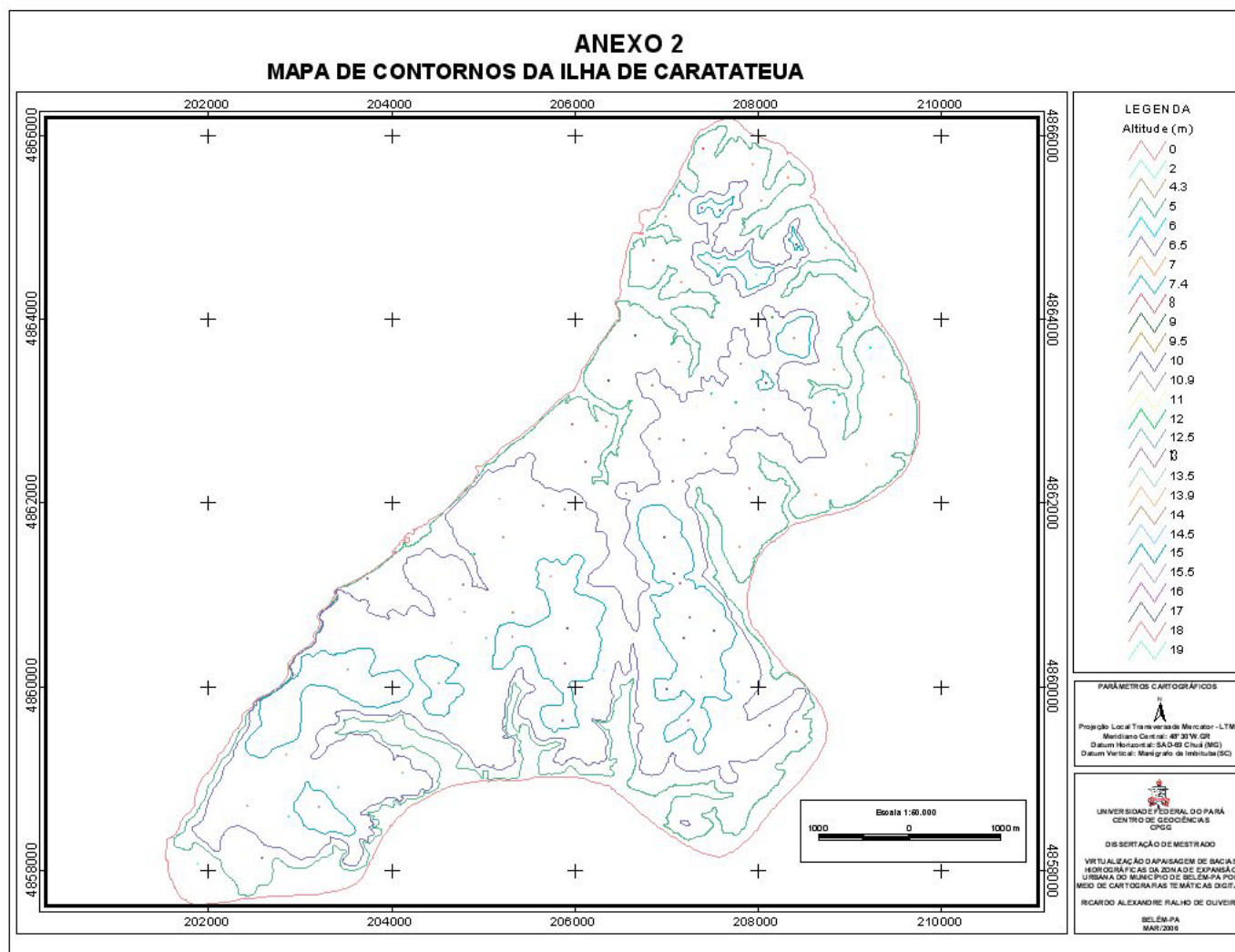


Figura 2. 2 – Mapa de contornos da Ilha de Caratateua (DAOUT), com curvas de nível equidistantes em 5m – processados a partir de base digital na escala 1:10.000.

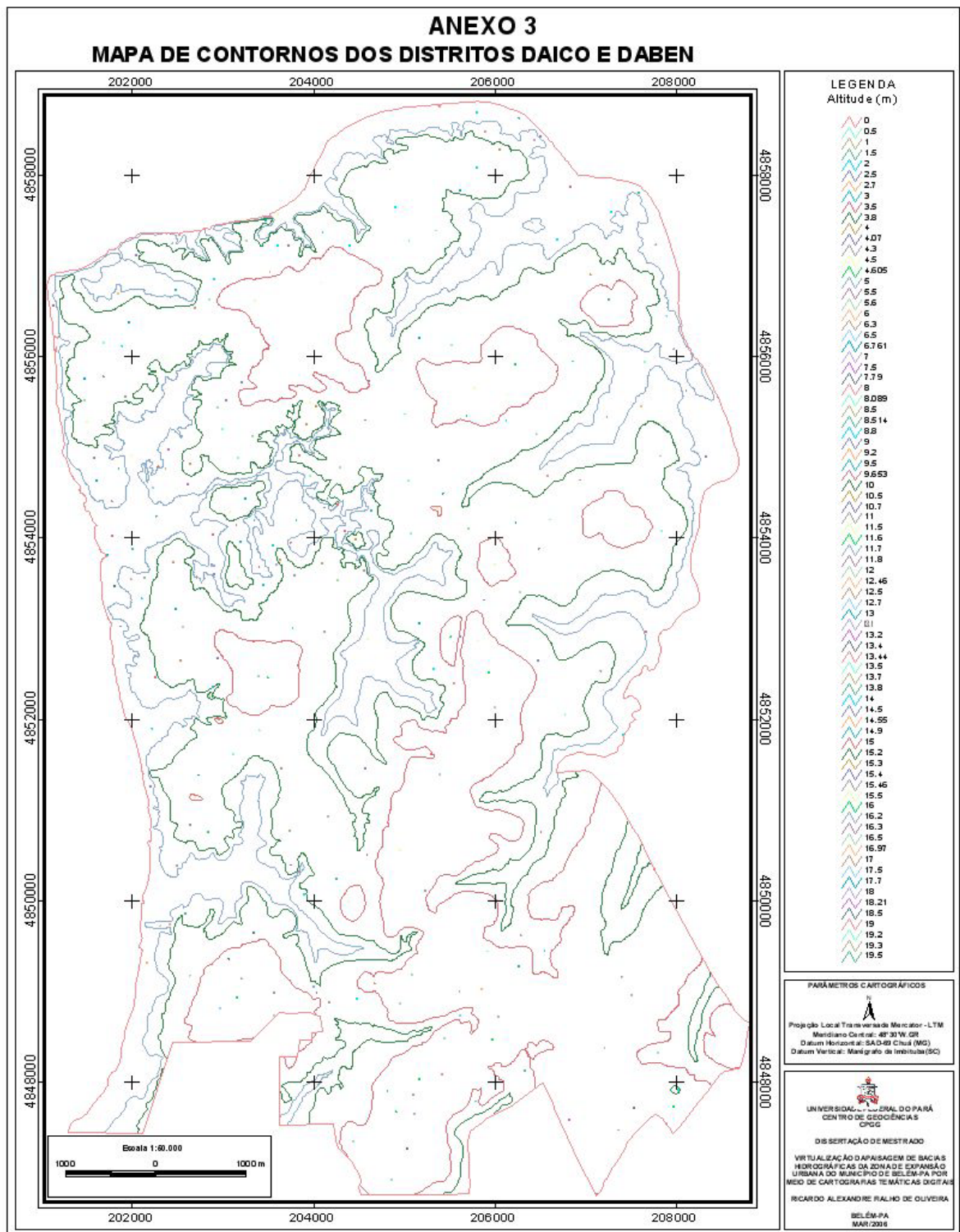


Figura 4.3 - Mapa de contornos dos distritos administrativos de Icoaraci (DAICO) e Bengui (DABEN).

Os programas utilizados neste trabalho foram o AutoCAD Map 2000, utilizado para a edicao, criacao de topologia e recorte das cartografias digitais, do Cadastro Técnico Multifinalitário de Belém, para as áreas de estudo (Figura 4.4). E o Sistema de Informacao Geográfica (SIG) – ArcView GIS 3.3, para geracao das cartografias temáticas digitais a partir do Modelo Numérico de Terreno (MNT) (Figura 4.5).

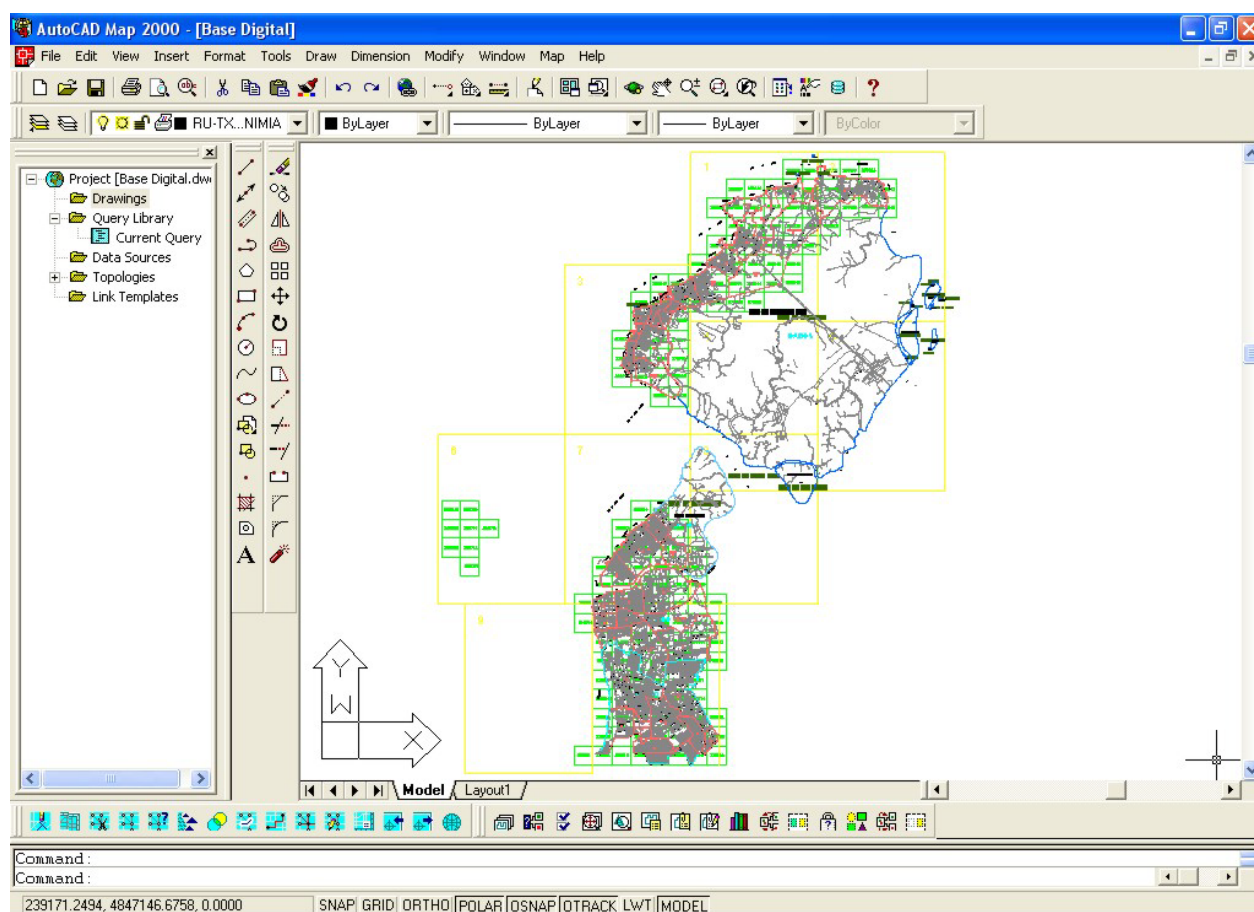


Figura 4. 4 – Tela do programa AutoCAD Map 2000, exibindo o ambiente gráfico para edicao de cartografias digitais.

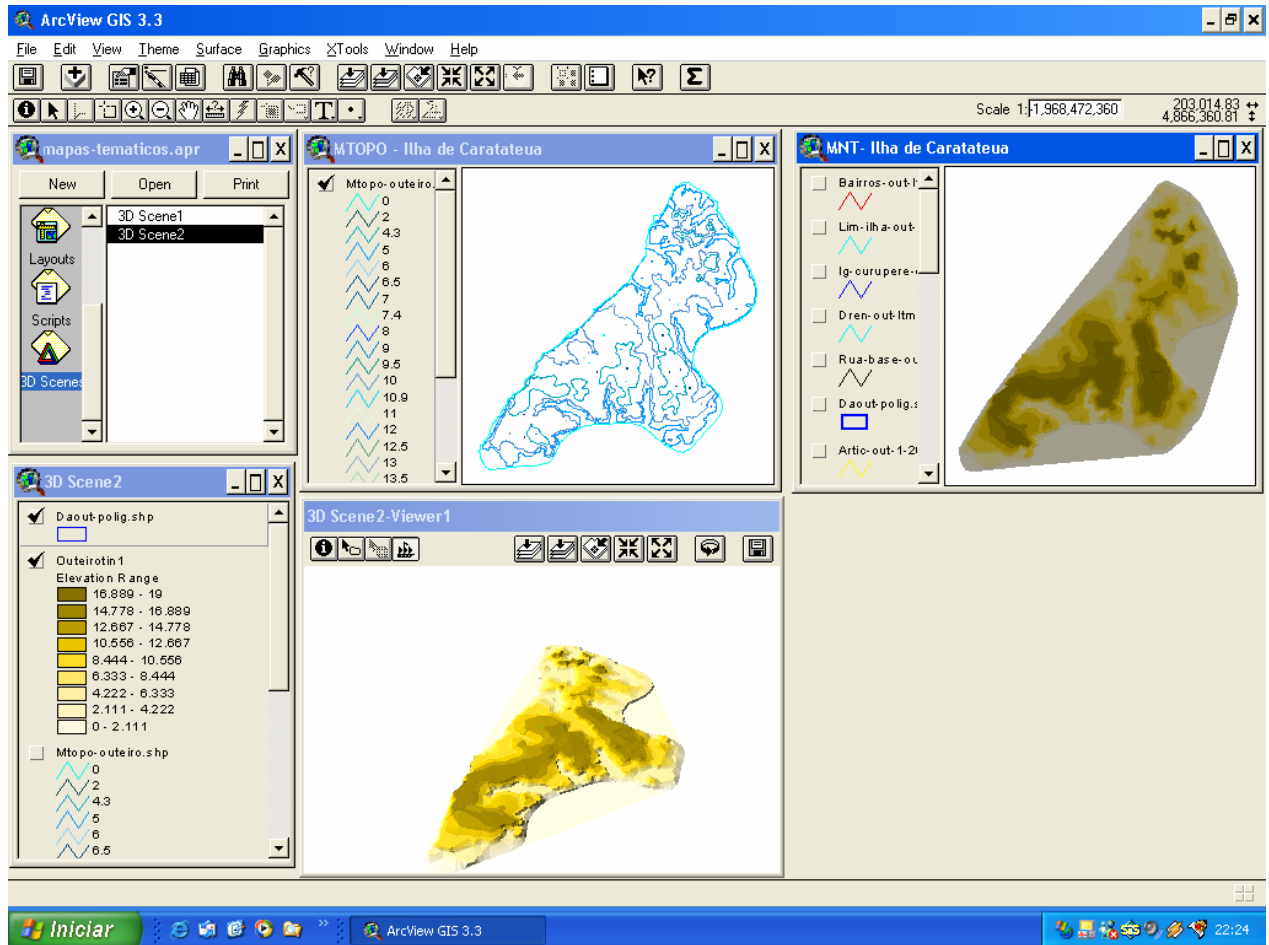


Figura 4. 5 – Tela do programa ArcView GIS 3.3, exibindo o ambiente gráfico para edição e modelamento de superfícies.

4. 2 – MODELAGEM NUMÉRICA DE TERRENO

Para a representação de superfícies reais no computador foi indispensável a criação dos Modelos Numéricos de Terrenos, tanto por equações analíticas ou por rede de pontos na forma de uma grade (grid) de pontos regulares ou irregulares. A partir dos modelos pode-se calcular áreas, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinzas, gerar mapas temáticos de declividade, aspecto, bacias hidrográficas, e perspectivas ortográficas (tridimensionais).

No processo de geração e análise de MNT's para a área de estudo pode-se distinguir quatro fases: aquisição dos dados, geração das grades (grids), interpolação dos dados, e elaboração dos produtos representando as informações obtidas.

A modelagem numérica de terreno para as ilhas de Mosqueiro, Caratateua e distritos administrativos de Icoaraci e Bengui, contemplou as seguintes etapas, segundo Weibel & Heller (1991):

1. Geracao do MNT: amostragem dos dados do terreno original, formacao de relacao entre as diversas observacoes (modelo de construcao);
2. Manipulacao do MNT: modificacao e refinamento do MNT, bem como a derivacao de modelos intermediários;
3. Interpretacao do MNT: análise do MNT, extracao de informacao do MNT;
4. Visualizacao do MNT: apresentacao gráfica do MNT (perspectiva ortográfica) e informacoes derivadas;
5. Aplicacao do MNT: desenvolvimento de modelos apropriados para de aplicacoes espec íficas.

A escolha de fonte de dados e técnicas de amostragem do terreno foram de extrema importancia para a qualidade dos MNT's. Os dados consistiram de observacoes sobre a elevacao do terreno e, sempre que poss ível, informacoes adicionais a respeito de fenomenos que significantemente influenciam a forma da superf ície do terreno, isto é, caracter ísticas estruturais tais como canais de drenagem, cristas e outras superf ícies de descontinuidades neotectonicas, as quais já foram documentadas por Igreja et al. (1990), Costa et al. (1996) e Borges et al. (1997).

Os processos de captura de dados do terreno geraram um conjunto de dados relativamente desordenados. Em ordem para se construir um MNT compreens ível foi necessário estabelecer a relacao topológica entre os dados, assim como um modelo de interpolacao para aproximar o comportamento da superf ície gerada.

Os dados originais foram estruturados para capacitar o manuseio subsequente das operacoes de modelamento do terreno. A estrutura de dados para a geracao do MNT utilizada baseou-se em Rede Triangular Irregular (TIN - *Triangulated Irregular Network*). A estrutura em rede triangular irregular (TIN), utilizadas neste trabalho, é baseada nos elementos triangulares, com vértices no ponto de amostragem (Figura 4.6). Neste tipo de estrutura as caracter ísticas estruturais podem ser facilmente incorporadas na estrutura de dados e em consequencia, os TIN sao capazes de refletir adequadamente a densidade variável de pontos e as rugosidade do terreno. Poucos

pontos são necessários para o MNT com certa precisão, mas as relações topológicas têm que ser computadas ou registradas explicitamente, tornando-se assim em estruturas e procedimentos mais complexos.

Na modelagem numérica de terreno, a interpolação serviu aos propósitos de estimar elevações em regiões onde não existiam dados.

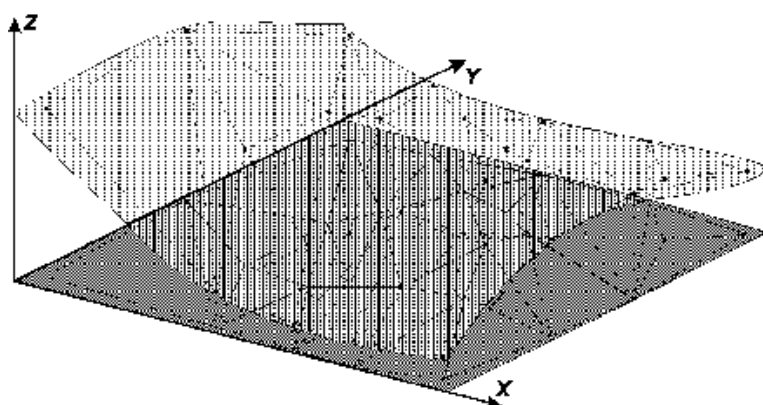


Figura 4. 6 – Estrutura de dados em rede triangular irregular (TIN) adotada para a geração dos MNT's (INPE/DPI, 1998).

Neste trabalho para a geração do MNT utilizou-se o ArcView GIS em sua versão 3.3 (Environmental Systems Research Institute Inc. – ESRI), e sua extensão 3D Analyst que estende a capacidade do programa para suportar o modelamento de superfícies e visualização 3D. Esta extensão criou uma rede TIN por meio da interpolação de características com dados X, Y e Z. Os arquivos gerados foram usados para produzir mapas de contornos, plotagem de superfície, calcular o volume abaixo da superfície ou entre duas superfícies, computar volumes acima e abaixo de um nível de um dado plano (volume de corte e preenchimento), criar perfis ou seções verticais e gerar mapas de declividades (slope), aspecto (aspect) e relevo sombreado (hillshade).

Mantivemos em mente a advertência de Borges et al. (1997) acerca de que a qualidade de representação das superfícies depende obviamente da quantidade de *nodes* gerados na construção da rede TIN e do método estatísticos aplicado a ela. Assim, usou-se a recomendação desses autores de que o melhor método disponível

para a geracao de MNTs é a triangulacao de Delaunay. Os elementos morfotectonicos observados a partir dos modelos de visualizacao representaram excelentes produtos para inferencias morfoestruturais e morfotectonicas, pois possibilitou a leitura dos processos morfotectonicos que controlam a evolucao da paisagem no munic'pio de Belém.

4. 3 – GERACAO DAS CARTOGRAFIAS TEMÁTICAS DIGITAIS

A geracao de cartografias temáticas digitais a partir do MNT, neste trabalho, contemplou basicamente a elaboracao dos mapas de declividade (slope) e de orientacao das vertentes (aspecto), de bacias hidrográficas (watershed map), das áreas de baixadas, das faixas de domínios dos igarapés (conforme estabelece o Plano Diretor Urbano do Munic'pio de Belém de 1993) e do mapa das estruturas neotectonicas (relacionado ao relevo e a drenagem), no ambiente do ArcView GIS versao 3.3 (ESRI – Environmental Systems Research Institute). A seguir descreve-se a metodologia empregada para a geracao dos mapas:

4. 3. 1 - Mapa de Declividade

A declividade do terreno é definida como a taxa de diminuicao da altura na direcao onde ocorre a maior reducao, ou seja, na direcao do aspecto. A declividade ou inclinacao do terreno é um dos atributos topográficos mais utilizados, pois exerce influencia sobre o fluxo da água e é importante para estudos de erosao, sombreamento, energia solar recebida, reflectancia da superf'cie, temperatura, dentre outros (Mendes & Cirilo, 2001).

Os mapas foram derivados do MNT, por meio de operacoes anal'ticas realizadas no ArcVlew, com o aux'lio da extensao *3D Analyst*. - *Derive Declive*, que identifica o declive, ou taxa máxima de mudanca, de cada *pixel* para seus vizinhos. A grade gerada do declive representa o grau de declive (por exemplo, 10° de declive) para cada local do *pixel*. Seguimos as recomendacoes de De Biasi⁷ apud Costa (2001) de nao se trabalhar com mais de 6 classes de declividade para nao introduzir “ru'dos” em demasia, e também, por nem todos os terrenos apresentarem ocorrencias significativas das classes previamente definidas.

4. 3. 2 - Mapa de Aspecto (Orientacao das Vertentes)

O aspecto pode ser definido como a direcao de máximo decrescimento da funcao que representa o terreno. Há dois parametros semelhantes e relacionados a direcao preferencial da declividade do terreno. O primeiro é o chamado aspecto contínuo, calculado a partir das derivadas numéricas, e que fornece direcoes de variacao contínua para cada uma das células do MNT, abordado neste trabalho. O segundo é o chamado aspecto discreto, também chamado de direcao de fluxo, e que atribui a cada uma das células do MNT a direcao de fluxo para uma de suas oito vizinhas imediatas. O aspecto contínuo, como o gerado neste trabalho, tem aplicacao mais indicada em estudos de energia solar recebida, reflectancia da superfície, temperatura e outros de caráter mais regional ou abrangente. O aspecto discreto é mais restrito e se presta basicamente como base para o cálculo de área acumulada, pois garante continuidade do fluxo entre uma célula e outra (Mendes & Cirilo, 2001).

Este mapa foi derivado a partir do MNT, por meio de operacoes analíticas realizadas no ArcVlew, com o auxílio da extensao 3D Analyst. - *Derive Aspect*, que identifica a direcao de declive mais íngreme de cada pixel para seus vizinhos. Os valores representam a direcao de bússola do aspecto, sendo 0 para norte verdadeiro, 90 para leste, e assim sucessivamente. As áreas planas, sem declive, é atribuído um valor de aspecto de -1.

4. 3. 3 - Mapa das Bacias Hidrograficas

O mapa foi gerado a partir do desdobramento dos mapas de aspecto (orientacao das vertentes), por meio de operacoes analíticas determinando as regioes áreas de cursos hídricos superficiais de determinados pontos ou áreas. Assumiu-se que a água em um ponto da superfície deve correr no mesmo sentido em que esta orientada a topografia. Portanto, o azimuth de um pixel (aspecto) permite definir áreas que mostram a vergencia das águas para um determinado ponto (Bosques et al., 1994). As áreas planas foram assumidas como capazes de receber fluxos de água de todas as direcoes.

⁷DE BIASI, M. 1992. A carta clinográfica: os métodos de representacao e sua confeccao. *Revista do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciencias Humanas da USP*. Sao Paulo, 6: 45-60.

Neste trabalho, para o município de Belém, contemplou-se os igarapés dos distritos administrativos de Icoaraci (igarapé Paracuri), do Outeiro (igarapé Curupeté) e de Mosqueiro (Igarapé Tamadua).

4. 3. 4 - Mapa das Areas de Baixadas

Este produto cartográfico foi obtido pela reclassificacao dos valores de altitude do MNT, atribuindo-se cores para os intervalos de altitude entre 1 e 4m (intervalo de altitude das áreas consideradas "baixadas").

4. 3. 5 - Mapa das Faixas de Dom nio dos Igarapes

Estes produtos foram obtidos pela criacao de *buffers*, áreas com espacializacao definida a partir de um tipo de feicao determinada. Neste trabalho os alvos ou feicoes utilizados foram os igarapés Tamadua, Curupeté e Paracuri. A distancia determinada corresponde a faixa de dom nio dos igarapés, estabelecida no Plano Diretor Urbano do Município de Belém, artigo 88 (Parágrafo 1º), que considera como faixa de dom nio a largura do canal mais 33 metros de cada lado, a partir de suas margens. A geracao destes mapas com os *buffers* se faz necessário para a análise de riscos, de impactos ambientais e do uso e ocupacao do solo nas faixas de dom nios dos igarapés

4. 3. 6 - Mapa de Lineamentos Neotectonicos

Estes mapas foram obtidos a partir do relacionamento entre os dados f sicos dos elementos naturais da paisagem do município de Belém e um *layer* de descontinuidade, gerado pela análise, retificacao e interpretacao das várias redes de drenagem em vista a definicao de produto da movimentacao recente (neotectonica). A metodologia de análise, registro e avaliacao das descontinuidades seguiram os procedimentos de Borges et al. (1997) e Bemerguy et al. (2001b).

Os mapas foram elaborados a partir da sobreposicao de lineamentos estruturais e rede drenagem no MNT.

5. RESULTADOS E DISCUSSAO

5. 1 – CARACTERIZACAO DA PAISAGEM

Os resultados apresentados nesta dissertacao referem-se as atividades de integracao de dados e geracao de cartografias temáticas digitais com auxíio de ferramentas de geoprocessamento, o que permitiu observar as características da paisagem nas ilhas de Mosqueiro e Caratateua, e no Distrito de Icoaraci, no município de Belém. A qualidade e precisao dos dados gerados sob a forma de mapas digitais, forneceu uma ótima comparacao entre os resultados obtidos e as características reais das áreas de estudo.

A paisagem terrestre na área de estudo pode ser classificada no que tange ao grau de intervencao humana, utilizando-se a nomenclatura de Dolffus⁸ apud Soares Filho (1998) em: paisagem natural, modificada ou organizada. A paisagem natural é aquela que nao foi submetida a acao do Homem, pelo menos em data recente, enquanto a modificada, como o nome indica, foi transformada, até uma certa extensao, pelo Homem, consistindo em estado de transicao para a paisagem organizada. Esta última, também conhecida como paisagem cultural, resulta de uma acao meditada, combinada e contínua do Homem sobre o ambiente, na qual se instalou a Tecnosfera do município de Belém. Paisagens culturais, na tecnosfera do município de Belém, podem ser ainda descritas como paisagens rurais, caracterizadas pelas atividades agro-pastoris ou urbana, produto estas de aglomeracoes urbanas. A caracterizacao das paisagens no município de Belém, quer seja ela natural, modificada ou cultural, levou em conta o reconhecimento, em diferentes escalas, dos elementos da paisagem, os quais aparecem como manchas ou retalhos e variam de tamanho, forma, tipo, heterogeneidade e características de borda. Neste trabalho a caracterizacao da paisagem baseou-se nos principais elementos que compoem a estrutura da paisagem, nas cartografias temáticas digitais e no levantamento aerofotogramético colorido digital. É óbvio que este trabalho tornaria-se completo com a análise de fenomenos naturais e nas métricas da Ecologia da Paisagem, sendo o uso de SIG de fundamental importancia para essa análise, que por ora está fora do escopo deste trabalho.

⁸DOLFFUS, O. O espaço geográfico. 3 ed. Sao Paulo, Difel, 1978.

5. 1. 1 - Modelos Numericos de Terreno

Os MNTs gerados para as ilhas de Mosqueiro e Caratateua e para o Distrito Administrativos de Icoaraci se constituíram de base para a geracao de cartografias temáticas derivadas (declividade, aspecto, relevo sombreado e mapa das áreas de baixadas). E a geracao do bloco diagrama por meio da rede TIN permitiu uma definicao mais precisa dos elementos da paisagem.

Na ilha de Mosqueiro a topografia é pouco variável e baixa, com as áreas mais baixas (altitudes variando de 5 a 10m) distribuindo-se na porcao sudoeste e sudeste da ilha, e as áreas mais elevadas (cotas variando de 10 a 28m) distribuem-se na porcao nordeste, sul e parte central da ilha caracterizando uma orientacao NNE-SSW para um bloco soerguido a nordeste e um rebaixado a sudoeste. As planícies inundáveis distribuem-se nas áreas com as altitudes mais baixas, enquanto que os platos nas áreas de maiores altitudes (Figuras 5.1 e 5.2).

Na ilha de Caratateua a topografia apresenta-se pouco variável, com as áreas mais baixas (altitudes variando de 5 a 10m) distribuindo-se na porcao nordeste e sudeste da ilha, e as áreas mais elevadas (cotas variando de 10 a 19m) distribuem-se na porcao sudoeste, sudeste e parte central da ilha caracterizando um bloco soerguido a sudoeste e um rebaixado a nordeste. As planícies inundáveis distribuem-se nas áreas com as altitudes mais baixas, enquanto que os platos nas áreas de maiores altitudes, onde se distribuem as falésias erosivas (Figuras 5.3 e 5.4).

No Distrito Administrativo de Icoaraci a topografia é pouco variável, com as áreas mais baixas (altitudes variando de 5 a 10m) distribuindo-se por toda a faixa litoranea a nordeste, noroeste e sudoeste, e as áreas mais elevada (cotas variando de 10 a 28m) distribuem-se na parte central. A rede drenagem e as planícies inundáveis distribuem-se nas áreas com as altitudes mais baixas, enquanto que os platos nas áreas de maiores altitudes (Figura 5.5 e 5.6).

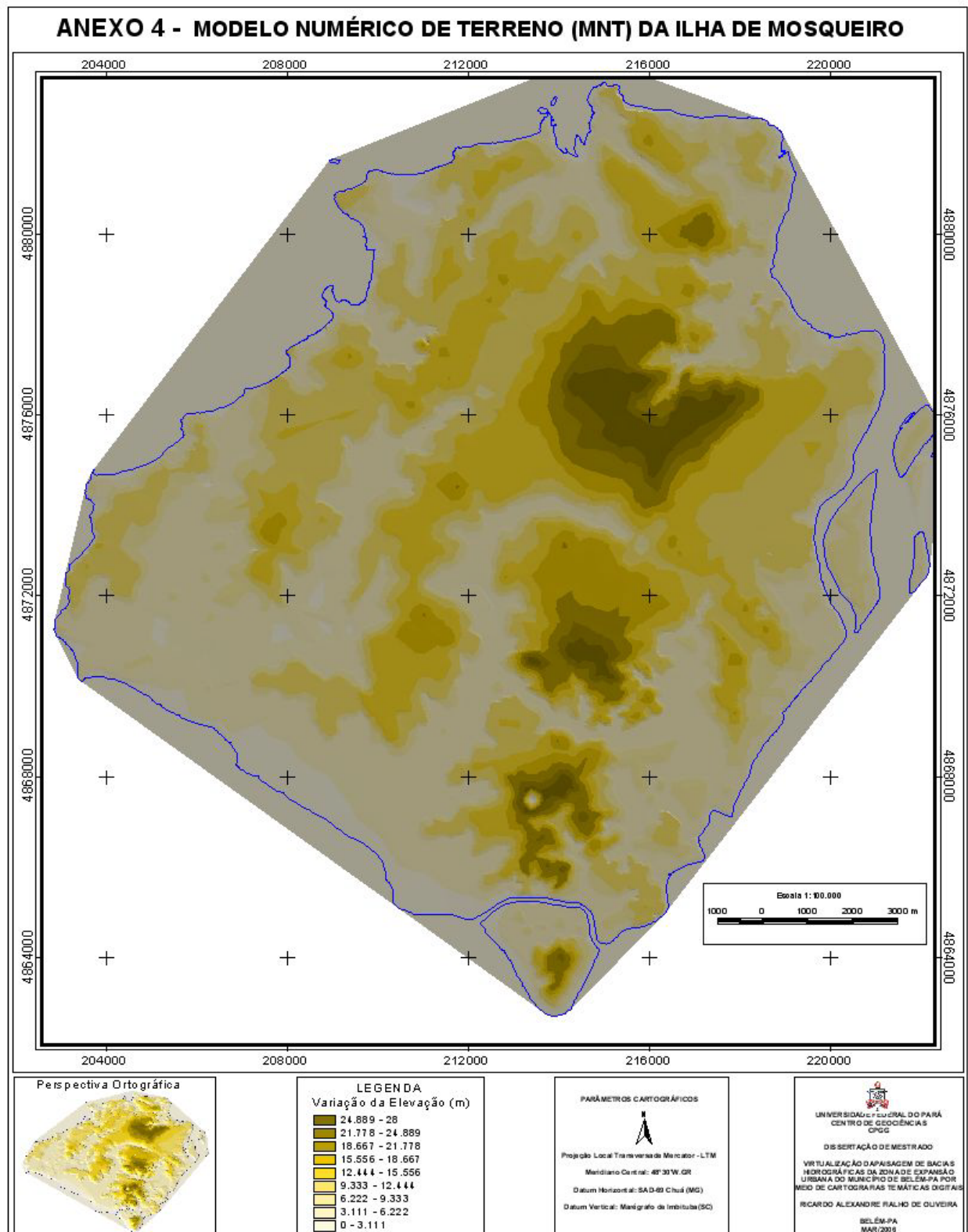


Figura 5. 1 – MNT da Ilha de Mosqueiro.

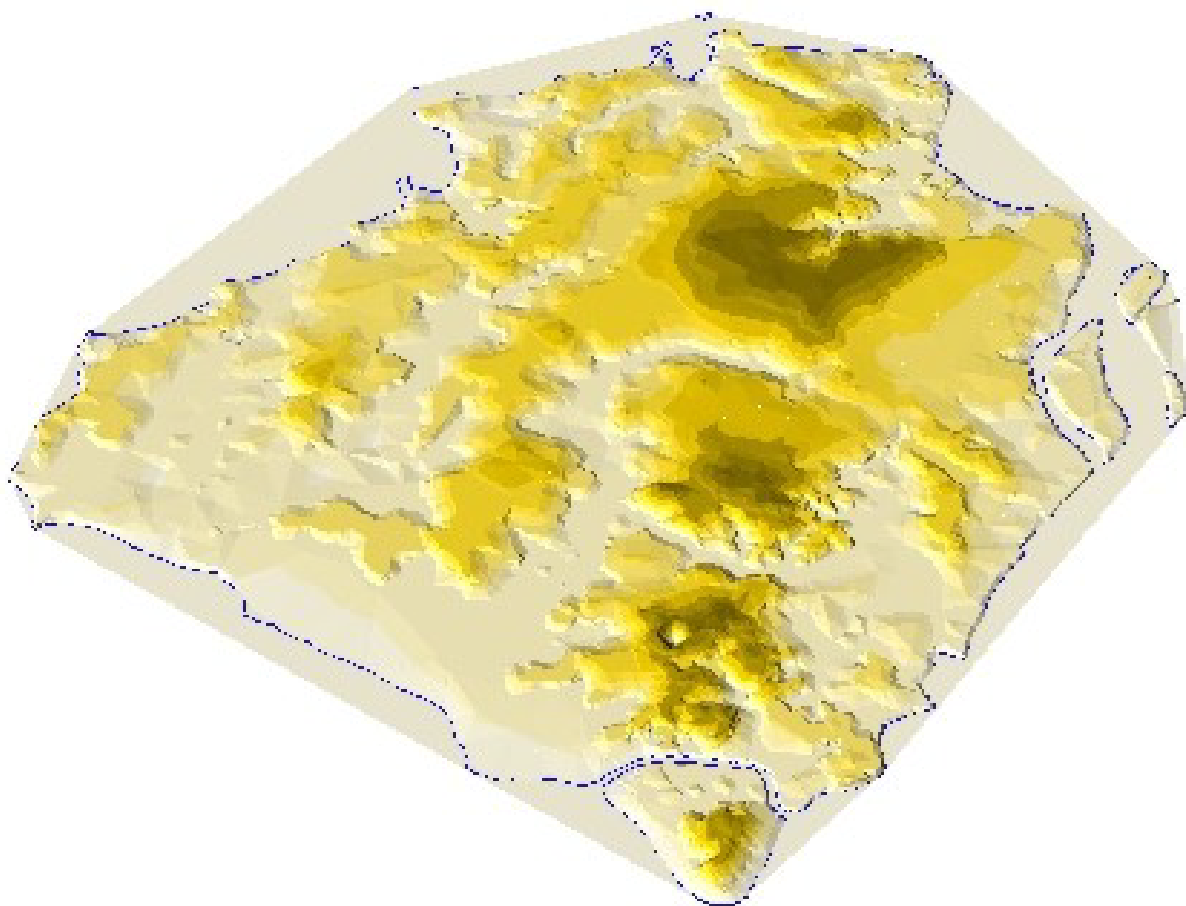


Figura 5. 2 – Perspectiva Ortográfica da Ilha de Mosqueiro.

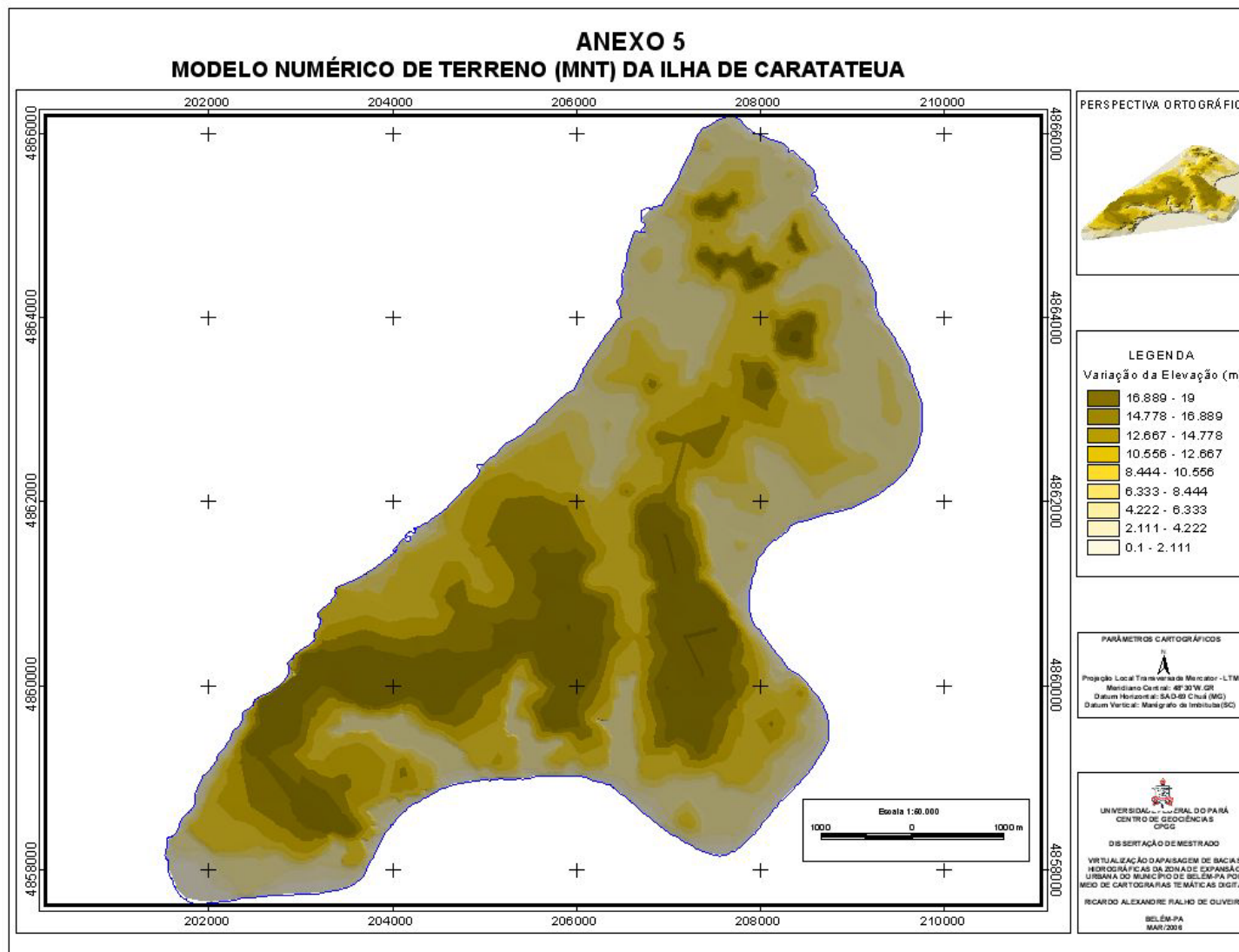


Figura 5. 3 – MNT da Ilha de Caratateua.

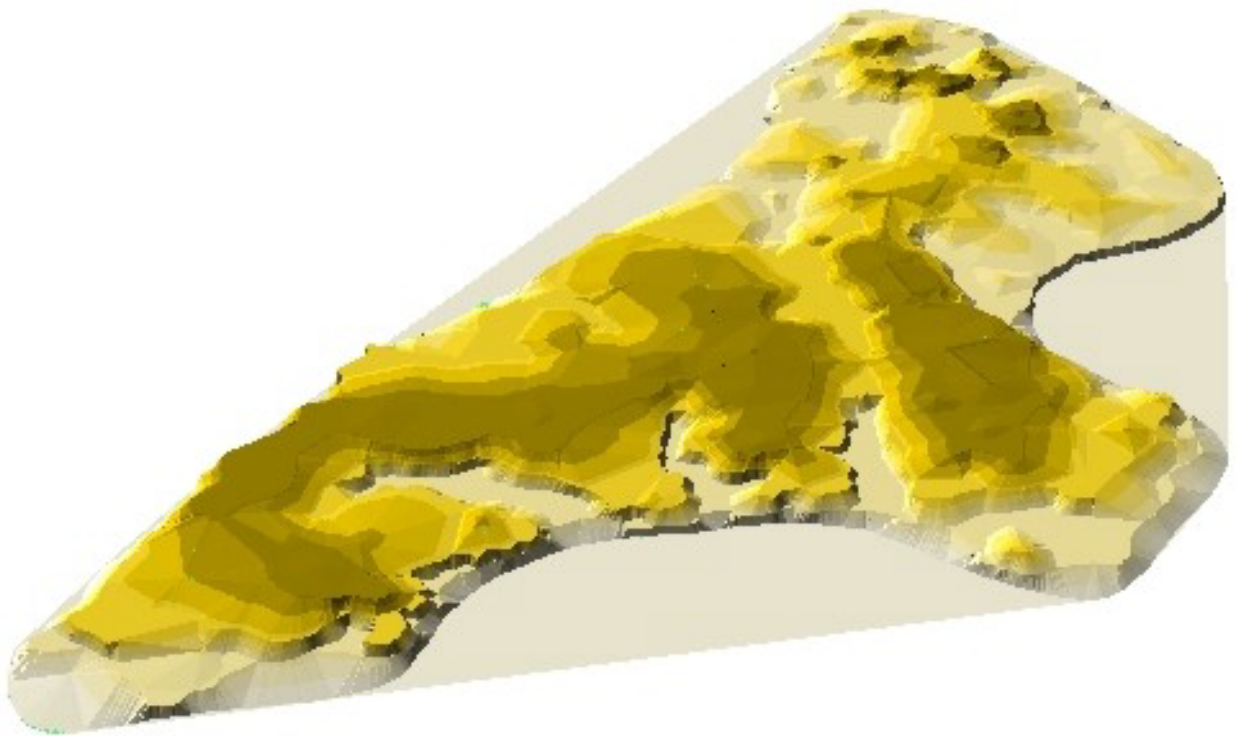


Figura 5. 4 – Perspectiva Ortográfica da Ilha de Caratateua.

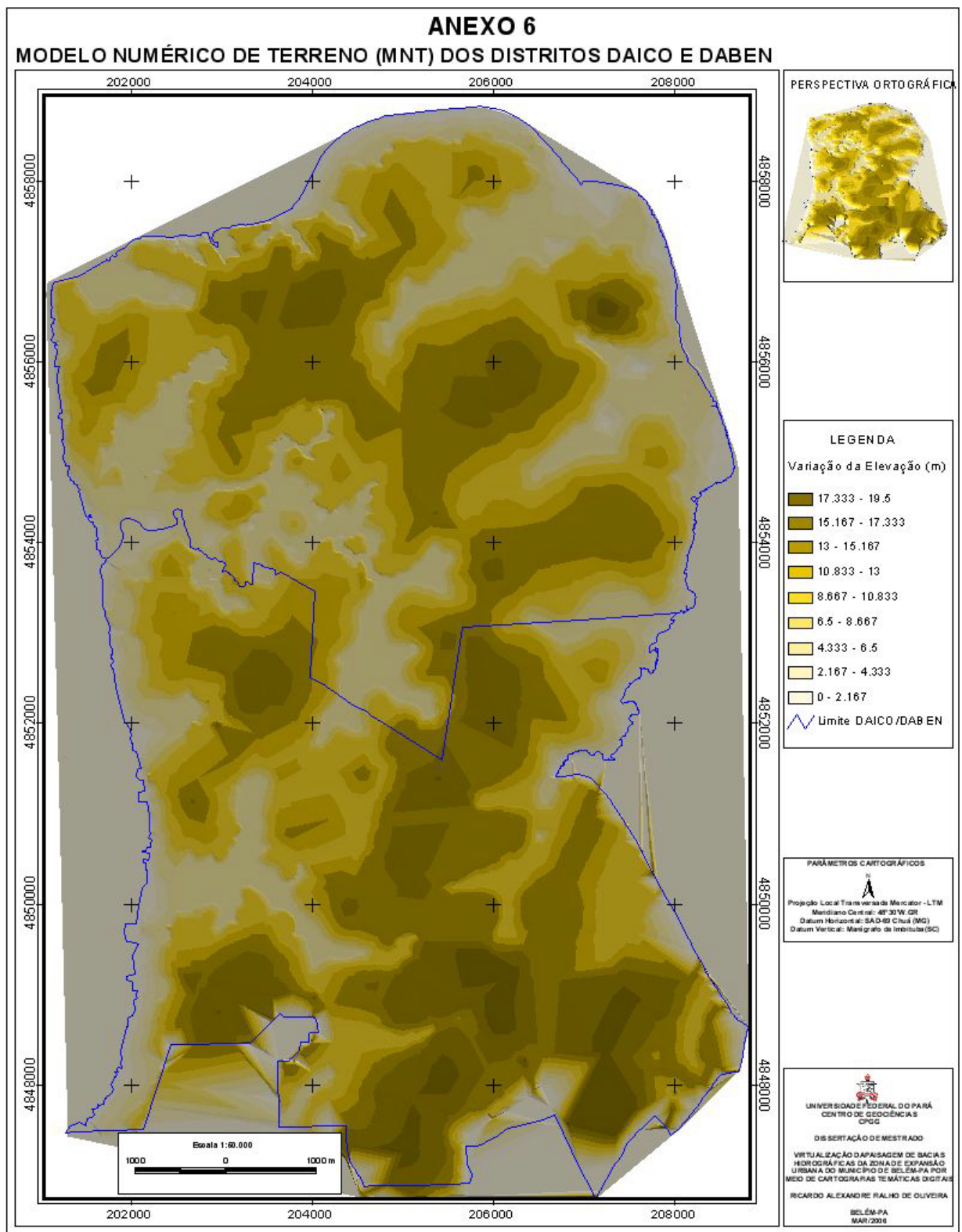


Figura 5. 5 – MNT dos distritos administrativos de Icoaraci (DAICO) e Bengui (DABEN).

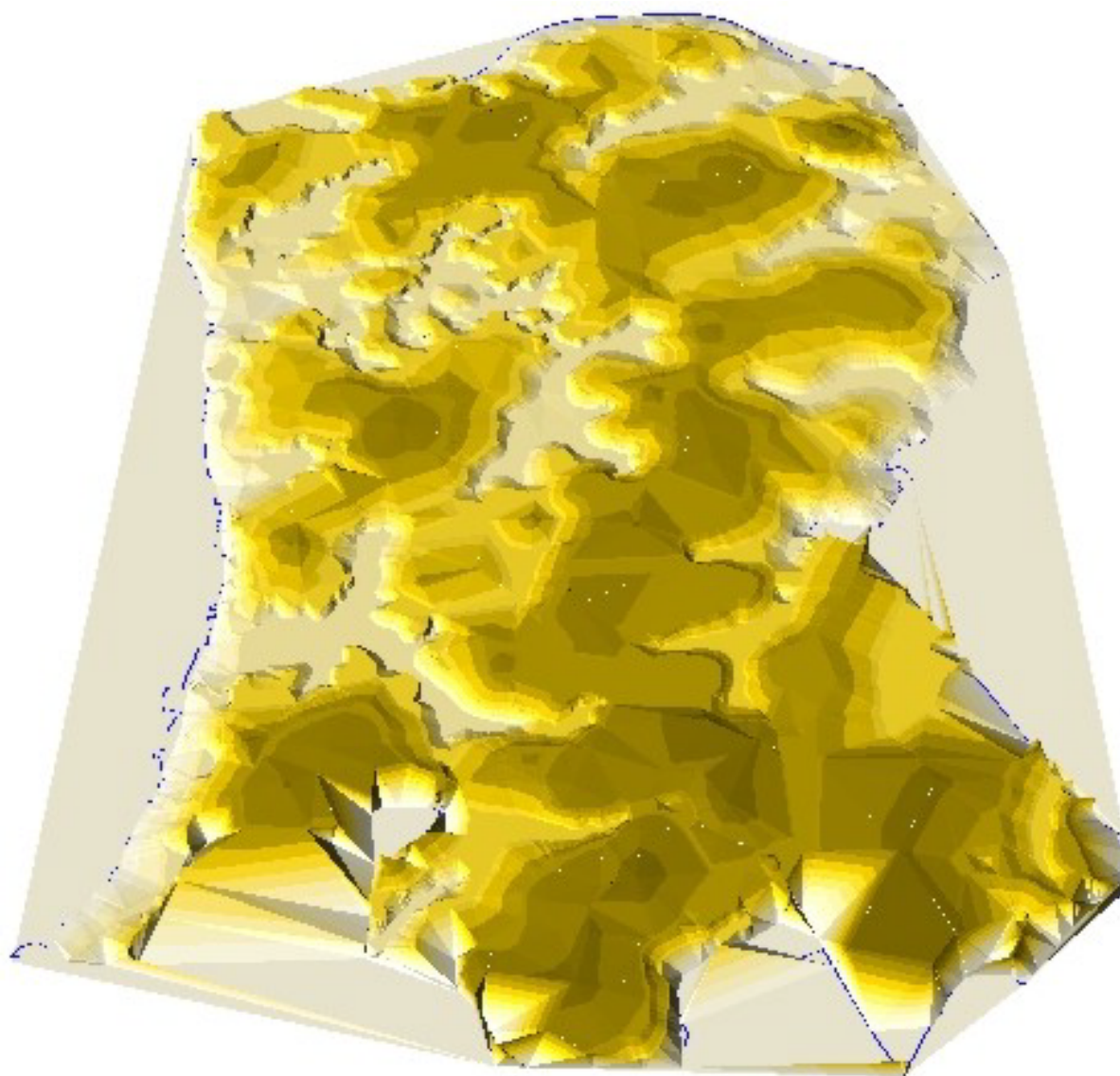


Figura 5. 6 –Perspectiva ortográfica dos distritos administrativos de Icoaraci (DAICO) e Bengui (DABEN).

5. 1. 2 – Mapa de Declividade

Na ilha de Mosqueiro, predominou as classes de menor declividade (0-5°), com poucas áreas com declividade elevadas (acima de 10°) (Figura 5.7). O mapa foi classificado em 4 classes de declividade, a saber: 0-1°, 1-5°, 5-10° e 10-15° (Figura 5.8).

Na ilha de Caratateua, também predominou as classes de menor declividade (0-5°), indicando poucas áreas com declividades acima de 10° (Figura 5.9). O mapa foi reorganizado de modo a exibir 4 classes de declividade: 0-1°, 1-5°, 5-10° e 10-15° (Figura 5.10).

O Distrito Administrativo de Icoaraci (DAICO), segue os padrões anteriores exibindo as classes de declividade 0-5°, sendo numericamente inferiores aquelas com declividade maiores que de 10° (Figura 5.11). O mapa apresentou 4 classes de declividade: 0-1°, 1-5°, 5-10° e 10-15° (Figura 5.12).

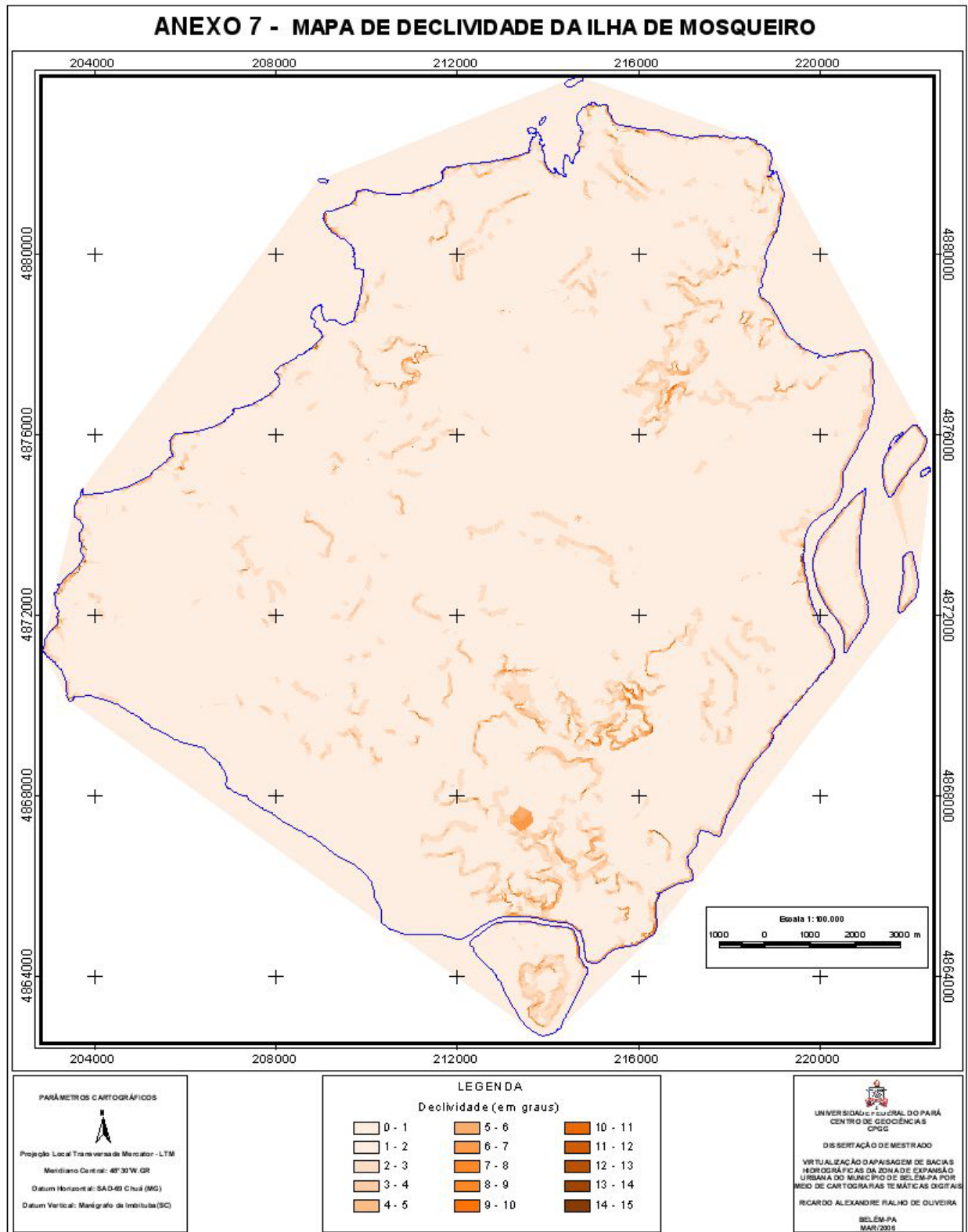


Figura 5. 7 – Declividade da Ilha de Mosqueiro em graus.

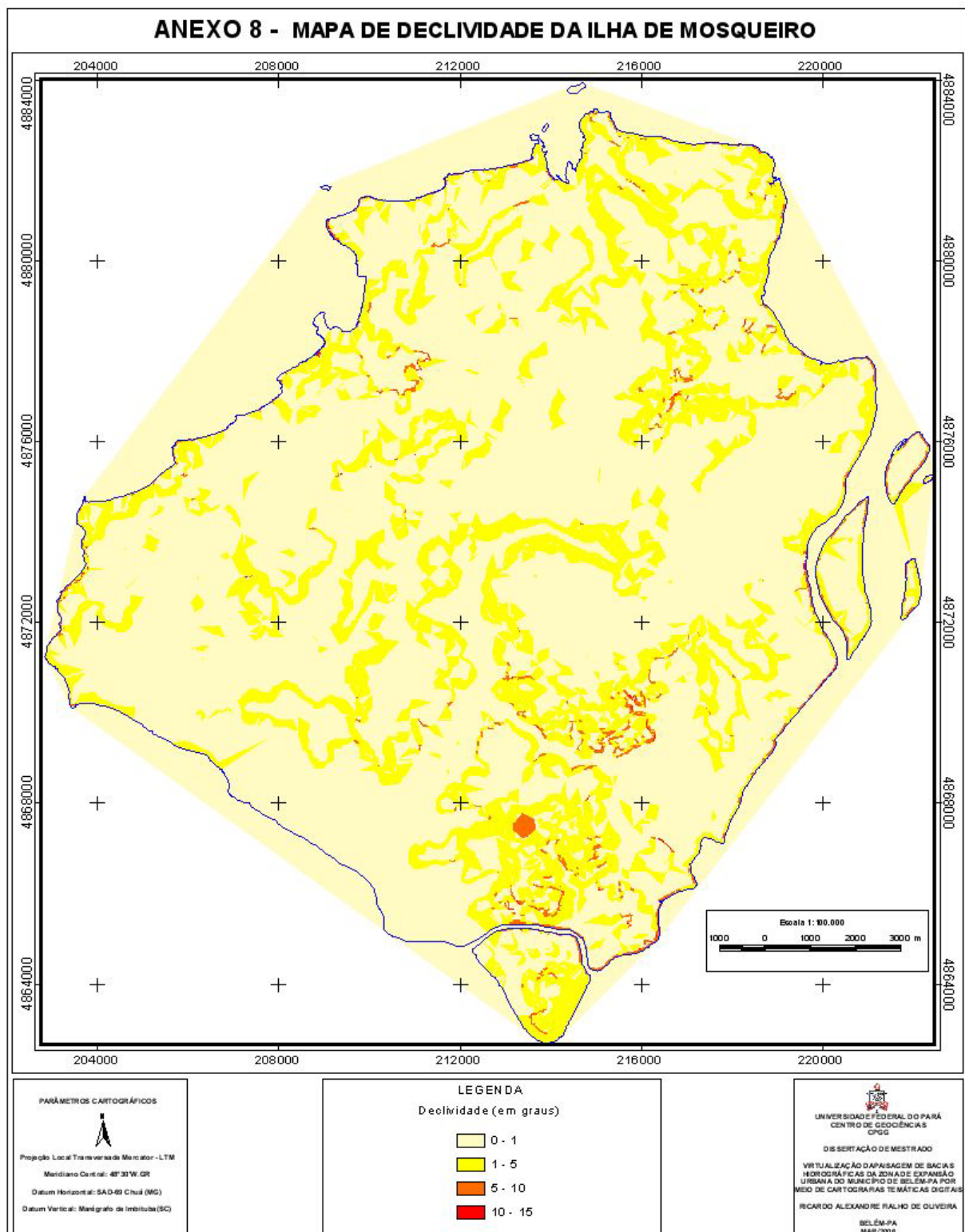


Figura 5. 8 – Declividade da Ilha de Mosqueiro em classes.

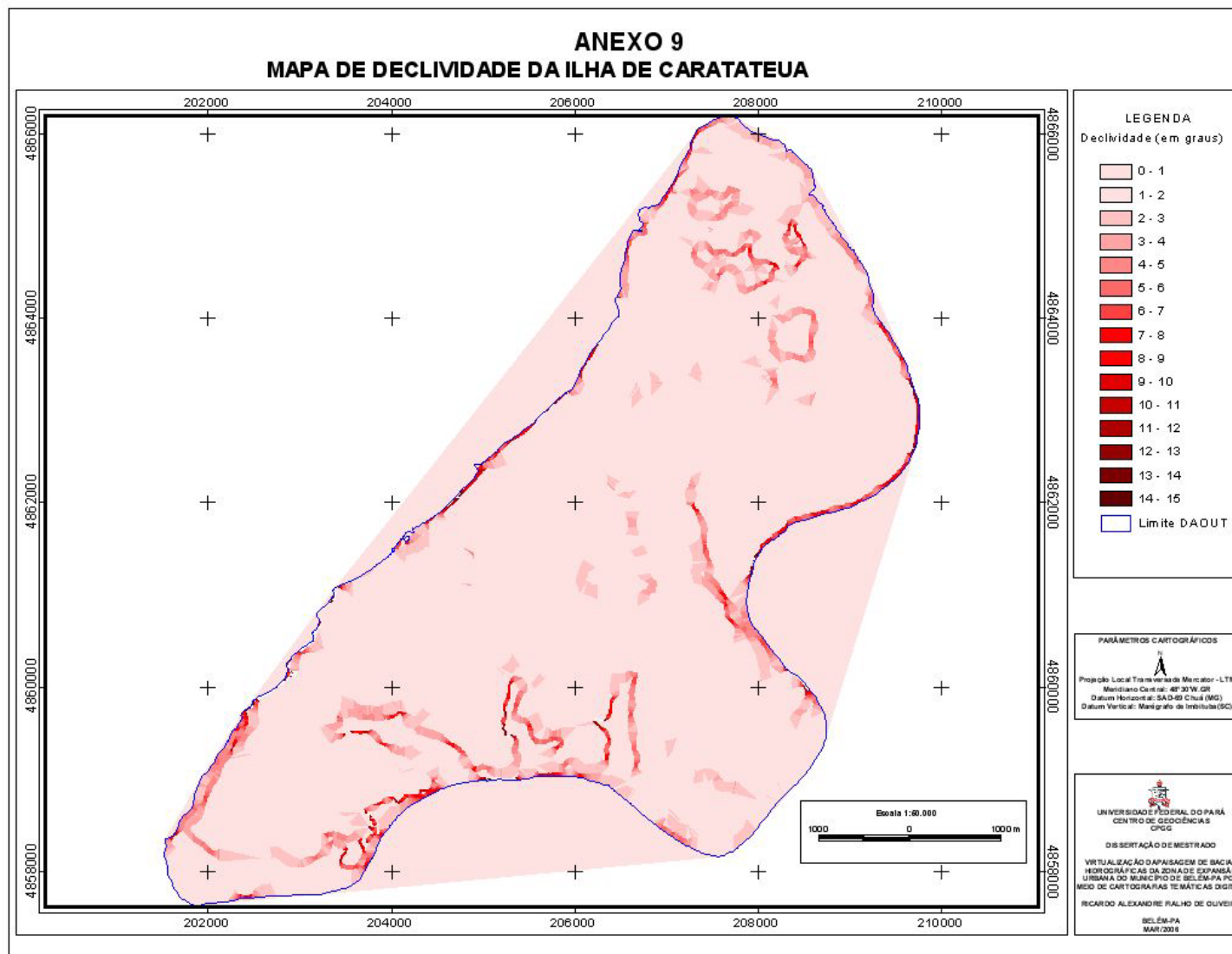


Figura 5. 9 – Declividade da Ilha de Caratateua em graus.

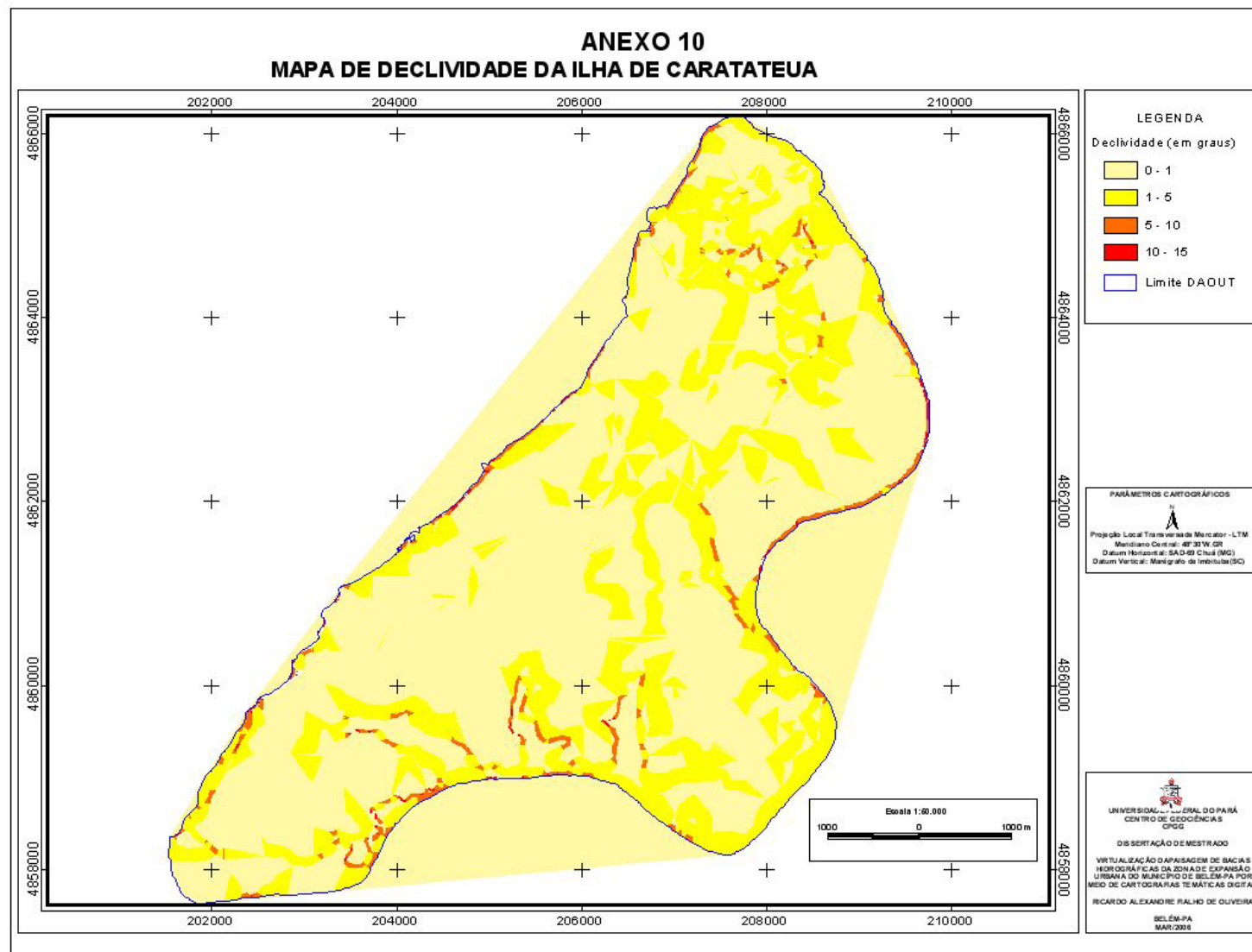


Figura 5. 10 – Declividade da Ilha de Caratateua em classes.

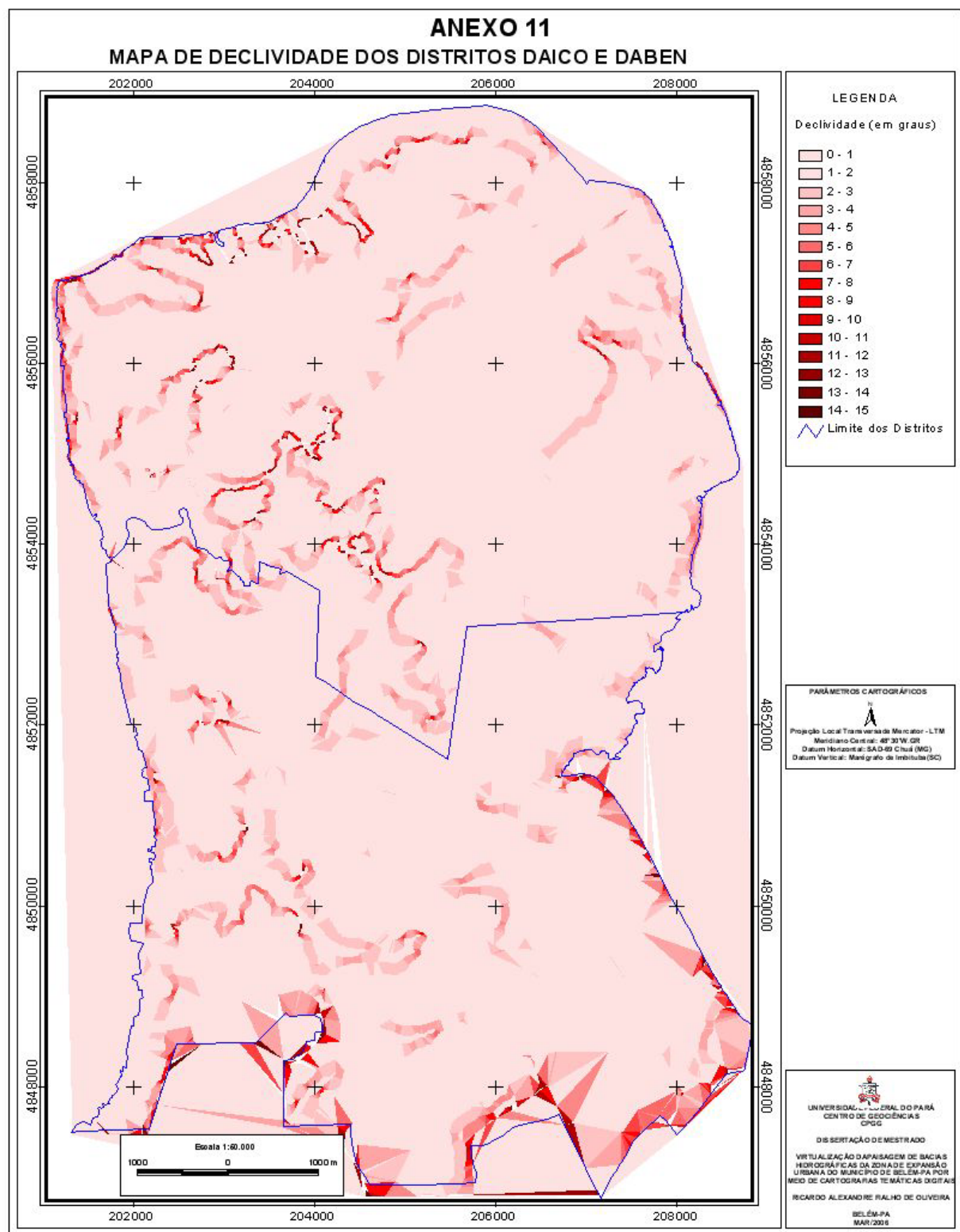


Figura 5. 11 – Declividade dos distritos DAICO e DABEN em graus.

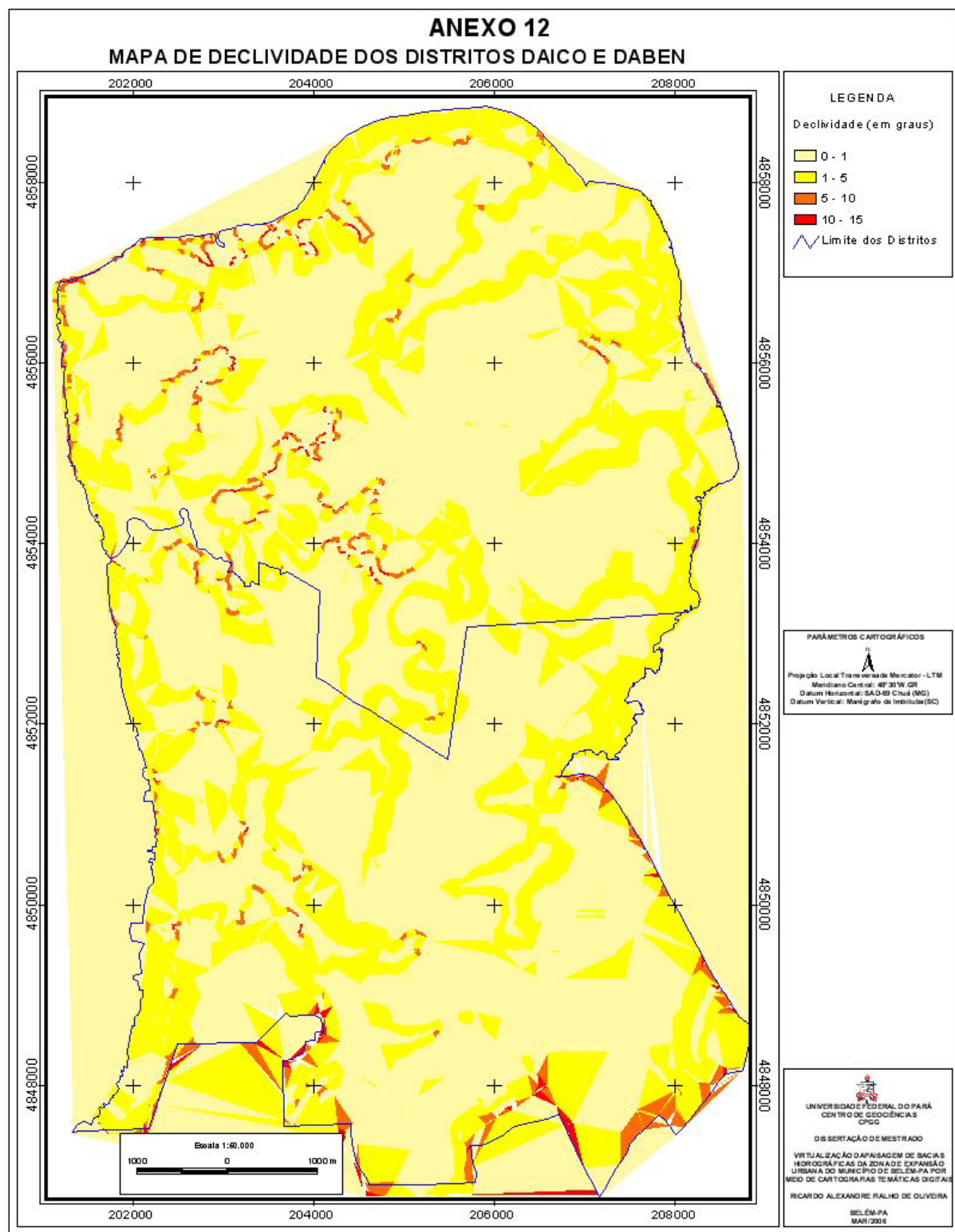


Figura 5. 12 – Declividade dos distritos DAICO e DABEN em classes.

5. 1. 3 – Mapa de Aspecto

Os mapas foram derivados a partir do MNT, por meio de operações analíticas realizadas no ArcView, com o auxílio da extensão 3D Analyst. - *Derive Aspect*, a qual identifica a direção de declive mais íngreme de cada pixel para seus vizinhos. Os valores representam a direção de bússola do aspecto, sendo 0 para norte verdadeiro, 90 para leste, e assim sucessivamente. Para as áreas planas, sem declive, é atribuído um valor de aspecto de -1.

No mapa de aspecto da ilha de Mosqueiro (Figura 5.13) tornam-se evidentes as áreas consideradas planas (-1) e as vertentes orientadas seguindo orientações diversas, mas predominando as orientações para sudeste, sul e sudoeste.

No mapa de aspecto da ilha de Caratateua (Figura 5.14) tornam-se evidentes as áreas consideradas planas (-1) e as vertentes orientadas seguindo orientações diversas, no entanto predominam as orientações para nordeste, leste, sudeste, sudoeste e oeste.

No mapa de aspecto do DAICO (Figura 5.15) tornam-se evidentes as áreas consideradas planas (-1) e as vertentes orientadas seguindo orientações diversas, no entanto predominam as orientações para sudoeste, oeste, nordeste, sudeste e sul.

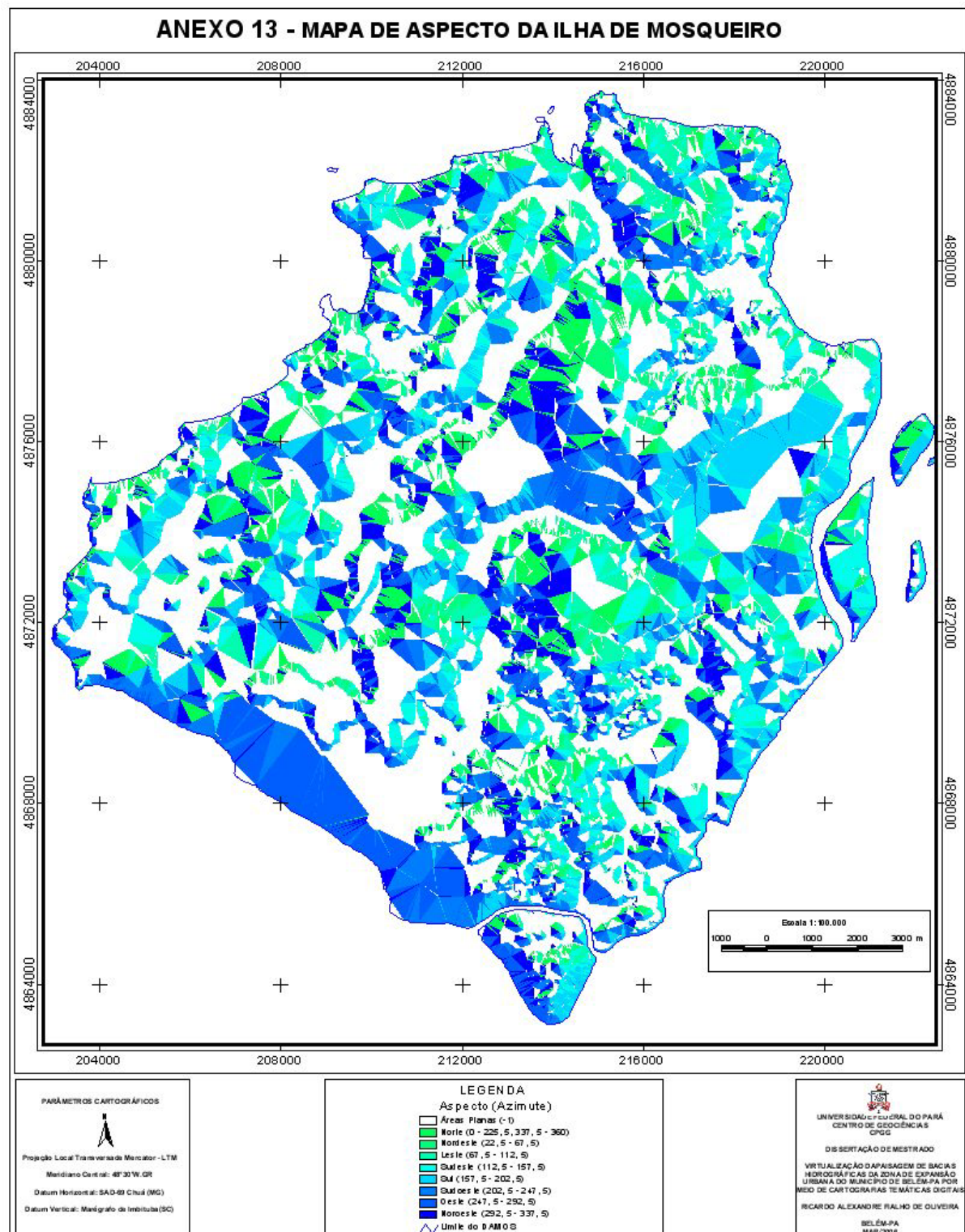


Figura 5. 13 – Mapa de aspecto da ilha de Mosqueiro.

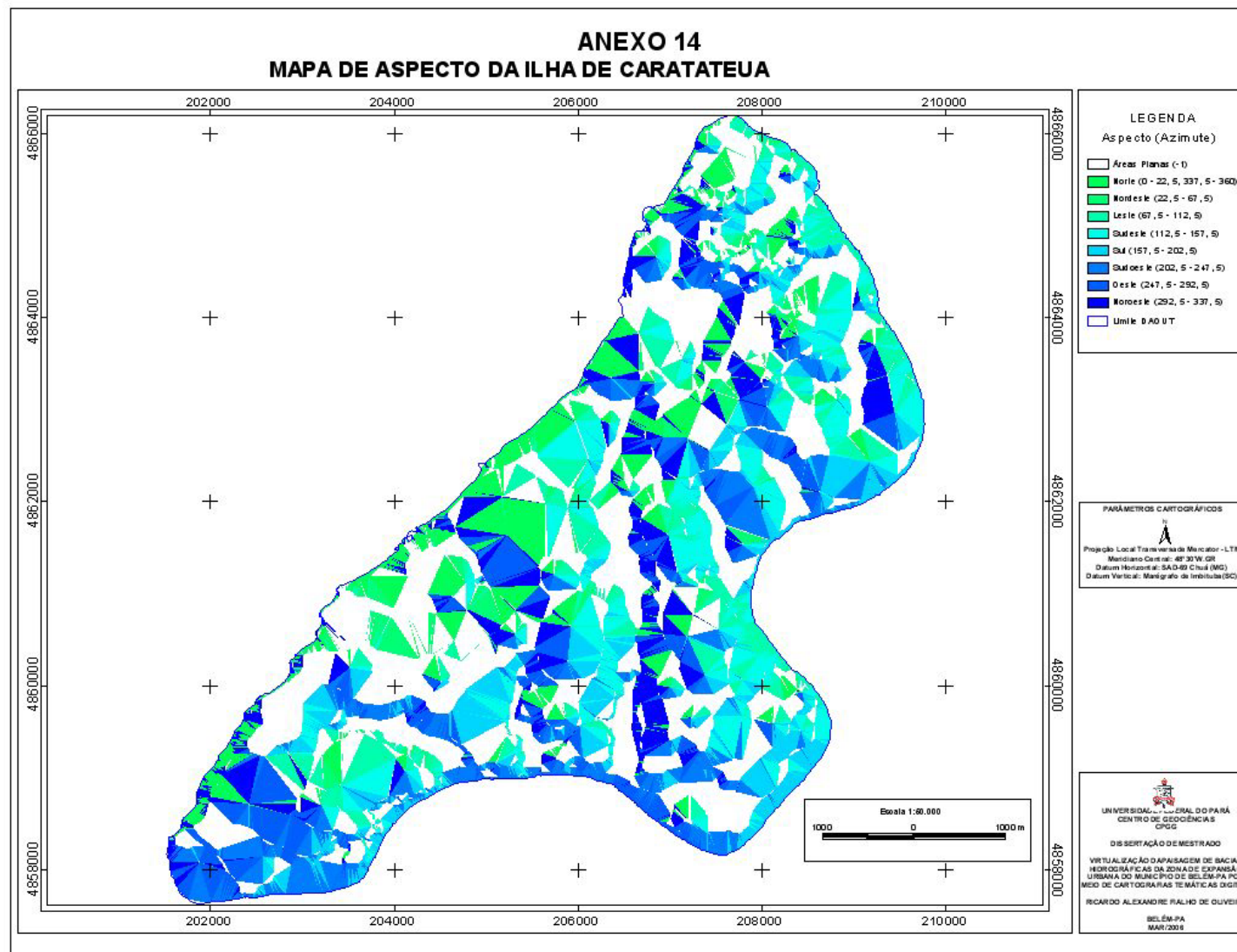


Figura 5. 14 – Mapa de aspecto da ilha de Caratateua.

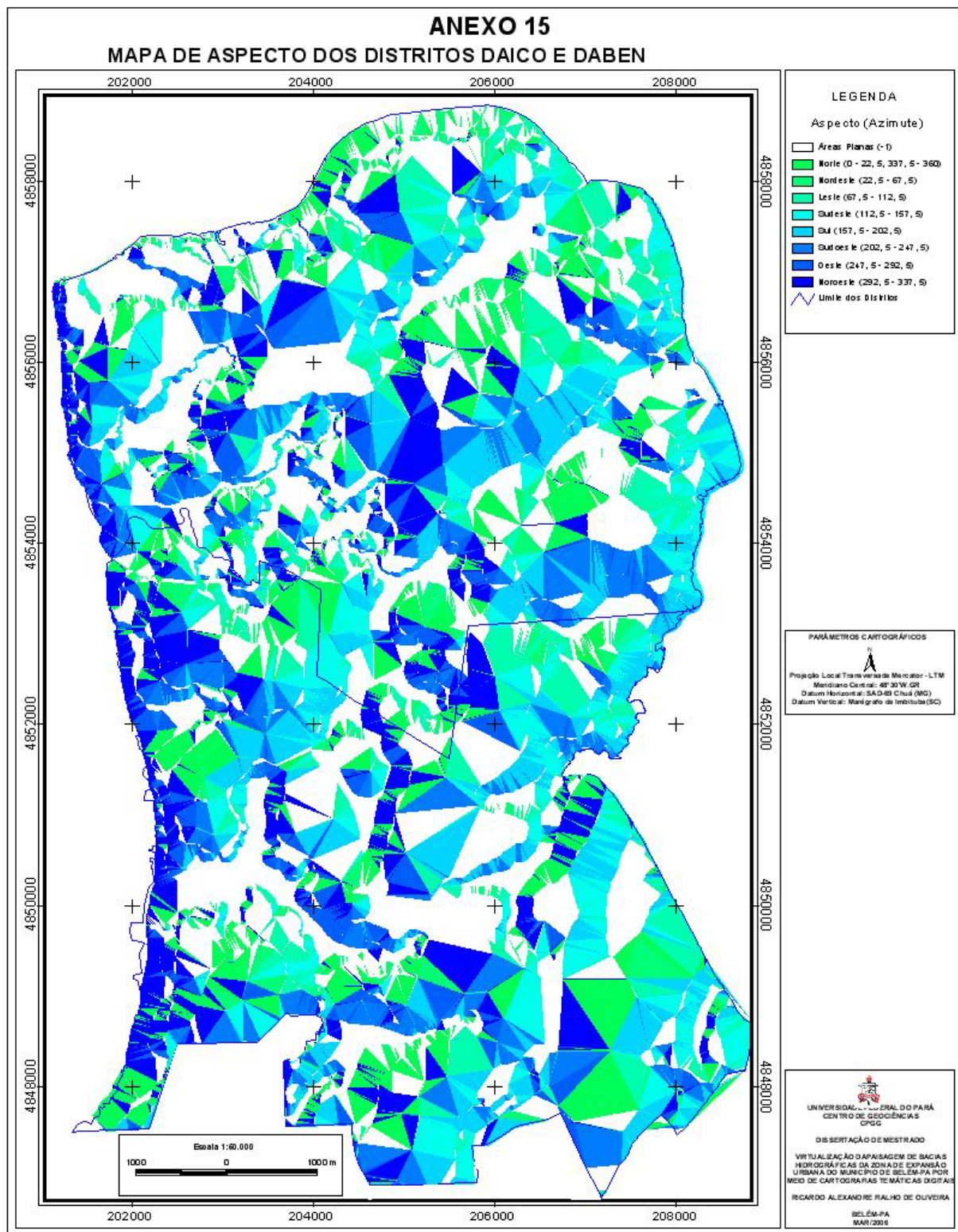


Figura 5. 15 – Mapa de aspecto dos distritos de Icoaraci (DAICO) e Bengui (DABEN).

5. 1. 4 - Mapa das Bacias Hidrograficas

Os mapas foram gerados a partir do desdobramento dos mapas de aspecto (orientacao das vertentes), por meio de operacoes analíticas determinando as regioes ou áreas dos cursos hídricos superficiais (igarapés). Os igarapés contemplados foram: o Igarapé Tamanduá no Distrito Administrativo de Mosqueiro (DAMOS), o Igarapé Curupéré no Distrito Administrativo de Outeiro (DAOUT) e o Igarapé Paracuri no Distrito Administrativo de Icoaraci (DAICO) (Figuras 5.16, 5.17 e 5.18).

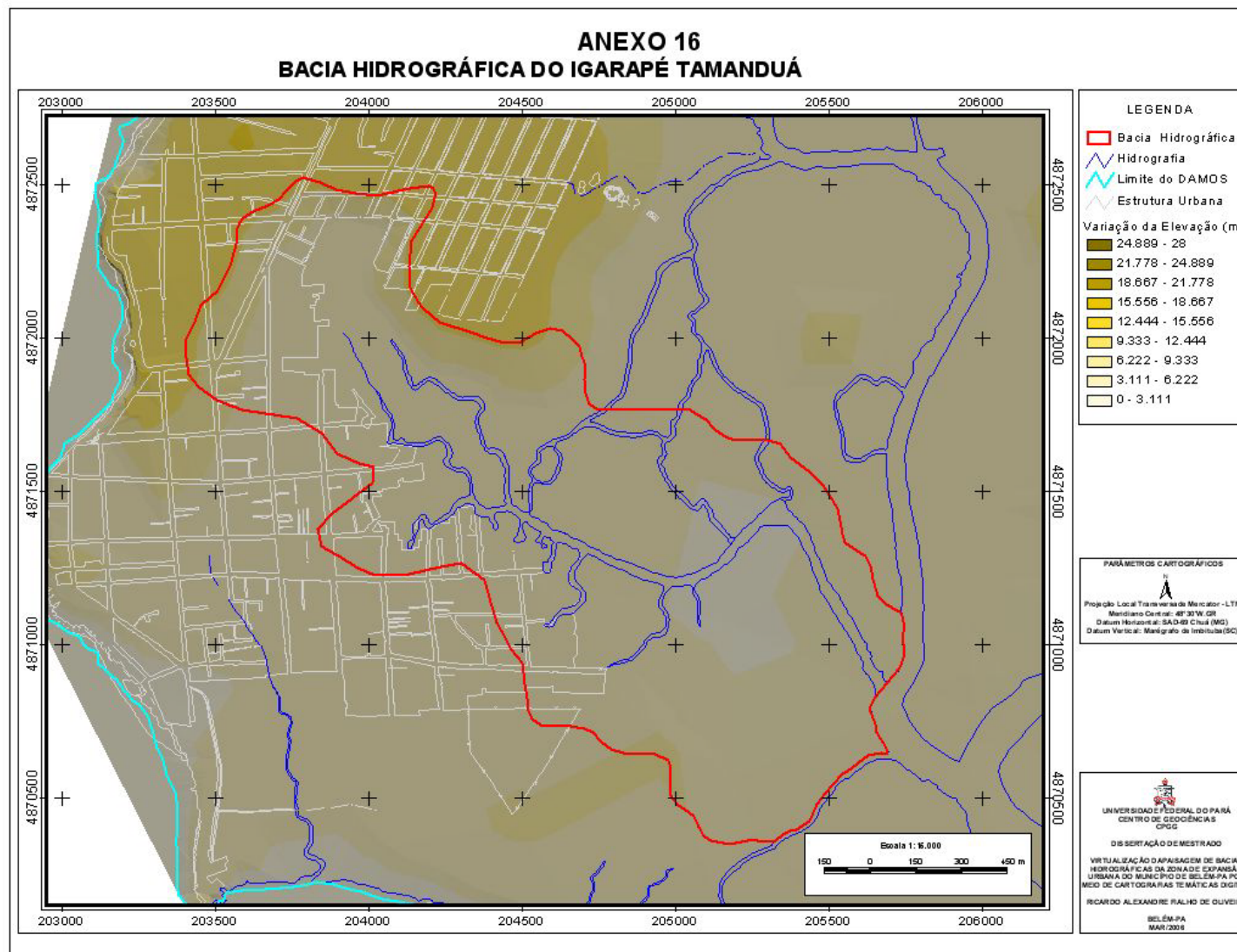


Figura 5. 16 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Igarapé Paracuri.

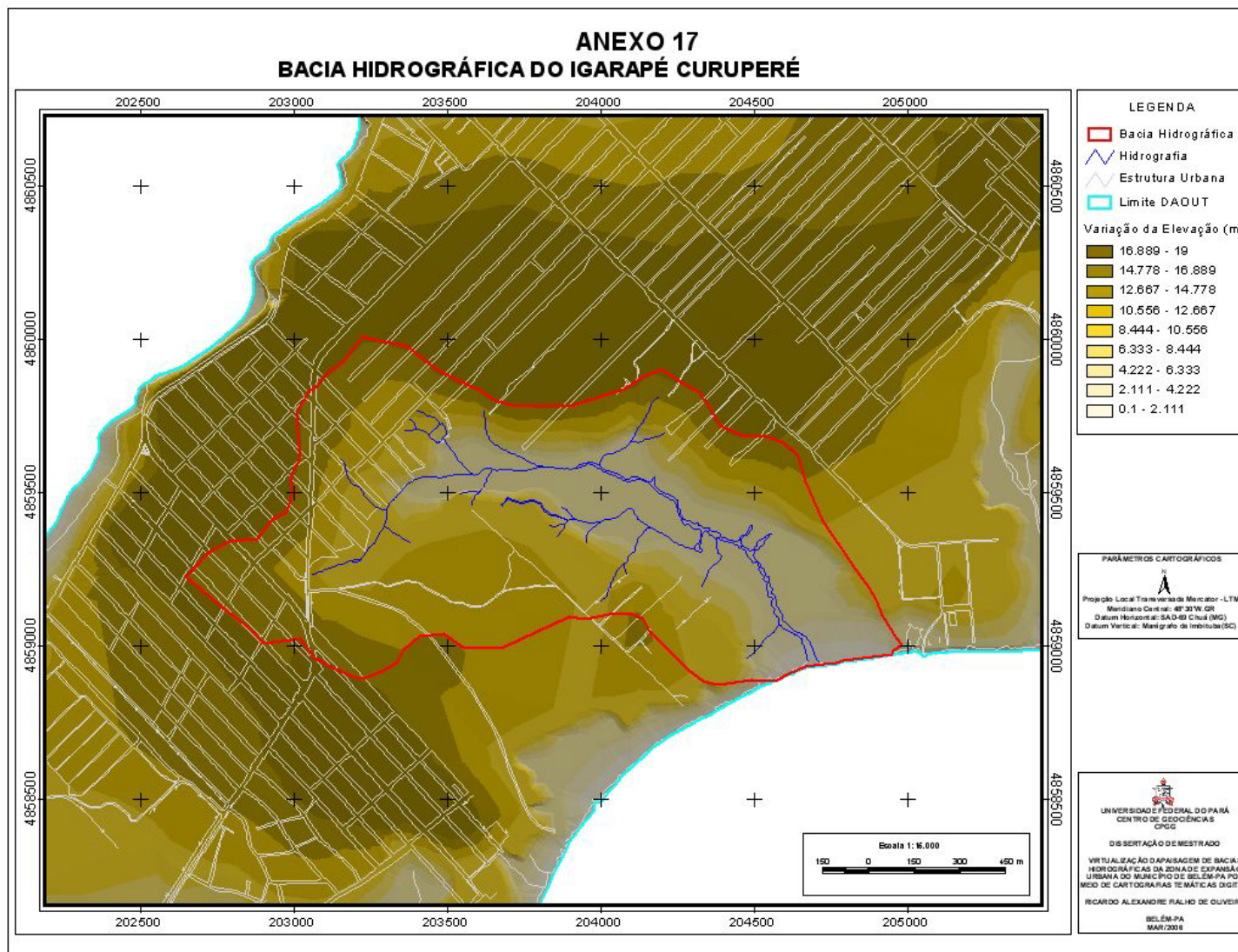


Figura 5. 17 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Igarapé Curuparé.

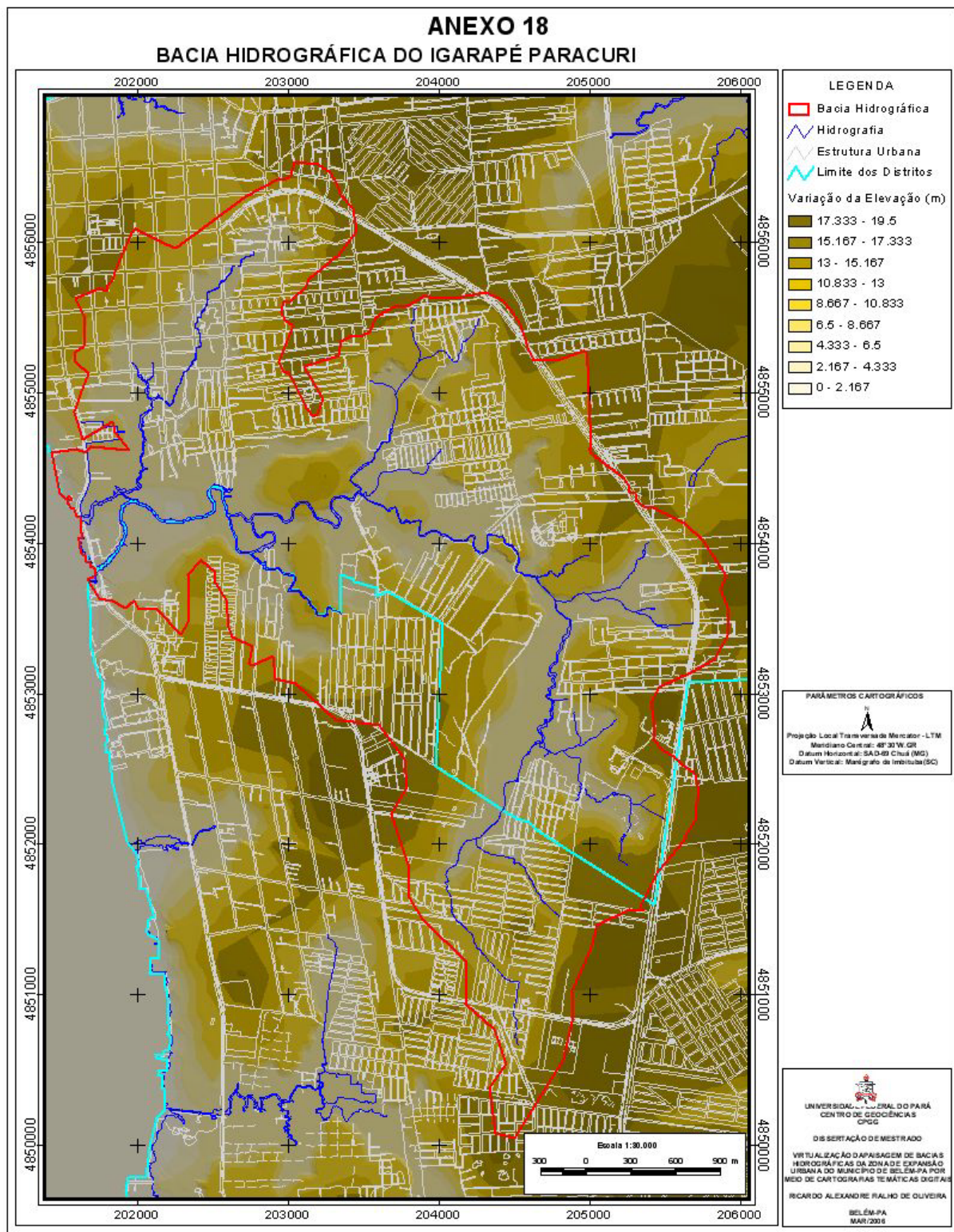


Figura 5. 18 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Igarapé Paracuri.

5. 1. 5 - Mapa das Areas de Baixadas

Este produto cartográfico foi obtido pela reclassificacao dos valores de altitude do MNT, atribuindo-se cores para os intervalos de altitude entre 1 e 4m (intervalo de altitude das áreas consideradas "baixadas"). Observa-se nos mapas a distribuicao espacial das áreas de baixadas, nas margens das baías e dos principais igarapés (Figuras 5.19, 5.20 e 5.21). Nessas áreas são comuns a ocorrência de alagamentos devido a influencia das marés de equinócio e/ou devido as precipitacoes.

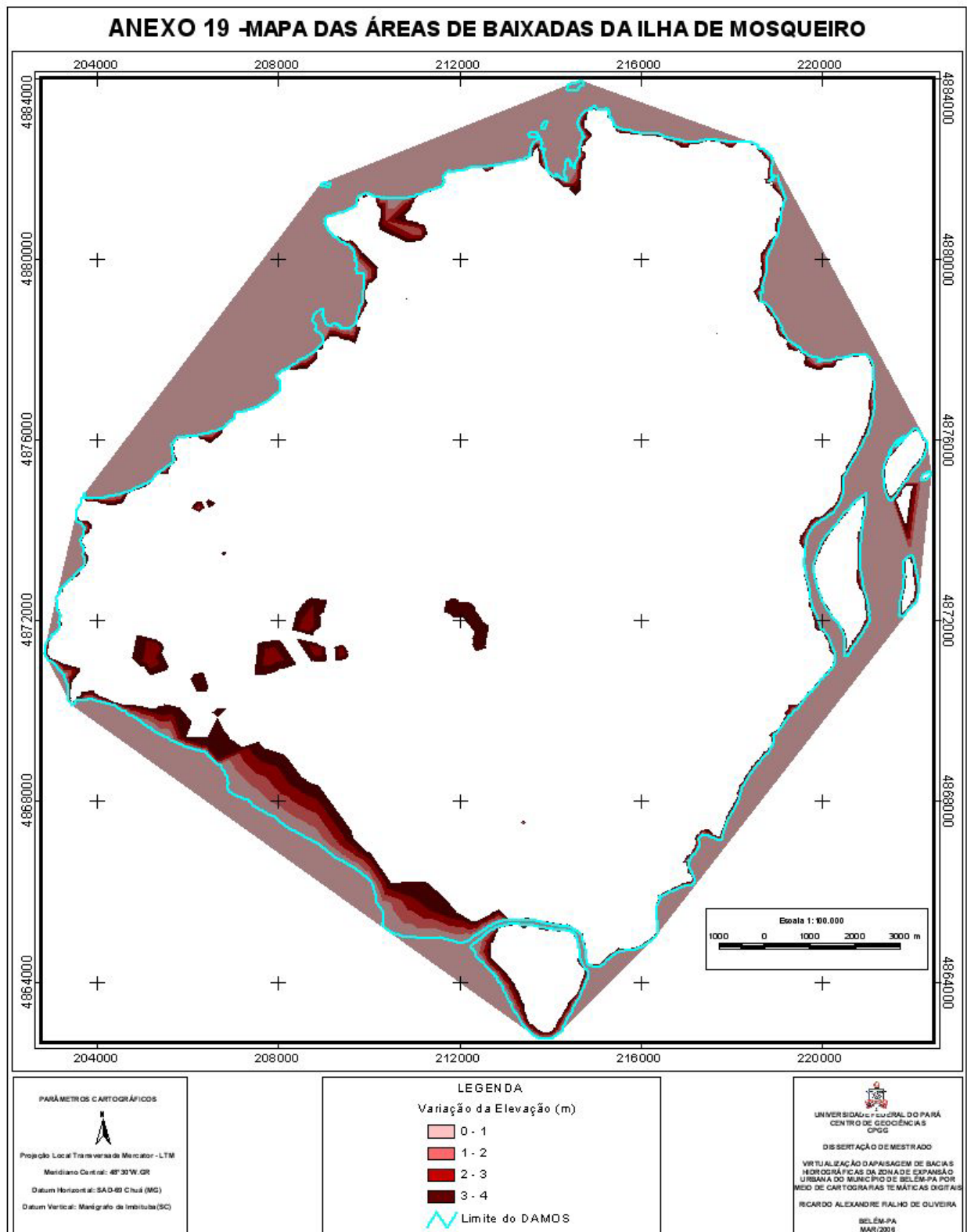


Figura 5. 19 – Mapa das áreas de baixadas da Ilha de Mosqueiro.

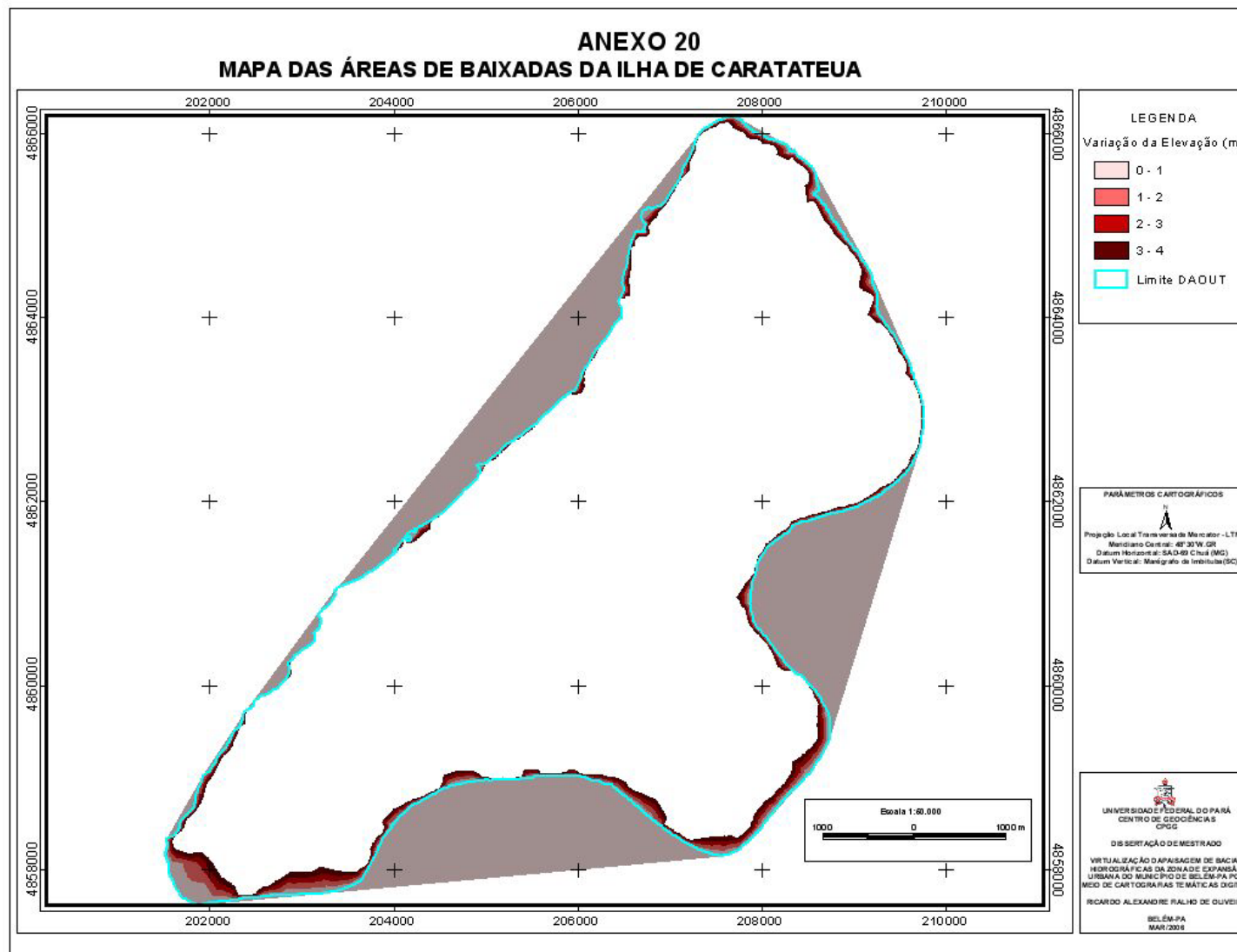


Figura 5. 20 – Mapa das áreas de baixadas da Ilha de Caratateua.

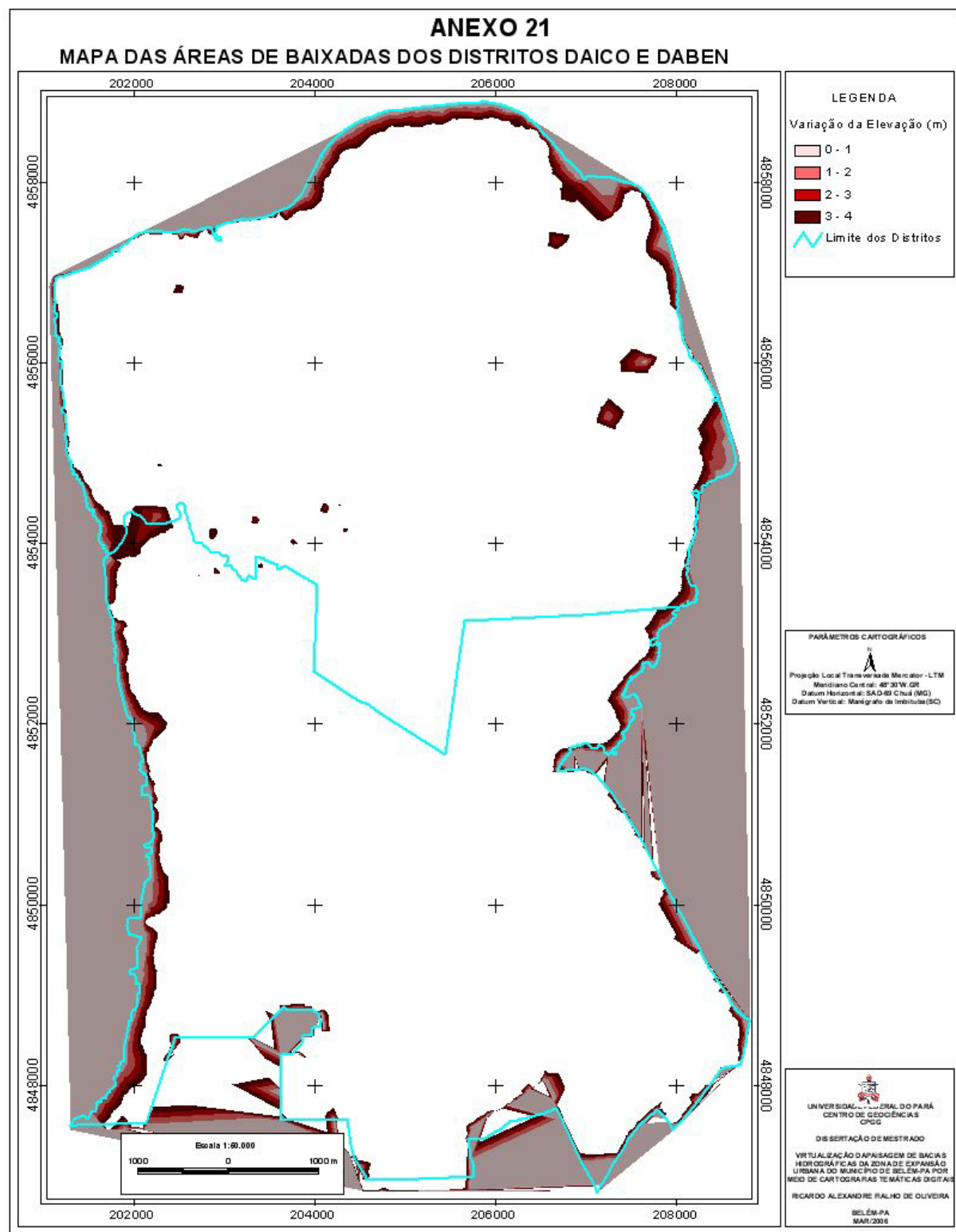


Figura 5. 21 – Mapa das áreas de baixadas dos distritos DAICO e DABEN

5. 1. 6 - Mapa das Faixas de Dom nio dos Igarapes

Estes produtos foram obtidos pela criacao de *buffers*, áreas com espacializacao definida a partir damargem dos igarapés Tamanduá, Curupéré e Paracuri. A distancia determinada corresponde a faixa de dom'nio dos igarapés, estabelecida no Plano Diretor Urbano do Munic'pio de Belém, artigo 88 (Parágrafo 1º), que considera como faixa de dom'nio a largura do canal mais 33 metros de cada lado, a partir de suas margens (Figura 5.22, 5.23 e 5.24). A geracao destes mapas com os *buffers* se faz necessário para a análise de riscos, de impactos ambientais e do uso e ocupacao do solo nas faixas de dom'nios dos igarapés.

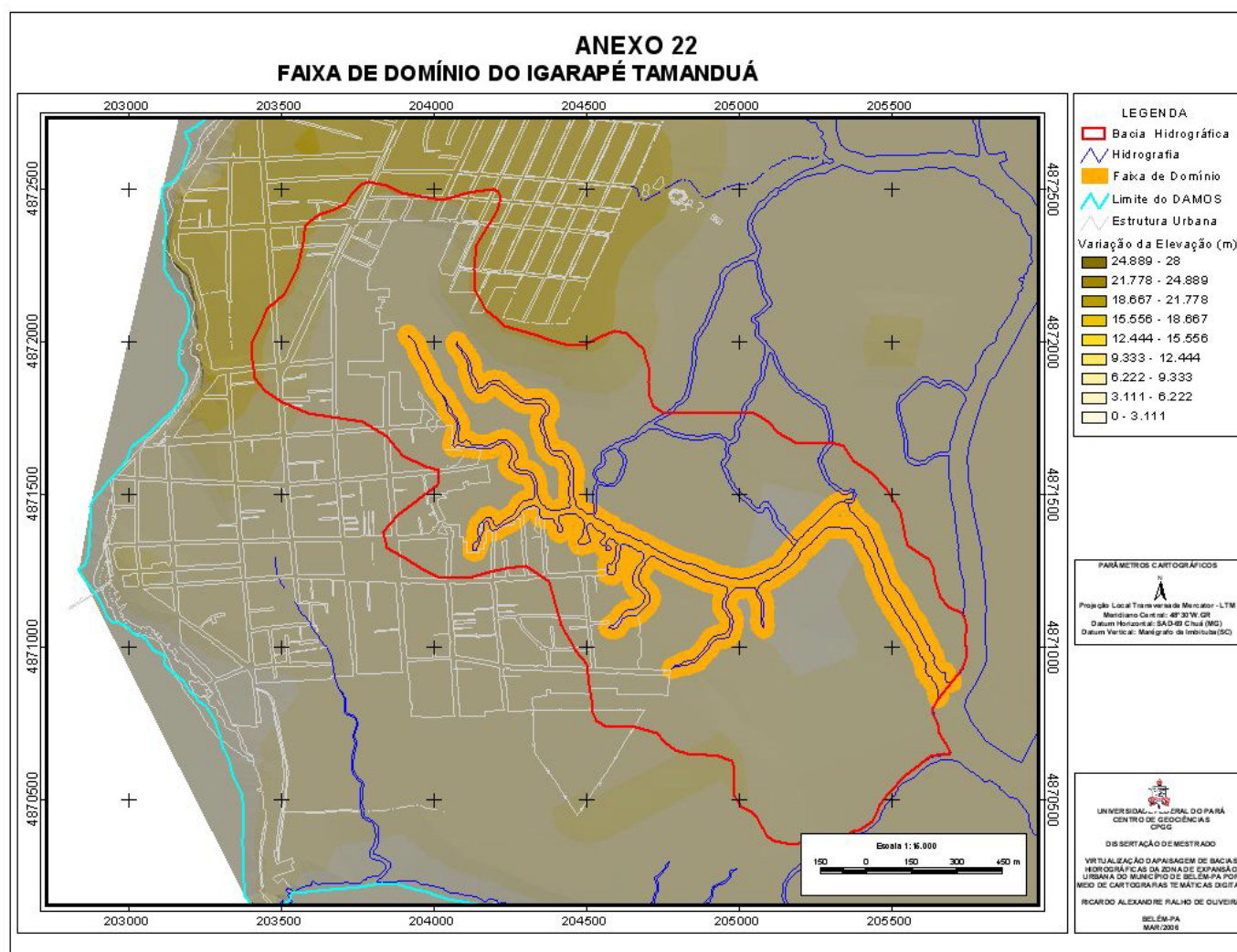


Figura 5. 22 – Mapa das faixas de domínio do igarapé Tamanduá. Nas áreas em laranja encontram-se os limites das zonas de risco naturais.

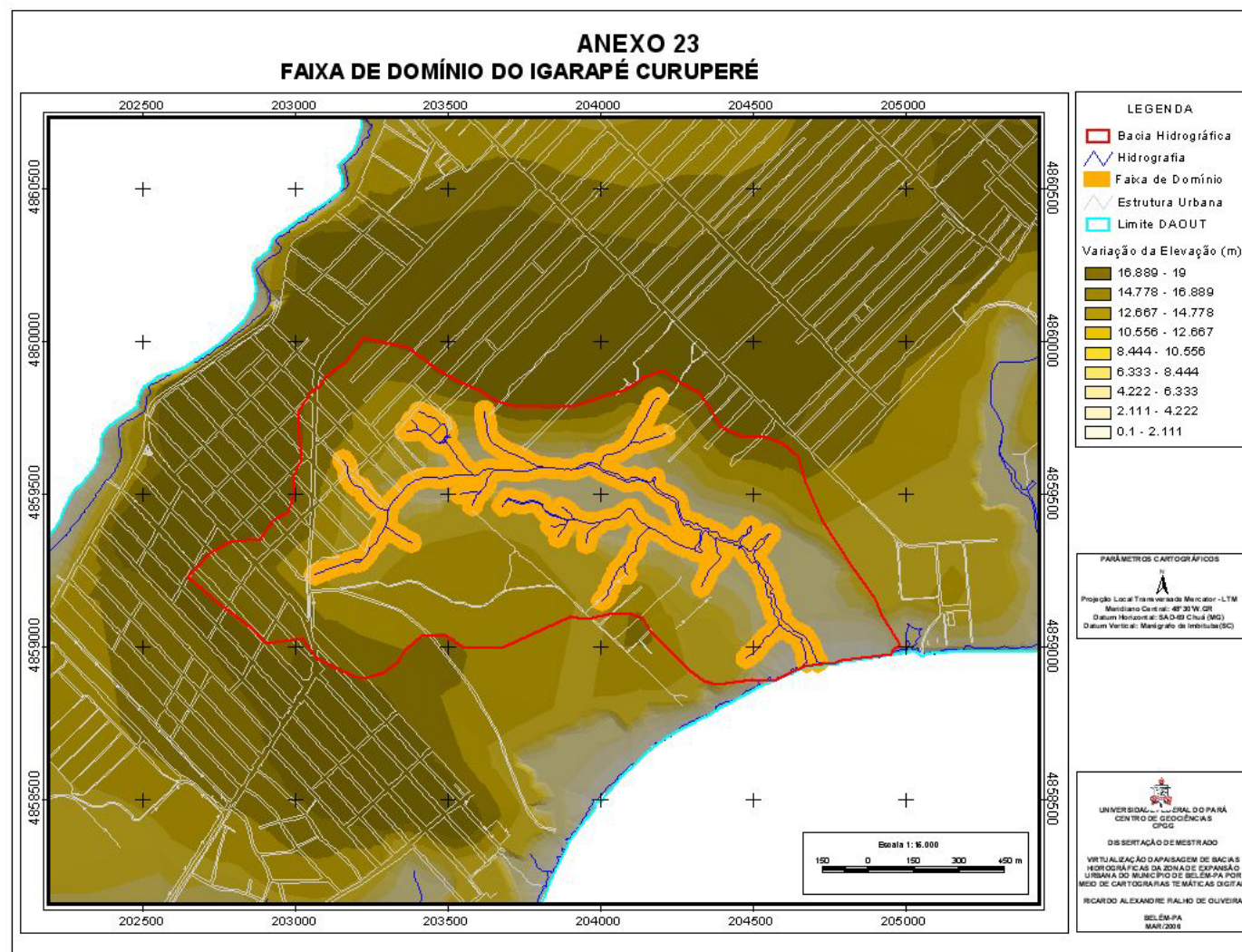


Figura 5. 23 – Mapa das faixas de domínio do igarapé Curupeté. Nas áreas em laranja encontram-se os limites das zonas de risco naturais.

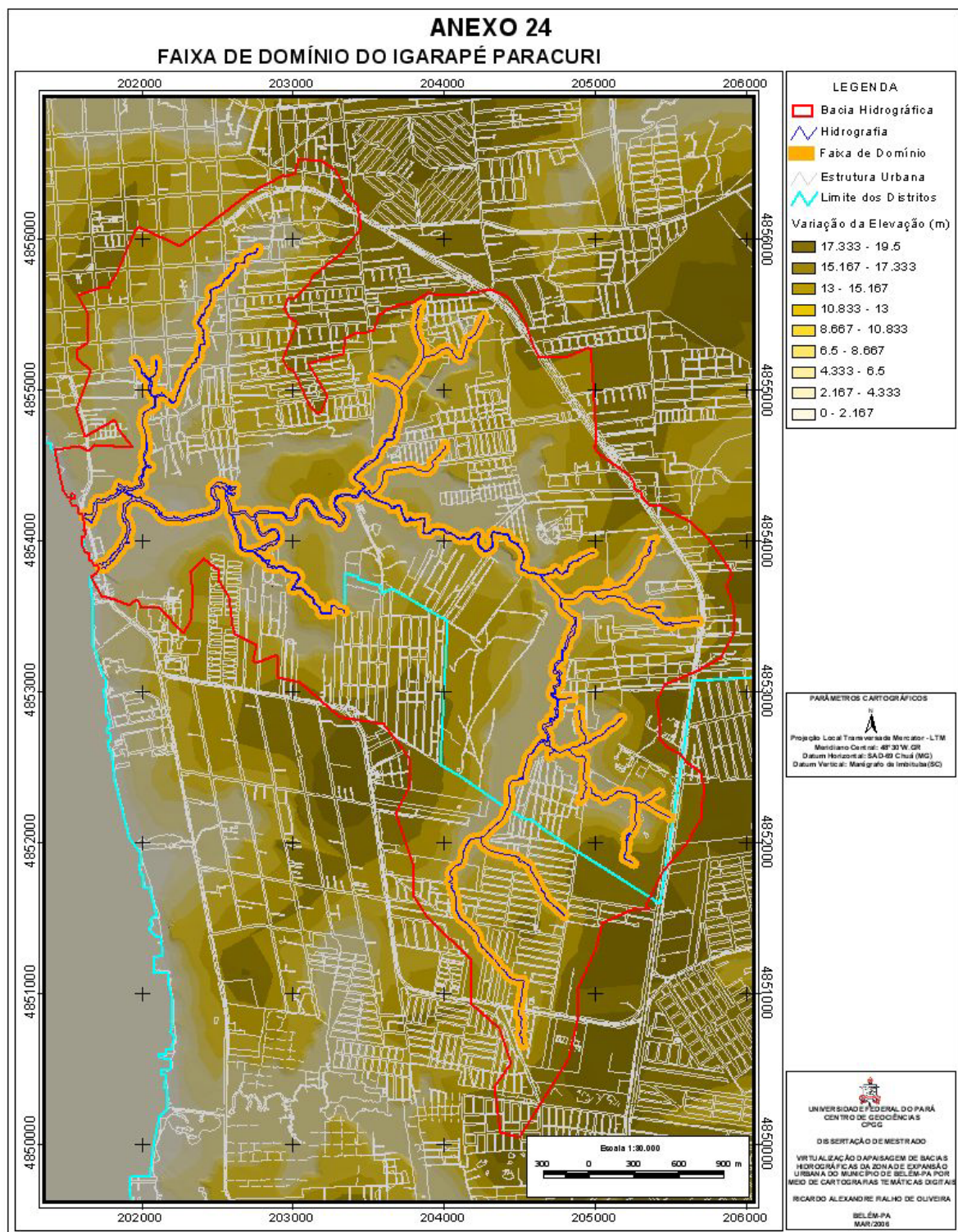


Figura 5. 24 – Mapa das faixas de domínio do igarapé Paracuri. Nas áreas em laranja encontram-se os limites das zonas de risco naturais.

5. 1. 7 - Mapa de Lineamentos Neotectonicos

Estes mapas foram obtidos a partir do relacionamento entre os dados dos elementos naturais da paisagem, representados nos MNT's e, de um *layer* de descontinuidade, gerado pela análise, retificação e interpretação das várias redes de drenagem em vista a definição de produto da movimentação recente (neotectônica).

Os mapas foram elaborados a partir da sobreposição de lineamentos estruturais e da rede drenagem no MNT (Figuras 5.25, 5.26 e 5.27).

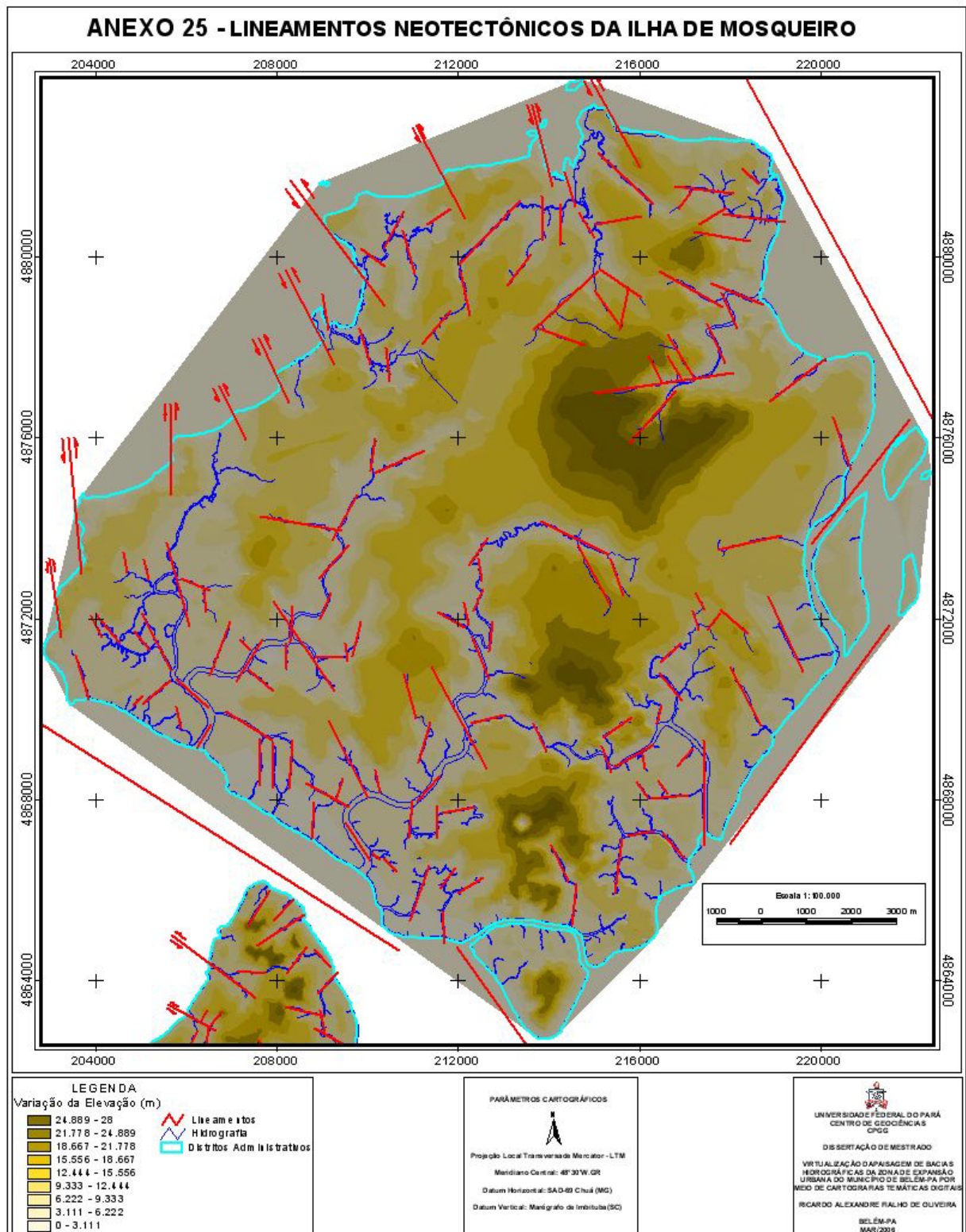


Figura 5. 25 – Lineamentos estruturais da ilha de Mosqueiro, visualizados sobre o MNT.

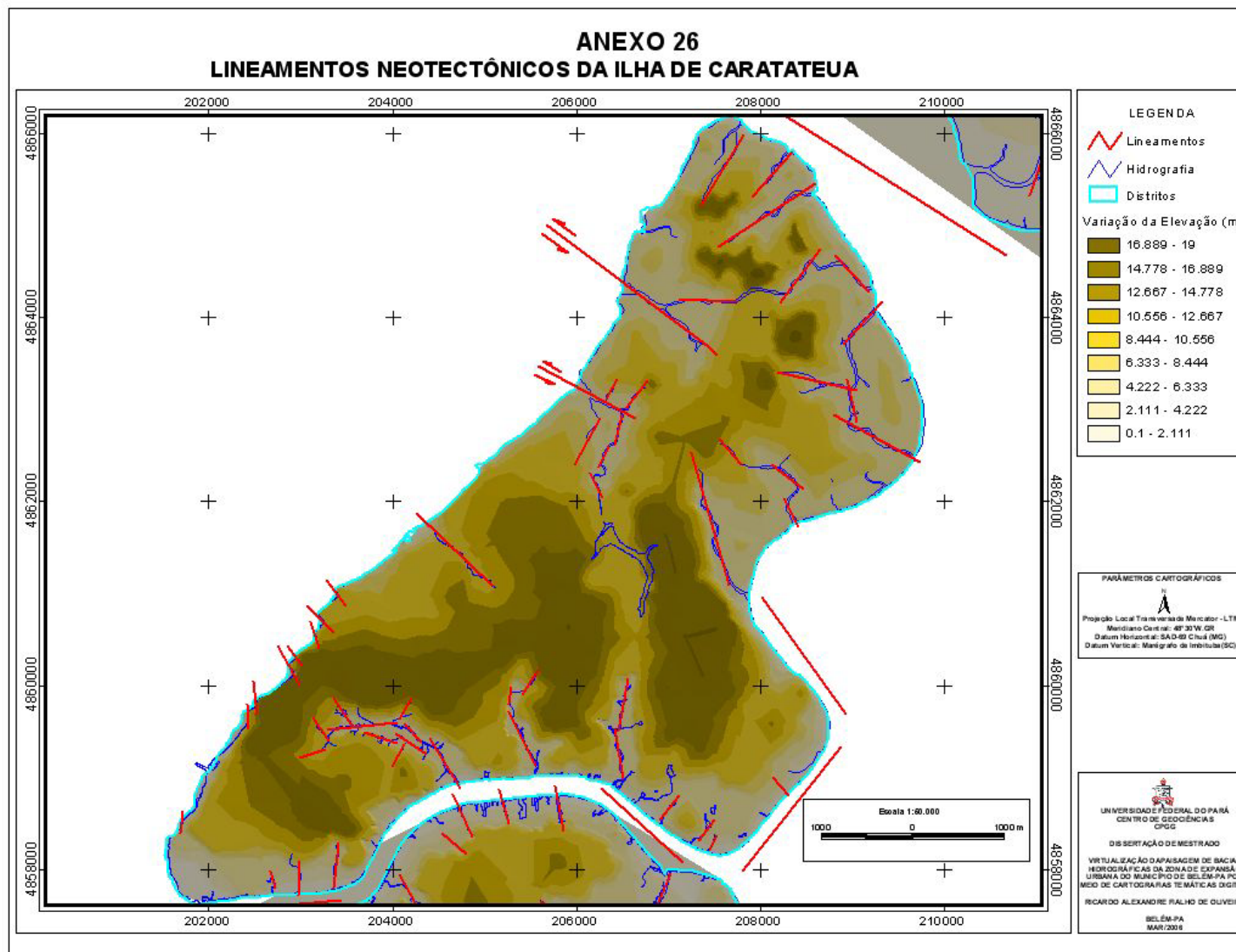


Figura 5. 26 – Lineamentos estruturais da ilha de Caratateua, visualizados sobre o MNT.

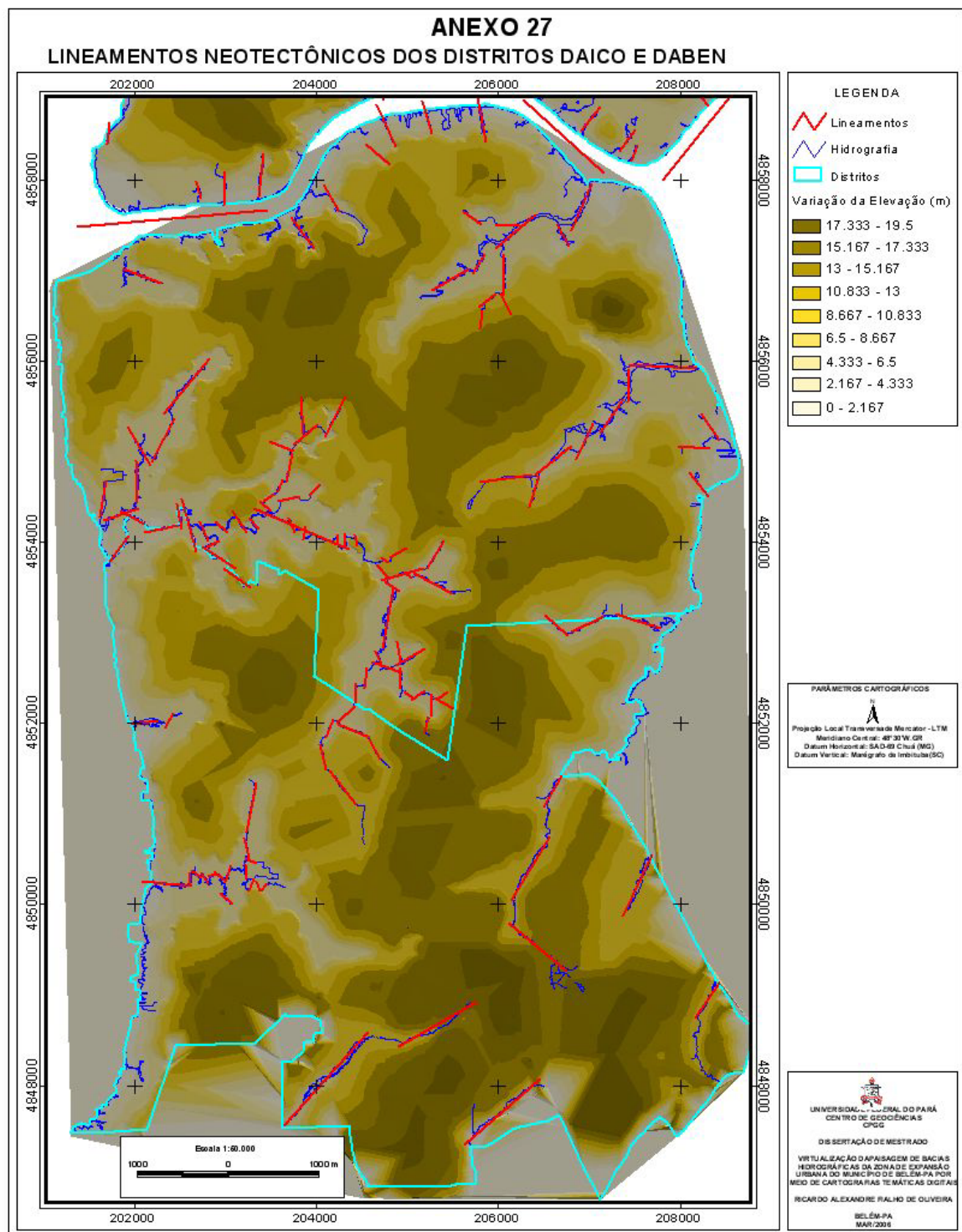


Figura 5. 27 – Lineamentos estruturais dos distritos DAICO e DABEN, visualizados sobre o MNT.

5. 2 – CONSIDERACOES ACERCA DA DINAMICA DA PAISAGEM

As áreas de relevo de degradacao, nas bacias hidrográficas, sao representadas por um sistema de platos, com altitudes médias variando de 5 a 10m, baixa declividade, a excecao das áreas de falésias e das regioes mais elevadas. Apresentam controle morfoestrutural forte, com orientacoes preferenciais nas direcoes NW-SE e NE-SW, com os igarapés encaixados em falhas, sendo o relevo frequentemente dissecado por pequenos canais periódicos e/ou intermitentes, destacando-se o forte controle das feicoes também pelas atividades do estuário.

A rede drenagem dos igarapés Tamanduá (DAMOS), Curuperé (DAOUT) e Paracuri (DAICO/DABEN) tem controle morfoestrutural forte, com orientacoes preferenciais nas direcoes NW-SE e NE-SW, encaixados em falhas, com a presenca de pequenos canais (Figuras 5.28, 5.29, 5.30, 5.31, 5.32 e 5.33)

A paisagem terrestre na área de estudo foi classificada no que tange ao grau de intervencao humana em paisagem natural, modificada ou organizada. A paisagem natural, aquela que nao foi submetida a acao do Homem, pelo menos em data recente, nas bacias hidrográficas estudadas se distribuem ao longo dos cursos d'água dos principais igarapés. A paisagem modificada ou cultural, aquela transformada, até uma certa extensao, pelo Homem, consistindo em estado de transicao para a paisagem organizada, tem uma distribuicao espacial por quase toda a área das bacias hidrográficas. E nas áreas estudadas e, em geral na tecnosfera do munic'pio de Belém, as paisagens culturais, tem forçado a diminuicao ou quase total transformacao da paisagens natural e rural, devido a expansao desordenada das aglomeracoes urbanas, principalmente na zona de expansao urbana do munic'pio de Belém .

Os modelos tridimensionais representaram excelentes produtos para inferencias morfoestruturais/morfotectonicas. Nesses modelos foi poss'vel identificar os principais elementos da morfoestrutura, destacando-se os corpos geológicos que correspondem a relevos tabulares alinhados preferencialmente na direcao NE-SW, indicando forte controle da dissecacao. Uma segunda geracao de morfoestruturas de pequenas dimensoes encontra-se orientada segundo NW-SE e sao fruto de degradacoes mais jovens.

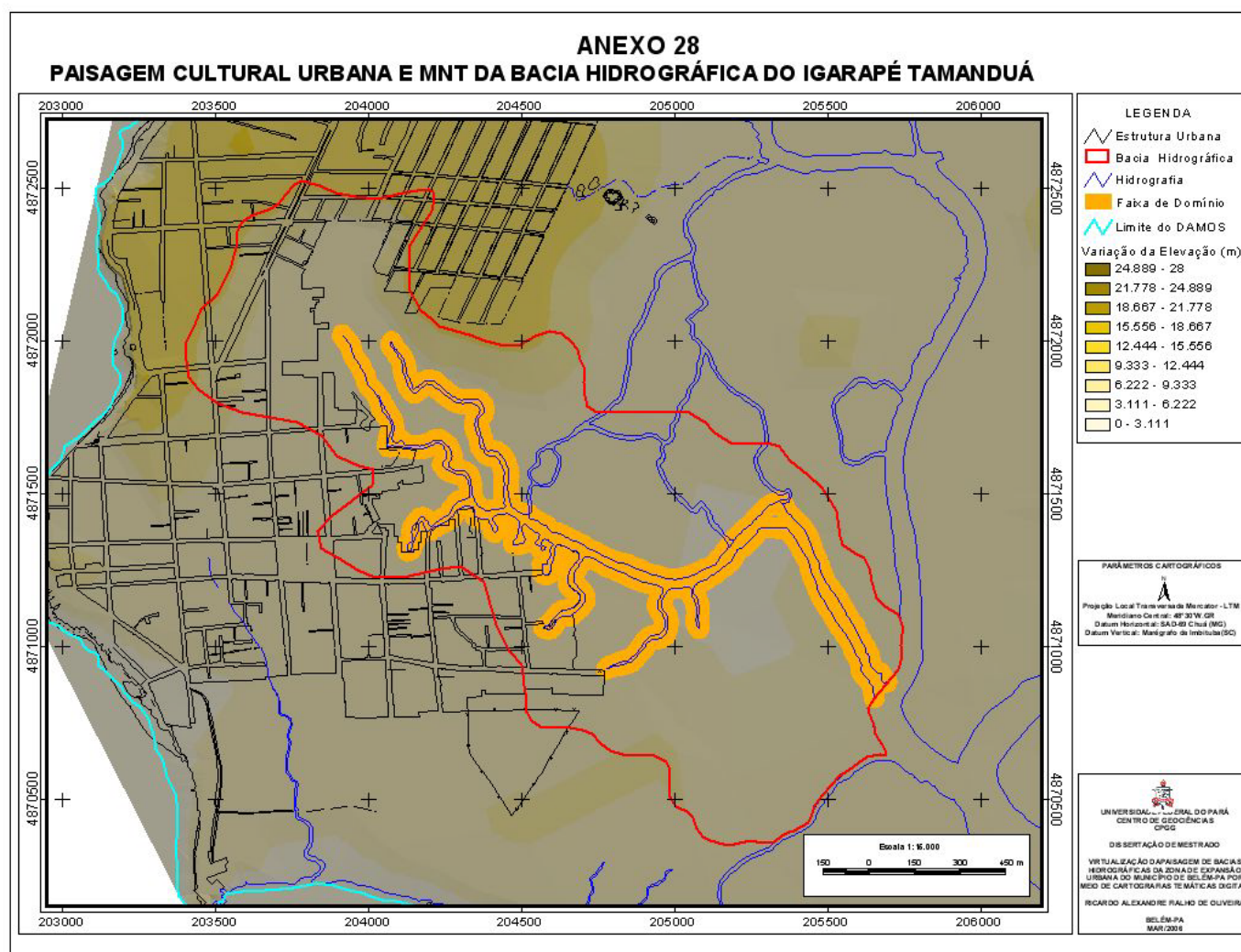


Figura 5. 28 – Aspectos da paisagem cultural urbana na bacia hidrográfica do igarapé Tamanduá na Ilha de Mosqueiro, sobrepondo o MNT.

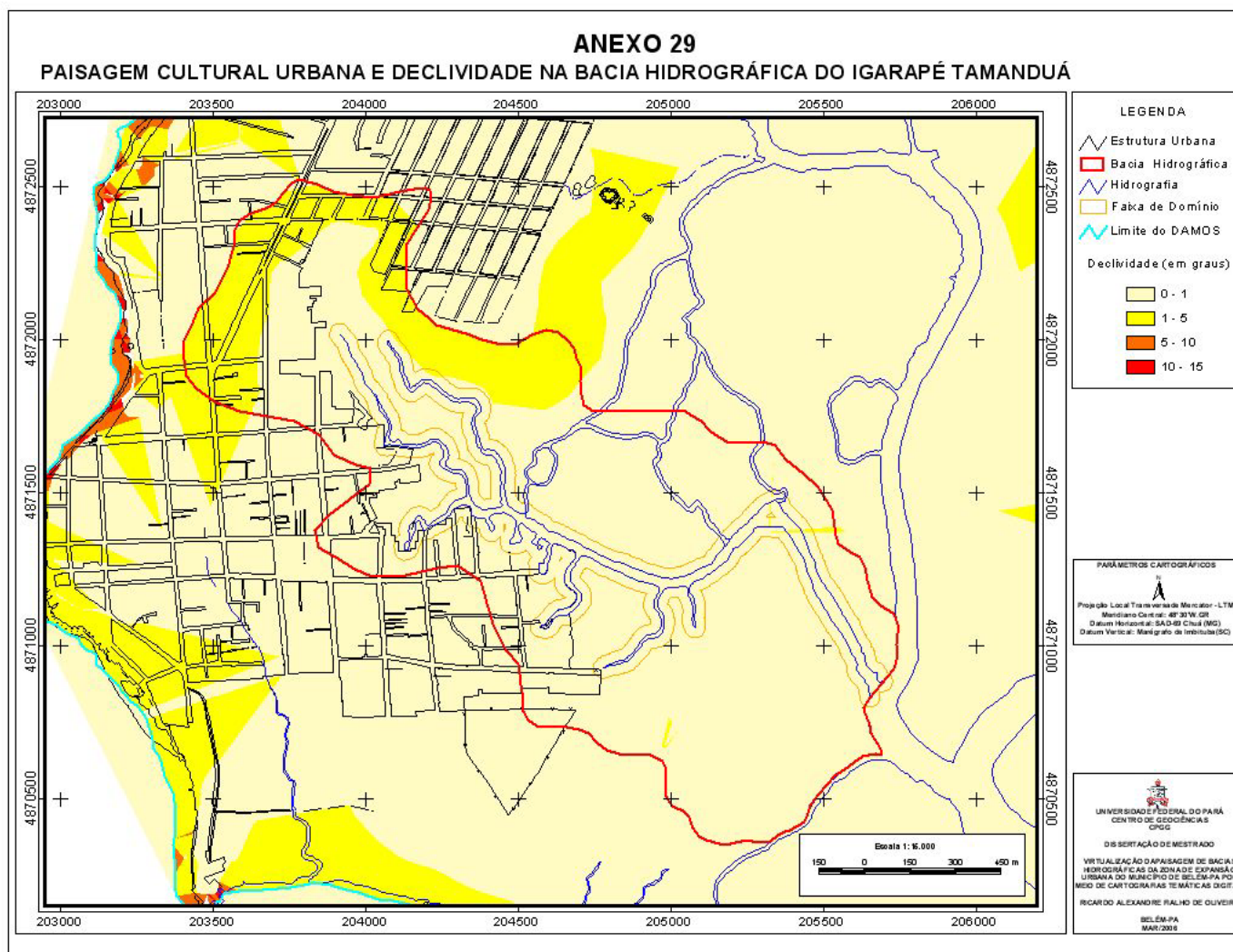


Figura 5. 29 – Aspectos da paisagem cultural urbana na bacia hidrográfica do igarapé Tamanduá na Ilha de Mosqueiro, sobrepondo a declividade do terreno.

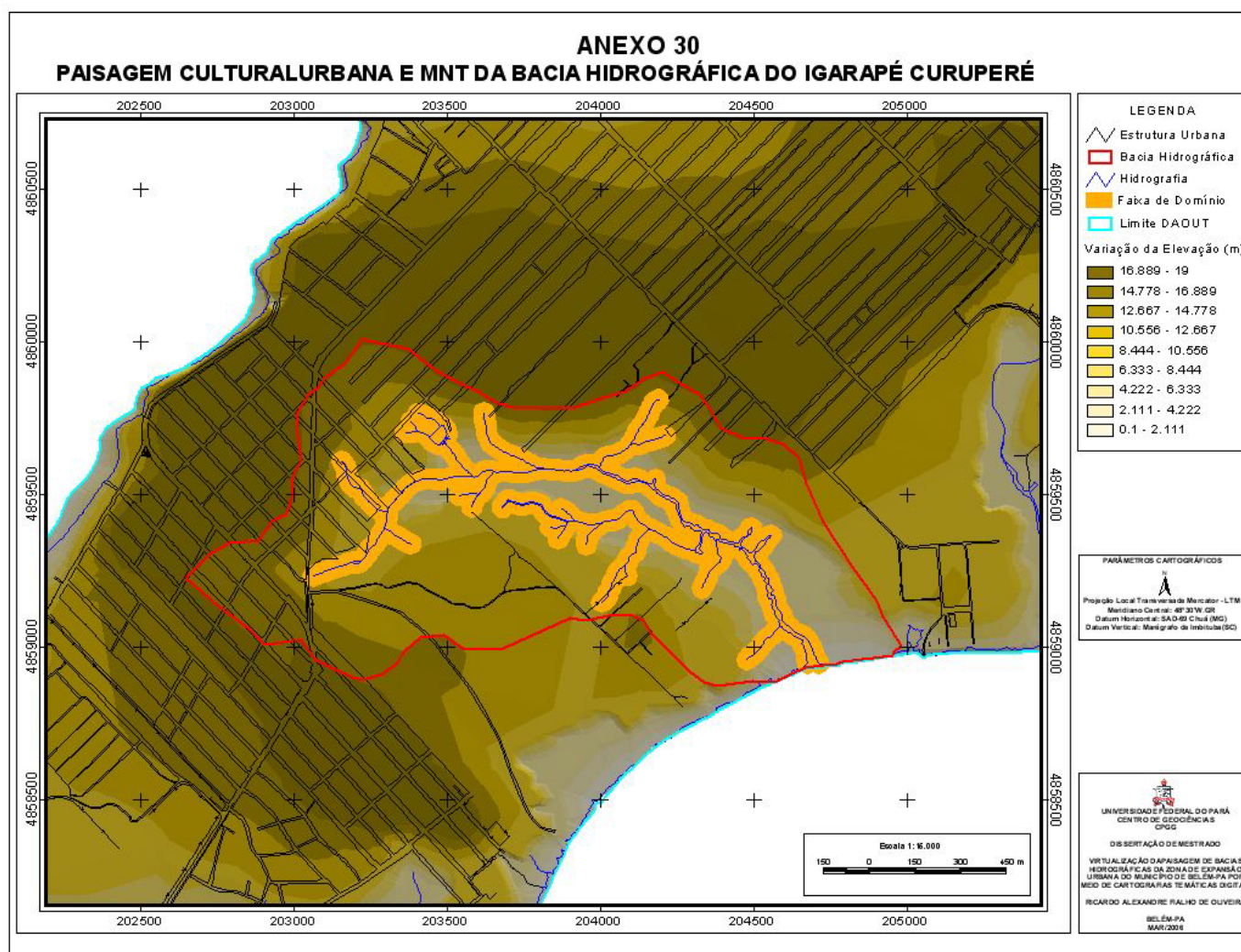


Figura 5. 30 – Aspectos da paisagem cultural urbana na bacia hidrográfica do igarapé Curupeté na ilha de Caratateua, sobrepondo o MNT.

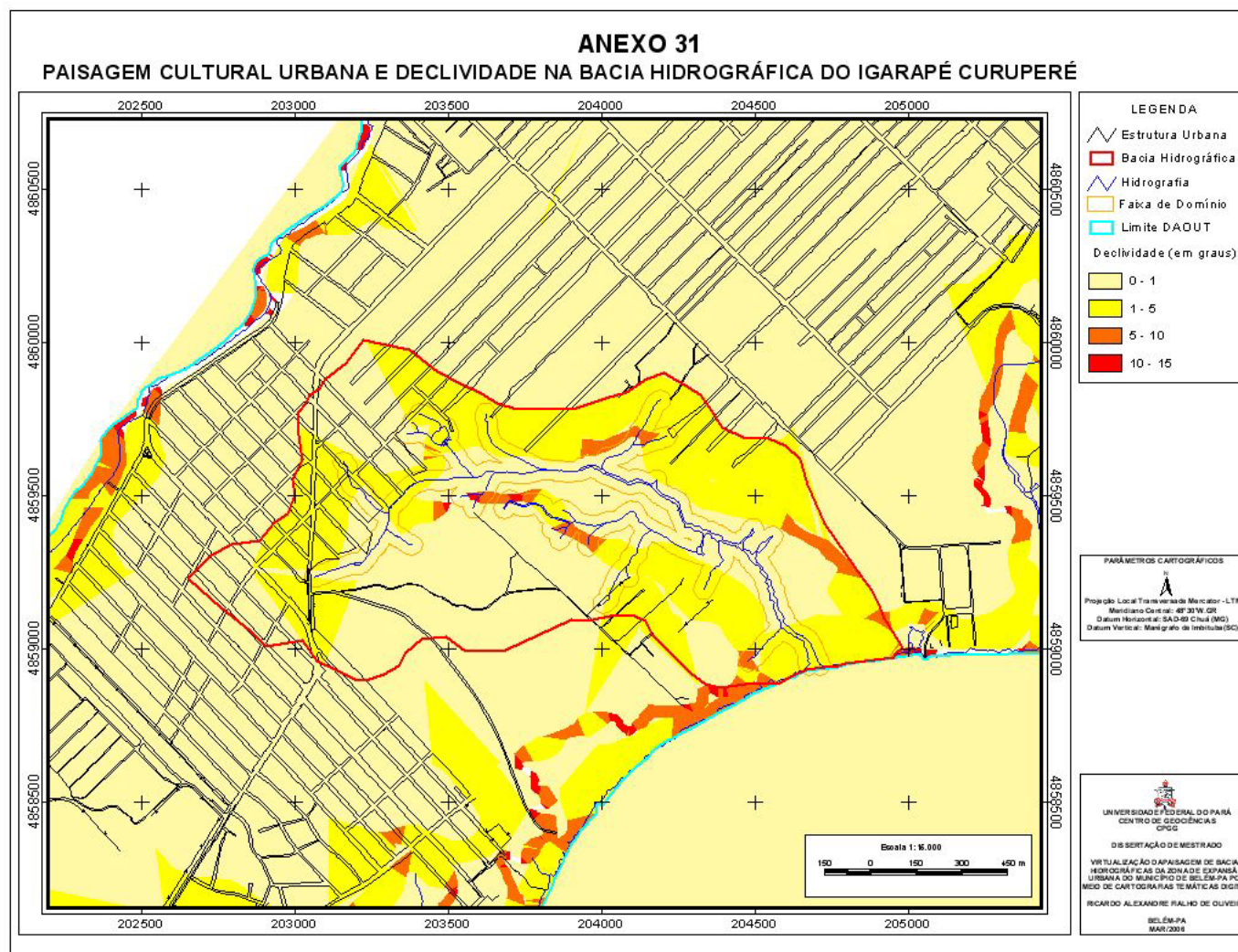


Figura 5. 31 – Aspectos da paisagem cultural urbana na bacia hidrográfica do igarapé Curupeté na ilha de Caratateua, sobrepondo a declividade do terreno.

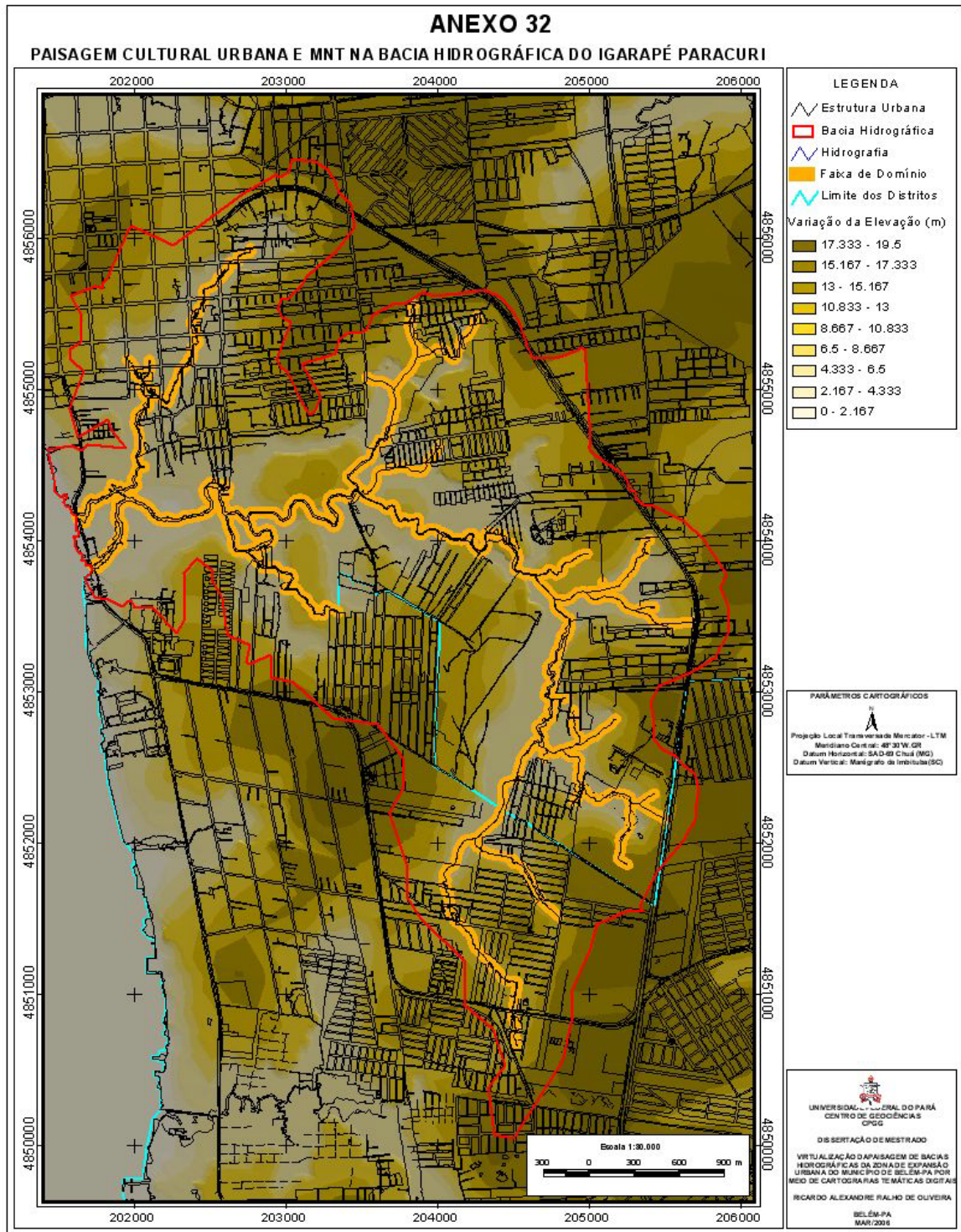


Figura 5. 32 – Aspectos da paisagem cultural urbana na bacia hidrográfica do igarapé Paracuri nos distritos de Icoaraci e Bengui, sobrepondo o MNT.

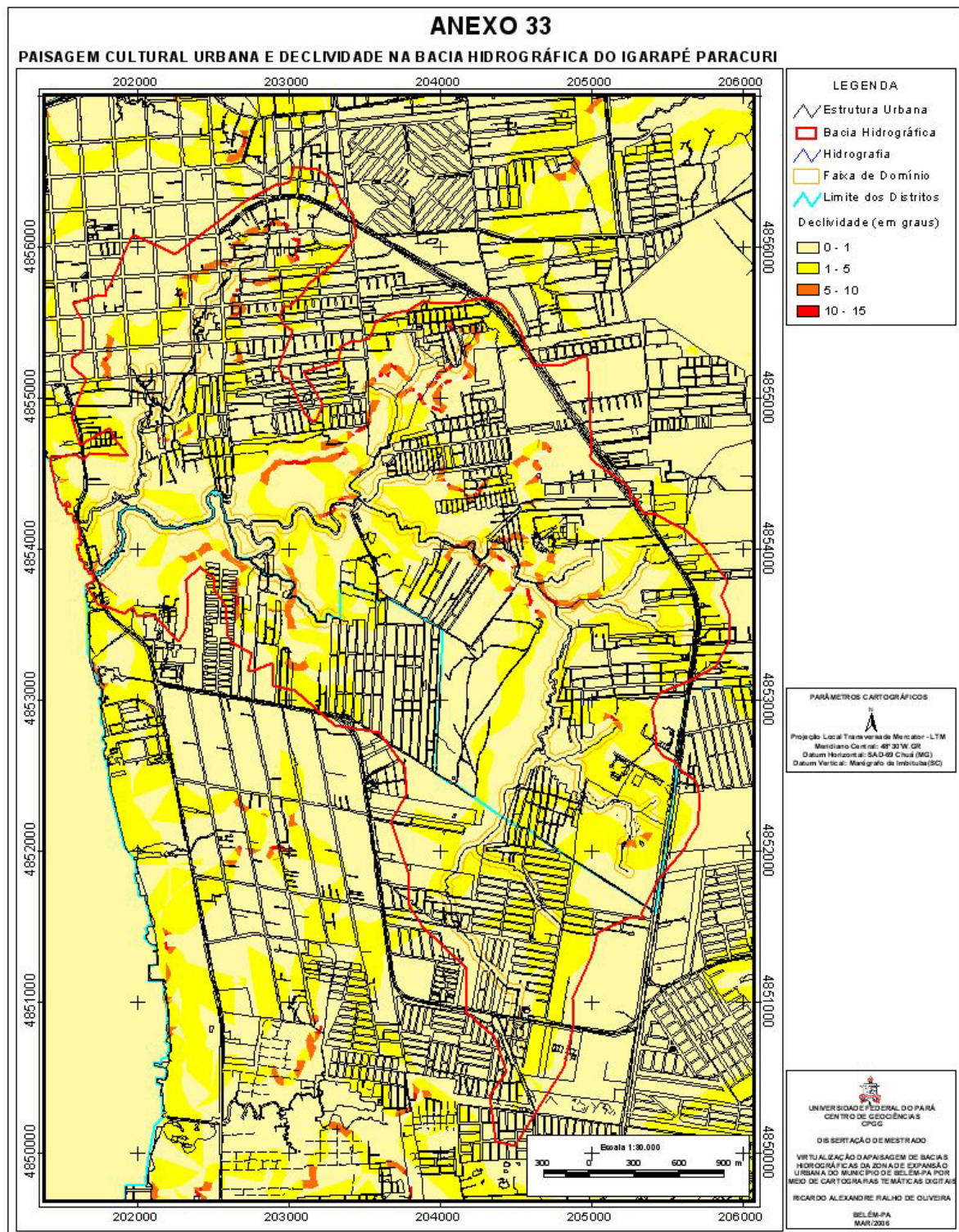


Figura 5. 33 – Aspectos da paisagem cultural urbana na bacia hidrográfica do igarapé Paracuri nos distritos de Icoaraci e Bengui, sobrepondo a declividade do terreno.

Os relevos de agradacao sao sustentados por superfícies topográficas de acumulacao relativamente planas e/ou inclinadas, desenvolvidas em cotas inferiores a 5m, os quais representam riscos naturais. O relevo de degradacao é sustentado pelos sedimentos dos grupos Barreiras (Planície de Maré) e Pós-Barreiras, relacionados a terracos rochosos de provável evolucao morfogenética pleistocenica (Rossetti et al., 1989), acompanhada de intensa dissecacao por movimentacao neotectonica. O relevo de degradacao é representado pelos platos, com altitudes médias de 10m, baixa declividade, a excecao ao longo das áreas de falésias.

Os Modelos Numéricos de Terrenos do município de Belém, realcaram as estruturas expressas no relevo. Os modelos locais destacaram a morfologia das bacias, salientando as falhas resultantes da reativacao de estruturas transcorrentes durante a evolucao neotectonica, representando importantes tracos morfotectonicos na paisagem local. Os modelos gerados condizem com a paisagem em funcao das baixas amplitudes e declividades exibidas. Nos modelos evidencia-se um forte controle morfoestrutural do relevo, com a presenca de atividade morfotectonica sugerida pela grande continuidade lateral de muitos *landforms* tectonicos, com trajetória em forte paralelismo com os lineamentos exibindo muito pouca substituicao. Tais morfoestruturas tem correspondencias na drenagem, impondo capturas e encurvamentos a mesma. Os elementos mais destacados da paisagem, representados nos MNTs de Belém e adjacencias sao lineamentos marcantes que refletem em primeira instancia um forte controle tectonico. O arranjo das feicoes morfoestruturais foi identificado pela geometria de blocos do relevo, controlada preferencialmente por falhas. A direcao dos lineamentos corresponde as estruturas reativadas durante o Mesozóico-Cenozóico. Essas orientacoes também sao aquelas que controlam preferencialmente as direcoes de dissecacao e vários n'veis de superfícies, que podem corresponder a sucessivos aplainamentos.

A visualizacao simultanea de dados fisiográficos e geológicos em MNTs do município de Belém, obtidos por meio de diferentes angulos de observacao e de iluminacao, constituiu uma poderosa ferramenta para a representacao e análise de dados em investigacoes geológicas, gemorfológicas e na caracterizacao da paisagem (Ebert et al., 1999). E a sobreposicao de informacoes superficiais nos MNTs, tais como

drenagens, estradas, limites urbanos, unidades geológicas e lineamentos estruturais, aprimorou substancialmente a representação integrada dos dados e sua interpretação.

6 - CONCLUSOES

Os seguintes resultados e conclusões foram obtidos no desenvolvimento deste trabalho:

1. Os Modelos Numéricos de Terreno (MNT's) das bacias hidrográficas da zona de expansão urbana do município de Belém forneceram uma visão ampla do relevo e suas relações com as estruturas neotectônicas maiores.

3. A modelagem numérica de terreno permitiram a visualização precisa dos elementos da paisagem, marcando as superfícies topográficas de acumulação planas e/ou inclinadas e realçando aspectos morfoestruturais, aspectos fundamentais para a interpretação dos processos de evolução da paisagem;

4. A visualização simultânea de diferentes informações geológicas e fisiográficas sobre os MNT's aprimoraram as capacidades de representação e de análise dos dados.

5. A identificação e caracterização geométrica dos *landforms* tectônicos foram privilegiadas por essa técnica digital, caracterizando os modelos como ferramentas vitais para a análise visual das feições morfoestruturais e morfotectônicas em áreas urbanas.

6. Mapas temáticos, como rede de drenagem e dados geológico/estruturais sobrepostos aos MNT's, tornam a ferramenta ainda mais poderosa, indicando embaciamentos e áreas fontes quaternárias, capturas e lineamentos mais ou menos ativos e mesmo inativos.

7. A visualização simultânea de dados topográficos como entidades tridimensionais facilita a sua análise integrada nas investigações básicas geológicas e geomorfológicas, bem como em pesquisas aplicadas nos estudos de planejamento ambiental e urbano, vitais para a gestão de áreas urbanas nas cidades.

8. Além da melhor interpretação dos fenômenos geológicos e geomorfológicos e do reconhecimento de feições morfoestruturais, os MNT's constituem importante instrumento adicional às ferramentas de SIG e de fotointerpretação no que se refere às atividades de planejamento ambiental e do uso do solo. Com a visualização semi-

realística e simultânea de relevo e elementos antrópicos, pode-se determinar melhor áreas mais adequadas para diferentes atividades produtivas ou de preservação como zonas de proteção ambiental (faixa de domínio dos igarapés, mananciais, várzeas, encostas, matas) e de habitação, indústrias, aterro sanitário, aeroporto, agricultura e mineração.

9. A geração das cartas temáticas digitais possibilitou a extração de informações associadas aos aspectos fisiográficos e aos processos (naturais e artificiais) responsáveis pelo modelamento da superfície nas bacias hidrográficas. Cabe destacar que o grau de confiabilidade dos resultados obtidos nas cartografias digitais encontram-se em íntima relação com as características (consistência, precisão e fidelidade) dos dados originais, assim como os métodos de interpolação e filtragem utilizados.

10. Os mapas temáticos, desenvolvidos neste trabalho, se constituem em informações valiosas para trabalhos futuros que envolvam aspectos ambientais, geotécnicos e de planejamento do uso e ocupação do meio físico nas bacias hidrográficas. E sugere-se o desenvolvimento de novos MNT's em escalas maiores.

11. A representação tridimensional do espaço, utilizando-se técnicas de geoprocessamento, adquire importância fundamental, quando associado a aplicações voltadas para o uso e ocupação do meio físico nos espaços urbanos das grandes cidades

12. A utilização integrada de MNT's com outros tipos de dados, ampliaram o conhecimento sobre a realidade da paisagem, permitindo visualizar os fenômenos decorrentes de intervenções naturais e antrópicas sobre o espaço urbano, e submeter tais modelos à avaliação.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALMEIDA, J. R. C. de; COSTA, J. B. S.; BORGES, M. S. da. 2001. Paleogeografia do município de Bragança, Nordeste do Estado do Pará, durante o Cenozóico. In: SIMP. GEOL. DA AMAZ., 7, 2001, Belém. *Resumos Expandidos*, Sessão Temática XI. Belém, SBG.
- ALVES, D. S. 1990. Sistema de informação geográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1, São Paulo-SP, 1990. *Anais*. São Paulo: USP, Escola Politécnica. p.66-78.
- ANTENUCCI, J. C.; BROWN, K.; CROSWELL, P. L.; KEVANY, M. J. 1991. *Geographic Information Systems: a guide to technology*. New York. Chapman & Hall. 301p.
- BARBOSA, O. V.; RENNÓ, C. V.; FRANCO, E. M. S. 1974. Geomorfologia. In: BRASIL. Projeto RADAM. Folha SA-22-Belém: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, DNPM. p. 1-36 (Levantamento de Recursos Naturais, v. 5).
- BELÉM. 1993. O Plano Diretor Urbano do Município de Belém, Lei Nº 7.603 de 13 de Janeiro de 1993. Diário Oficial do Município de Belém, Belém-PA, Ano XIX – Nº 7.641, págs. 1-49.
- BEMERGUY, R. L.; COSTA, J. B. S.; BORGES, M. S. da; SILVA JR.; O. G. 2001 a. O relevo da Amazonia: uma abordagem morfométrica e morfológica ao longo do Rio Amazonas. In: SIMP. GEOL. DA AMAZ., 7, 2001, Belém. *Resumos Expandidos*, Sessão Temática XI. Belém, SBG.
- BEMERGUY, R. L.; COSTA, J. B. S.; HASUI, Y. BORGES, M. S. da; SOARES JR.; A. V. 2001b. Tectonic Geomorphology of the Amazon, Brazil. In: SIMP. GEOL. DA AMAZ., 7, 2001, Belém. *Resumos Expandidos*, Sessão Temática XI. Belém, SBG.
- BORGES, M. S. e ANGÉLICA, R. S. 1986. Levantamento geológico da Ilha do Mosqueiro – Estado do Pará. Projeto Fosfatos na Amazonia. Biblioteca do Centro de Geociências da UFPa, 34p. Belém.
- BORGES, M. S.; CAVALCANTE, L. M.; EBERT, H. D.; BEMERGUY, R. L.; COSTA, J. B. S. 1997. Aspectos geomorfológicos e modelagem digital de terreno da área entre as praias do Farol e Paraíso – ilha do Mosqueiro, nordeste do Pará. *Geociências*, São Paulo, 16 (2): 627-643.

- BORGES, M. S.; COSTA, M. L.; KERN, D. C.; BEHLING, H. 1999. Estruturas neotectônicas e a evolução da paisagem da região da baía de Caxiuana, Estado do Pará. In: SIMP. GEOL. DA AMAZ., 6, 1999. Manaus. *Anais*. Manaus, SBG. p. 292-294.
- BORGES, M. S.; LIMA, J. I. S.; BEMERGUY, R. L. 1994. Aspectos morfotectônicos da região de Curucá NE do Estado do Pará. In: SIMP. GEOL. DA AMAZ., 4, 1994. Belém. *Anais*. Belém, SBG. p. 43-44.
- BOSQUES, J.; ESCOBAR, F. J.; GARCÍA, E.; SALADO, M. J.; 1994. *Sistemas de Informacion Geografica: Practicas com PC ARC/INFO e IDRISI*. Madri. Ed. RA-MA. 478 p.
- BRASINGTON, J. & RICHARDS, K. 1997. Interactions between model predictions, parameters and DTM scales for topmodel. *Computer & Geosciences*, 24, (4): 299-314, 1997.
- BURROUGH, P.A. 1988. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford: Clarendon Press, 1988. 194p.
- CAMARA, G. & MEDEIROS, J.S. 1998. Mapa e suas representações computacionais. In: ASSAD, E. D. & SANO, E. E. *Sistema de informacoes geograficas: aplicacoes na agricultura*. Brasília: Embrapa, SPI; Embrapa, CPAC. cap.3. p.31-43.
- CAMPBELL, J. B. 1987. *Introduction to remote sensing*. New York: The Guilford, 1987. 551p.
- CARVALHO, S. S. de. 1997. Cartografia digital como instrumento de apreensão do espaço urbano. In: GIS BRASIL 97 – CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO, 3, Curitiba-PR. *Anais*. Curitiba: Ed. Sagres. CD-ROM for Windows/Módulo Técnico/Painéis/Cartografia.
- CERBRO, 1976. *Estudo de viabilidade de aproveitamento da orla fluvial de Icoaraci*. Belém, 44p.
- CHORLEY, R. J. 1972. Spatial analysis in Geomorphology In: CHORLEY, R. J. (Ed.) *Spatial analysis in Geomorphology*. British Geomorphological Research Group: Harper & Row. p. 3-16.

- CODEM - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA AREA METROPOLITANA DE BELEM. 1975. Plano de desenvolvimento da Grande Belem: metodologia, estudos basicos, prognosticos, desenvolvimento e sistema. Belem, v. 1, tomos 1 e 2.
- CODEM - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM. 1998. *Cadastro Tecnico Multifinalitario do Municipio de Belem*: Mosaico Aerofotogramétrico colorido na escala de 1:25.000.
- COSTA, J. B. S.; BERMERGUY, R. L.; HASUY, Y.; BORGES, M. S.; FERREIRA JR., C. R. P.; BEZERRA, P. E. L., COSTA, M. L.; FERNANDES, J. M. G. 1996. Neotectonica da Regiao Amazonica: aspectos tectonicos, geomorfológicos e deposicionais. *Geonomos*, 4 (2): 23-44.
- COSTA, M. L. da; ANGÉLICA, R. S.; AVELAR, J. O. G. de. 1991. Outeiro e Mosqueiro: exemplos de evolucao laterítica imatura. In: SIMP. GEOL. DA AMAZ., 3, 1991, Belém. *Anais*. Belém, SBG. p. 479-494.
- COSTA, T. C. D. da. 2001. *Análise crítica das metodologias visando formulacao de diretrizes para a cartografia geotecnica do Tropico Umido e aplicacao na Regiao Metropolitana de Belem, escala 1:50.000*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociencias. 2v. (Tese Doutorado).
- CRÓSTA, A. P. 1992. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas, SP: IG/UNICAMP. 170p.
- DAVIS, C. A. & FONSECA, J. F. 1994. Conversao de dados CAD/SIG. *Fator GIS*, 6: 22-24.
- DOURADO, A. F.; ROIG, H. L.; PEIXOTO, J. L.N.; PEREIRA, J. A. N.; FERREIRA, A. M. 1996. Aplicacao de Sistemas de Informacao Geográfica (SIG) no estudo geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio das Bengalas, Teresópolis, RJ. In: CONGR. BRAS. GEOL., 39, 1996. Salvador. *Anais*. Bahia, SBG. v. 7, p. 23-25.
- EBERT, H. D. & BORGES, M. S. da; LINDENBECK, C.; ULMER, H. & LAVORANTE, L. P. 1999. Sobreposicao de dados fisiográficos e geológicos em modelos digitais de terreno (MDTs) utilizando GEO3VIEW: procedimentos e aplicacoes morfoestruturais. *Geociencias*, 18 (2): 215-234.
- EBERT, H. D. & BUENO, J. M. R. 1998. Modelo digital de terreno e geológico tridimensional da folha de Rio Claro (1:50.000). *Geociencias*, 17 (2): 469-485.

- FARIAS, E. S.; NASCIMENTO, F. S. do; FERREIRA, M. A. A. 1992. *Relatorio de estagio de campo III, area Belem*. UFPa. Belém Departamento de Geologia. 318p.
- FARINA, A. 1998. *Principles and methods in landscape ecology*. Londres: Chapman & Hall. 235 p.
- FELIPE, L. B.; BORGES, M. S.; COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; MORALES, N.; RUEDA, J. R. J. 2001. Comparacao dos principais eventos neotectonicos da regio amazonica e sudeste do Brasil. In: SIMP. GEOL. DA AMAZ., 7, 2001, Belém. *Resumos Expandidos: Sessao Temática XI*, Belém, SBG.
- FERREIRA, M. C.; 1997a. Modelagem espaco-temporal e regionalizacao das cheias no norte de Sao Paulo: uma metodologia para geoprocessamento. *Geociencias*, 16 (2): 467-489.
- FERREIRA, M. C.; 1997b. Utilizacao de Modelos Digitais de Terreno na estimativa de enchentes em Bacias Hidrográficas: uma avaliacao preliminar em escala regional. *Geociencias*, 16 (1): 243-255.
- FORMAN, R. T. T. & GODRON, M. 1986. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley & Sons, 619p.
- FRUET, G. & ARRUDA, I. 1980. *Projeto de Lei nº 5.788, de 1999*: Substitutivo Adotado pela Comissao de Desenvolvimento Urbano e Interior. Brasília, 22p.
- GEOTÉCNICA; 1980. *Planos Diretores Urbano para Areas Urbanas na Regiao Metropolitana de Belem. Icoaraci, Caratateua, Mosqueiro, Marituba, Areas de Expansao*. Belém, nº 2, 106p.
- GONCALVES, C. S.; BERTAGNA, S. M. A; RIEDEL, P. S. 1996. Análise comparativa entre os métodos digital e convencional na confeccao de cartas clinométricas. In: CONGR. BRAS. GEOL., 39, 1996, Salvador. *Anais*. Bahia, SBG. v. 7, p. 19-22.
- HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D. R.; COUSINS, S. 1993. Landscape Ecology and Spatial Information Systems. In: HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D. R.; COUSINS, S. *Landscape Ecology and Spatial Information Systems*. Bristol, Taylor and Francis, 1993. Cap 1, p. 3-8.
- IBGE – FUNDACAO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2000. *Censo Demografico*.

- IDESP - INSTITUTO DO DESENVOLVIMENTO ECONOMICO-SOCIAL DO PARÁ. Coordenadoria de Pesquisa de Recursos Naturais. 1980. *Projeto de reconhecimento dos recursos naturais da regio metropolitana de Belem: Reconhecimento hidrogeologico*. Belém, 11p.
- IGREJA, H. L. S.; BORGES, M. S.; ALVES, R. J.; COSTA JÚNIOR, P. S.; COSTA, J. B. S. 1990. Estudos neotectonicos nas ilhas de Outeiro e Mosqueiro – Nordeste do Estado do Pará. In: CONG. BRAS. DE GEOL. , 36, Natal. *Anais*. Natal, SBG. p. 2110-2123.
- INPE/DPI. 1998. *Teoria: Modelagem Digital de Terreno*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisao de Processamento de Imagens. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/mnt/mnt.htm>>. Acesso em: 15 mar. 2004.
- JENSEN, J.R. 1996. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall. 316p.
- JONE, K. H. 1998. A comparison of algorithms used to compute hill slope as property of the DEM. *Computer & Geosciences*, 24 (4): 315-323.
- MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, W. D. 1991. *Geographical Information Systems*. Vol. 1: Principles. Longman Scientific & Technical. 649 p.
- MATTA, M. A. da S. 2002. *Fundamentos hidrogeologicos para a gestao integrada dos recursos h dricos da Regiao Metropolitana de Belem/Ananindeua – Para, Brasil*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociencias. 292p. (Tese Doutorado).
- MENDES, C. A. B. & CIRILO, J. A. 2001. *Geoprocessamento em recursos h dricos: Princípios, Integracao e Aplicacao*. Porto Alegre: ABRH. 536p. (Colecao Geoprocessamento, 1).
- MERCES, S. do S. S. das. 1997. *Relatorio Ambiental da Regiao Metropolitana de Belem – RMB*. Belém: COHAB.
- MOREIRA, E. 1966. *Belem e sua expressao geografica*. Belém. Imprensa Universitária. 212p.
- NAVEH, Z. & LIEBERMAN, A. S. 1994. *Landscape ecology, theory and application*. 2 ed. New York: Springer Verlag. 360p.

- NOVO, E.M.L.M. 1992. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Edgar Blucher. 308p.
- OLIVEIRA, R. A. F. de. 1999. *Cartografia temática digital utilizando sistemas de informação geográfica (SIG) e processamento digital de imagens (PDI) na região metropolitana de Belém – RMB (PA)*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- OLIVEIRA, R. A. F. de; BORGES, M. S.; FELIPE, L. B. 2003. Ortofotocartas digitais na avaliação ambiental das Falésias da ilha de Caratateua, município de Belém-PA. In: GIS BRASIL 2003, 9, 2003. São Paulo. *Anais*. Ed. Sagres.
- OLIVEIRA, R. A. F. de; SZLAFSZTEIN, C. F.; IMBIRIBA JR., M. 2000. Caracterização das bacias hidrográficas do Distrito Administrativo de Icoaraci (DAICO) – município de Belém (PA) – e dos problemas ambientais associados com o auxílio de Geoprocessamento. In: GIS BRASIL 2000 – Show de Geotecnologias, 6, 2000. Salvador. *Anais*. Ed. Sagres. CD-ROM.
- OLIVER, M. L. & LIMA, R. N. 2003. Sistema de informações geográficas, como ferramenta para elaboração das categorias da unidade de paisagem. In: GIS BRASIL 2003 – Show de Geotecnologias, 9, 2003, São Paulo. *Anais*.
- PARÁ - 1995 - Secretaria de estado de Indústria, Comércio e Mineração, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Plano Diretor de Mineração em Áreas Urbanas Região Metropolitana de Belém e Adjacências*: projeto estudo do meio ambiente em sítios de extração de materiais de construção na região de Belém-Benevides, Estado do Pará. SEICOM/IBGE. 194p. (Relatório Final).
- PARANAGUÁ, P.; MELO, P.; SOTTA, E. D.; VERÍSSIMO, A. 2003. *Belém Sustentável*. Belém: Imazon. 112p.
- PENTEADO, A. R. 1967. *Belém*: estudo de geografia urbana. Belém, UFPa.
- PINHEIRO, R. V. L. 1987. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará-Belém (PA)*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 164p. (Dissertação de Mestrado).

- ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W. & GÓES, A. M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigrafia dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. Belém, Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 1, n. 1, p. 25-74. 1989.
- SAADI, A. 1993. Neotectonica da plataforma brasileira: esboço e interpretações preliminares. *Geonomos*, 1 (1): 1-15.
- SAAEB – SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE BELÉM. 1999. *Sistema de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém – PA: Relatório Preliminar para Análise da Municipalização dos Sistemas de Abastecimento de Água e de Esgoto de Belém - PA*. Prefeitura Municipal de Belém/Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (SAAEB). Belém-PA. 80p.
- SEGEPI – SECRETARIA MUNICIPAL DE COORDENAÇÃO GERAL DO PLANEJAMENTO E GESTÃO. 1999. Anuário Estatístico do Município de Belém. v. 5. Belém. 396p.
- SOARES FILHO, B. S. 1998. *Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica*. São Paulo. Universidade de São Paulo. 299p. (Tese Doutorado).
- SOUZA, M. E. de & SILVA, A. de B. 1996. Utilização de Sistemas de Informação Geográfica na avaliação do potencial de contaminação de recursos hídricos na porção norte do município de Campinas-SP. In: CONGR. BRAS. GEOL., 39, 1996. Salvador. *Anais*. Bahia: SBG, v. 7, p. 53-54.
- TEIXEIRA, A. L. A.; MATIAS, L. F.; NOAL, R. H.; MORETTI, E. 1995. Qual a melhor definição de SIG. *Fator GIS*, 11: 20 - 24.
- TURNER, M.G. & GARDNER, R. H. 1991. *Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity*. New York, Springer Verlag. p. 3-16.
- VIEIRA, L. & SANTOS, P. 1987. *Amazonia: seus solos e recursos naturais*. São Paulo, 416p.
- WEIBEL, L. & HELLER, M. 1991. Digital Terrain Model. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F. & RHIND, W. D. (ed.) *Geographical Information Systems*. Longman Scientific & Technical. 649 p. v. 1 – Principles.

- YOUNG, R. H.; GREEN, D. R.; COUSINS, S. 1993. *Landscape ecology and geographic information systems*. New York: Taylor & Francis. 288p.
- ZONNEVELD, I. S. 1989. The land unit – a fundamental concept in landscape ecology and its application. *Landscape Ecology*, 5 (2): 67-86.