



**Universidade Federal do Pará**  
**Centro de Geociências**  
**Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**Influência da Neotectônica sobre os arranjos  
geométricos dos Aqüíferos na Região Metropolitana de Belém –  
Estado do Pará**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

**Francisco Ribeiro da Costa**

Data de Aprovação: 31 de agosto de 2004

Comitê de Tese:

---

Pro. Dr<sup>a</sup>. Francisco de Assis Matos de Abreu (Orientador)

---

Prof. Dr. Maurício da Silva Borges

---

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcanti

Belém

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)  
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

---

Costa, Francisco Ribeiro da

**Influência da neotectônica sobre os arranjos geométricos dos aquíferos na Região Metropolitana de Belém – Estado do Pará.** / Francisco Ribeiro da Costa; orientador, Francisco de Assis Matos de Abreu. - 2005

171f. il

Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2004.

1.Águas Subterrâneas 2.Hidrogeologia 3.Neotectônica 4.Geoprocessamento 5.Belém-PA I Título.

**CDD 20. ed.: 553.79098115**

---

Dedico este trabalho a toda minha família, que me deu apoio quando mais precisei, e a todas as outras pessoas que me apoiaram nesses anos de luta, em especial a minha amada Elisangela que logo iniciaremos uma caminhada para a vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo dom da vida;

Ao CNPq pela concessão da bolsa de Mestrado;

Ao centro de Geociências em especial ao CPGG pela infra-estrutura concedida;

Ao meu orientador Francisco Matos pelo tempo dedicado à orientação e pela compreensão em vários momentos;

Aos meus familiares pela ajuda e compreensão nos momentos de dificuldade;

Aos amigos pelos momentos de descontração e pela convivência sempre agradável;

As empresas que forneceram informações que muito auxiliaram na construção desta dissertação;

Ao meu amigo Ronaldo Mendes pela grande colaboração e amizade

Ao meu amigo Tony Carlos pelas discussões e contribuições na dissertação;

Ao LAIT (Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido) e ao projeto PIATAM mar pela contribuição a esta dissertação.

A todas as pessoas que contribuíram de forma positiva para que esta dissertação tivesse êxito.

É impossível proceder ao infinito na série dos seres que se geram sucessivamente. Deve-se admitir, por isso, que existe um ser necessário que tenha em si toda a razão de sua existência, e do qual procedam todos os outros seres. A este chamamos Deus.

(S. Tomás de Aquino)

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>ii</b>
<b>EPIGRAFE</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE SIGLAS</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMO</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>3</b>
<b>1 APRESENTAÇÃO</b>	<b>5</b>
<b>2 INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	9
2.2 OBJETIVOS	9
<b>2.2.1 Objetivo principal</b>	<b>9</b>
<b>2.2.2 Objetivos Secundários</b>	<b>9</b>
2.3 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS EMPREGADOS	12
<b>3 UMA REVISÃO NECESSÁRIA</b>	<b>16</b>
3.1 NEOTECTÔNICA	16
<b>3.1.1 Características Gerais das Estruturas Neotectônicas</b>	<b>19</b>
3.1.1.1 Falhas neotectônicas	19
<b>3.1.2A Tectônica Transcorrente.</b>	<b>24</b>
3.1.2.1 Estruturas do Sistema Transcorrente	24
3.1.2.2 Caracterização de Falhas Transcorrentes	30
3.2 REDE DE DRENAGEM	35
<b>3.2.1 Conceitos de drenagem</b>	<b>35</b>
<b>3.2.2 Análise da rede de drenagem</b>	<b>36</b>
3.3 GEOPROCESSAMENTO – SIG	44
<b>3.3.1 Modelagem de Dados Geográficos</b>	<b>46</b>
<b>4 A ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>48</b>
4.1 CLIMA	48
<b>4.1.1 Classificação Climática</b>	<b>54</b>
<b>4.1.2 Precipitação</b>	<b>55</b>
4.2 GEOLOGIA	58
<b>4.2.1 Formação Pirabas</b>	<b>60</b>

<b>4.2.2</b>	<b>Grupo Barreiras</b>	<b>63</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Sedimentos Pós - Barreiras</b>	<b>64</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Sedimentos Holocênicos</b>	<b>65</b>
<b>4.3</b>	<b>ANÁLISE DA DRENAGEM</b>	<b>67</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Análise da Drenagem da RMB</b>	<b>86</b>
<b>4.4</b>	<b>ANÁLISE DE LINEAMENTOS</b>	<b>88</b>
<b>4.5</b>	<b>GEOMORFOLOGIA</b>	<b>98</b>
<b>4.6</b>	<b>ANÁLISE INTEGRADA</b>	<b>109</b>
<b>4.7</b>	<b>ASPECTOS CINEMÁTICOS</b>	<b>113</b>
<b>4.8</b>	<b>GEOMETRIA DOS AQUÍFEROS</b>	<b>115</b>
<b>5</b>	<b>GEOPROCESSAMENTO – SIG</b>	<b>142</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>145</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>148</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 -Mapa de localização da Área de Estudo Fonte: SETRANS 2000. \_\_ 11
- Figura 2 - (a) Mapa de fraturas associadas ao terremoto em Dasht e Bayaz (Irã) de 1968, ressaltando o caráter descontínuo da superfície defalha. (b) Detalhe demonstrando a invariabilidade do padrão das rupturas, com encurvamento (FB) ocorrendo ao longo de falhas em escalas contrastante. Fonte:Stewart & Hancock (1994). \_\_\_\_\_ 21
- Figura 3 - Padrão de fraturas ao longo de um segmento de uma falhadirecional. Separações dilatacionais (D) caracterizam-se por brechas de implosão, falhas normais e direcionais subsidiárias. Separações antidilatacionais (A) caracterizam-se por brechas de explosão, cavalgamentos, dobras e falhas direcionais subordinadas. Ao longo do plano de falha principal, tem-se a formação de brechas de atrito. Fonte: Stewart & Hancock (1994). \_\_\_\_\_ 21
- Figura 4 - Sistemas característicos de juntas neotectônicas. (a) Conjunto simples de juntas sistematicas verticais de extensão ligado por juntas não sistemáticas. (b) Espectro de juntas verticais de extensão e juntas híbridas íngremes ligados por juntas não sistemáticas. (C) Espectro de juntas verticais de extensão e juntas híbridas ligado por juntas não sistemáticas. SH – Maior tensão horizontal, Sh – Menor tensão horizontal. Fonte: Stewart & Hancock (1994). \_\_\_\_\_ 23
- Figura 5 - Fraturas em regime coaxial. Em (a), C e C' são as fraturas de cisalhamento conjugado, fazendo ângulo  $\theta$  com  $\sigma_1$ . T e fratura de partição e T' é outra que pode aparecer; em (b), fraturas de cisalhamento de um elipsóide deformado; em (c), mesmo caso, com arrastos. Os pequenos círculos em preto indicam o estado de deformação interna. Fonte: Hasui & Costa (1991) \_\_\_\_\_ 25
- Figura 6 - Descontinuidades formadas na deformação não coaxial. Os ângulos são  $\alpha = 75^\circ$   $\beta = 45^\circ$   $\gamma = 15^\circ$  (considerando o ângulo de atrito interno de  $30^\circ$ ). R, P, X e Y (D) têm movimentos sinistrais em binários sinistrais. As flechas indicam as direções de estiramento e encurtamento. Hasui & Costa (1991) \_\_\_\_\_ 26
- Figura 7 - Visto em mapa, os tipos de estruturas ao longo de falhas transcorrentes. Fonte: Woodcock & Schubert (1994) \_\_\_\_\_ 26
- Figura 8 - Vistas em mapa de estruturas dentro de zonas transcorrentes planares. Fonte: Woodcock & Schubert (1994) \_\_\_\_\_ 28
- Figura 9 -Vistas em mapa de blocos rotacionados por um binário dextal e as estruturas dominantes. Woodcock & Schubert (1994) \_\_\_\_\_ 29
- Figura 10 - Bloco Diagrama ilustrando as feições geomorfológicas associadas às falhas transcorrentes. Fonte: Sylvester (1988) \_\_\_\_\_ 32



Figura 11 - Arranjo espacial visto em mapa das estruturas associadas a uma falha transcorrente idealizada. Fonte: Ferreira Jr. (1996)	33
Figura 12 - Blocos diagramas e esquemas mostrando alguns critérios utilizados na determinação da direção e do sentido de deslocamento de falhas. A) plano de falha normal mostrada as estrias e os ressaltos utilizados para determinar a direção e o sentido do deslocamento, respectivamente (Stewart & Hancock, 1994); B) segmentos de drenagem deslocados por falhas transcorrentes dextrais (Summerfield, 1993); C) Bloco diagrama mostrando o bloqueio da drenagem por falhas normais (OUCHI, 1985); D) bloco diagrama mostrando o deslocamento do talveg induzido pela falha normal (Leeder & Alexander, 1987). Fonte: Ferreira Jr. (1996).	34
Figura 13 - A rede de drenagem a definida pelos padrões básicos do tipo: A, dendritico, paralelo B, treliça C, retangular D, radial E, anelar F, multibassinal G e contorcido H. Fonte: (Howard 1967).	38
Figura 14 - ,a) Variações dos padrões básicos: a) treliça de falha A, treliça de junta B, angulado C, centripeto D, complexo E, compostos F, pelimpético G e H. (Howard, 1967).	39
Figura 15 - Desenho esquemático do comportamento do canal do tipo braided a situações de: A) soerguimento – a montante ocorre degradação e a jusante agradação; B) subsidência – a montante ocorre degradação e a jusante agradação (Ouchi, 1985). A seta indica o local da deformação	42
Figura 16 - Desenho esquemático do comportamentodo canal do tipo meandrante (com carga em suspensão e carga mista) a situações de: soerguimento – ocorre aumento da sinusiosidade a jusante da região soerguida (A e B); subsidencia – ocorre aumento da sinusiosidade a montante da região em subsidencia (A e B) (Ouchi 1985).	43
Figura 17 -Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. Fonte: Câmara et al (1998)	46
Figura 18 - Modelagem segundo o paradigma dos quatro universos Fonte: Câmara et al, (1998)	46
Figura 19 - Balanço Hídrico para a Região de Belém (1961-1997) Fonte: Moraes (1999)	53
Figura 20 - Representação gráfica das linhas P, DEF, e EXC para a região de Belém (1961-1997) Fonte: Moraes (1999)	53
Figura 21 - A Região de Belém no Contexto da Classificação Climática Regional: PEHRMB -2003	55
Figura 22 -Coluna Estratigráfica da área estudada modificada de Costa (2001)	59
Figura 23 - Abrangência do Mar de Pirabas na região nordeste do estado do Pará, e as prováveis estruturas que controlam a deposição dessa unidade litoestratigráfica (Costa et al., 1996)	62

<b>Figura 24 - Mapa geológico da RMB modificado de Costa (2001)</b>	<b>66</b>
<b>Figura 25 - Bacias de drenagem Regional</b>	<b>70</b>
<b>Figura 26 -Bacias de drenagem da RMB-Pará</b>	<b>71</b>
<b>Figura 27 - MDT – Modelo Digital de Terreno integrado da RMB-Pará.</b>	<b>72</b>
<b>Figura 28 - Mapa regional de lineamentos.</b>	<b>73</b>
<b>Figura 29 - Mapa de lineamentos de drenagem da Região Metropolitana de Belém-Pará.</b>	<b>74</b>
<b>Figura 30 - Bacia litorânea, notar as principais drenagens com direção NE-SW e NW-SE.</b>	<b>75</b>
<b>Figura 31 - Configuração retilínea de canais de drenagem, da porção norte da bacia litorânea, mostrando angularidade média a alta em relação aos tributários de menor ordem formando mosaicos retangulares com direções preferenciais em a) N-S e b) E-W, e apresenta feições em cotovelos em c) e feições em “S” em d) e “Z” em e).</b>	<b>76</b>
<b>Figura 32 - Trechos retilíneos e canais abertos, nos Rios principais da área (Maguarí, Mocajatuba...) e “furos” (Maguarí, dos Bragas, do Cotovelo) e apresenta também feições em cotovelos em a) e feições em “S” em b) e “Z” em c).</b>	<b>77</b>
<b>Figura 33 - Mapa da Bacia do Rio Marapanim na área de estudo. Observar a forma destacada da orientação da drenagem NE-SW das principais drenagens, e mudanças abruptas de trechos retilíneos para meandranes em a), e curvas anômalas em b).</b>	<b>78</b>
<b>Figura 34 - Mapa da Bacia do Rio Guamá, apresenta anomalias do tipo: a) lagos isolados, b) formas em cotovelos, com indicação de movimentação dextral, formados pelo, Rio Aura, Ig. Uriboca, Rio Caraparú e, c) curva anômala, a altura da cidade de Bujáru, observar também a forma destacada de orientação N-S dos principais tributários, bem como a grande quantidade de drenagens de direção E-W.</b>	<b>79</b>
<b>Figura 35 - Detalhe de formas em cotovelos visíveis nos tributários da margem direita do Rio Guamá, mostrando nesse caso o Rio Caraparú onde e possível observar em A e B forte controle na drenagem marcada pela presença dessas anomalias.</b>	<b>80</b>
<b>Figura 36 - Sistemas de drenagens compostas por parte das Bacias dos rios Acará e Mojú, marcadas pelas orientações das drenagens principais NW-SE, Rio Mojú e, NE-SW Rio Acará. Notar a presença de anomalias de drenagens ao longo dos referidos Rios, onde e possível observar, em a) anomalias em “S” e, em b) anomalias em “Z”.alem do formato alongado na direção NW de algumas ilhas presentes na foz do Rio Mojú.</b>	<b>83</b>
<b>Figura 37 - Detalhe da micro-bacia do Igarapé Jenipauba localizada na parte norte da bacia Acará Mojú que apresenta forte assimetria de drenagem,</b>	

observar também curvas anômalas em (A) apresentada ao longo do eixo central da micro-bacia. _____	84
Figura 38 - Sistemas de drenagens compostas por parte da Bacia do rio Pará apresentando orientações das drenagens principais NW-SE, e algumas para NE-SW. Notar a presença de anomalias de drenagens ao longo dos principais Rios, onde e possível observar em, a), anomalias em “S”, em b) anomalias em “Z”, e formas em cotovelo em c) além de drenagem retilínea como no caso do Igarapé Acuí, que tem sua nascente na área do Complexo ALBRAS ALUNORTE. _____	85
Figura 39 - Rosácea das medidas de lineamentos das drenagens na RMB. _____	86
Figura 40 - Diagrama de rosetas das feições lineares das Praias da Ponta do Barro, Barro Branco e Prainha-RMB,Pará. _____	87
Figura 41 - Rosácea dos Lineamentos de drenagem das micro-bacias da Bacia Litorânea-RMB/Pará. _____	90
Figura 42 - Rosácea dos Lineamentos de drenagem das micro-bacias da Bacia do Rio Marapanim. _____	90
Figura 43 - Rosácea dos Lineamentos de drenagem das micro-bacias da Bacia do Rio Guam.á _____	91
Figura 44 - Rosácea dos Lineamentos de drenagem das micro-bacias das Bacias dos Rios Acará e Mojú. _____	91
Figura 45 - Rosácea dos Lineamentos de drenagem das micro-bacias da Bacia do Rio Pará. _____	91
Figura 46 -Rosácea composta das medidas de lineamentos das cinco bacias de drenagens estudadas. _____	92
Figura 47 - Falhas transcorrentes dextrais, reconhecidas através da análise da rede de drenagem e de elementos morfológicos da paisagem nos Rios Mojú e Acará. _____	94
Figura 48 - Feição importante e o alinhamento das nascentes do Rio Maguariçú e do Igarapé Água Preta, mostrando haver uma interação dessas drenagens por movimentação neotectônica, ver no detalhe indicativo de movimentação-RMB/Pará.. _____	95
Figura 49 - Formato das ilhas Guajarinas notavelmente retangulares ou losangulares, tendo a maior aresta orientação NE-SW. _____	96
Figura 50 - Detalhe na parte norte das ilhas guajarinas mostrando a baixa profundidade e a presença de rochas do Grupo Barreiras, fator que tem contribuído para a colisão de embarcações nessa área (localização na figura 49). Fonte: Carta Náutica da Marinha. _____	97
Figura 51 - Mapa morfotectônico Regional mostrando as principais variações do relevo e o posicionamento das seções acima descritas. _____	102

Figura 52 - Seções esquemáticas do relevo da área (ver localização na figura 51).	108
Figura 53 - Delimitação de setores e de poliedros tectônicos em grande parte losangulares em parte da RMB.	110
Figura 54 - Detalhe do setor I mostrando a disposição da rede de drenagem encaixadas em direções preferenciais que delimitam blocos-RMB/Pará	111
Figura 55 - Detalhe do setor II mostrando a disposição da rede de drenagem apresentando um padrão de multiorientação.	112
Figura 56 - Compatibilização de elementos geométricos do meio físico (descontinuidades) ao modelo de Riedell proposto para os dois setores.	113
Figura 57 - Diagrama esquemático do processo de construção do modelo de geometria dos aquíferos da área estudada	118
Figura 58 - Mapa de localização dos poços e das seções em cada um dos blocos definidos na compartimentação utilizada nesse trabalho.	122
Figura 59 - Bloco Una, mostrando o fraco valor de gradiente. A numeração em metros é a profundidade da camada guia utilizada na construção do mapa de gradiente. a camada mergulha 10 metros a cada 1801,9 metros no sentido indicado pelas setas na figura.	123
Figura 60 - Seção de correlação dos poços 27 e 30 localizada no bloco Una, apresenta mergulho suave, com gradiente de 1/180 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.	124
Figura 61 - Seção de correlação dos poços 30 e 25, localizada no bloco Una, apresenta mergulho suave, com gradiente de 1/180 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.	125
Figura 62 - Bloco Val de cans, mostrando o maior gradiente em relação ao setor I, a numeração em metros é a profundidade da camada guia utilizada na construção do mapa de gradiente. A camada mergulha 10 metros a cada 541.25 metros de distância.	126
Figura 63 - Seção de correlação dos poços 20 e 43, pertencente ao bloco Val de Cans. Apresenta mergulho, com gradiente de 1/54,1 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.	127
Figura 64 - Seção de correlação dos poços 43 e 11 pertencente ao bloco Val de Cans. Apresenta mergulho, com gradiente de 1/54,1 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.	128
Figura 65 - Bloco Mata Fome, mostrando o forte gradiente em relação ao setor I, a numeração em metros é a profundidade da camada guia utilizada	

na construção do mapa de gradiente. A camada mergulha 10 metros a cada 272 .5 metros.	129
Figura 66 - Seção de correlação dos poços 41 e 14 pertencente ao bloco Mata Fome. Apresenta mergulho, com gradiente de 1/27,2 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.	130
Figura 67 - Seção de correlação dos poços 14 e 13 pertencente ao bloco Mata Fome. Apresenta mergulho, com gradiente de 1/27,2 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.	131
Figura 68 - Bloco Icoaraci, mostrando o forte gradiente em relação ao setor I, a numeração em metros é a profundidade da camada guia utilizada na construção do mapa de gradiente. A camada mergulha 10 metros a cada 298 .5 metros	132
Figura 69 - Seção de correlação dos poços 5 e 6 pertencente ao bloco Icoaraci. Apresenta mergulho, com gradiente de 1/29,8 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.	133
Figura 70 - Seção de correlação dos poços 6 e 3 pertencente ao bloco Icoaraci. Apresenta mergulho, com gradiente de 1/29,8 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.	134
Figura 71 - Disposição dos poços pertencentes a blocos diferentes, separados pelo rio Maguariaçú. Neste caso não foi possível construir o mapa gradiente absoluto para esta seção, sendo o gradiente aparente entre os poços 10 e 50 de 1/383,9 m/m .	135
Figura 72 - Seção formada pela correlação dos poços 47 e 50 pertencente a blocos diferentes, separados pelo rio Maguariaçú mostrando a clara separação entre os diferentes blocos por falhamento normal. Neste caso não foi possível construir um gradiente para esta seção.	136
Figura 73 - Seção formada pela correlação dos poços 50 e 10 pertencente ao bloco Maguariaçú. O gradiente aparente entre os poços 10 e 50 e de 1/383,9 m/m.	137
Figura 74 - Mapa de prováveis áreas principais de recarga na RMB, localizadas ao longo do traçado de falhas normais.	140
Figura 75 - Mapa de uso e ocupação do solo da Região Metropolitana de Belém, mostrando que a área já está bastante antropizada, e que as principais zonas de recarga, as falhas normais de direção NE-SW estão ocupadas.	141

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Alguns exemplos de indicadores geomorfológicos da atividade neotectônica (Silva 1997).	31
Tabela 2 - Balanço Hídrico segundo Thornthwaite, região de Belém – período (1961 a 1997) Fonte: Moraes (1999).	51
Tabela 3 – Estação Belém - Série Climatológica – 1931 – 1960 Fonte: Moraes (1999)	56
Tabela 4 – Estação Belém - Série Climatológica – 1961 – 1990 Fonte: Moraes (1999)	57
Tabela 5 – Resumo das medidas de lineamentos nas cinco bacias de drenagens da área	89
Tabela 6 – Poços cadastrados	119
Tabela 7 - Resumo das informações dos blocos analisados	120
Tabela 8 - Parâmetros utilizados para a construção de cada seção geológica	121

## LISTA DE SIGLAS

ALT - Alteração  
AM - Amazonas  
ARN - Armazenamento da água disponível  
CIBRASA - Cimento do Brasil S/A  
CODEM - Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém  
COR - tabela que relaciona a latitude e o hemisfério em questão  
COSANPA – Companhia de Saneamento do Pará  
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil  
DEF - Deficiência da água: no solo (mm)  
ETP - Evapotranspiração Potencial  
ETR - Evapotranspiração Real  
EUA – Estados Unidos da América  
EXC - Excedente de água no solo (mm)  
GPS - Global Positioning System  
IA - Índice de aridez  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IH - Índice de umidade  
IM - índice de pluviosidade  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
INQUA - International Union for Quaternary  
NASA – National Aeronautics and Space Administration  
P - Pluviometria  
PA - Pará  
P-ETP - Saldo entre Precipitação e Evapotranspiração  
PR - Paraná  
RGB – Red, Green, Blue

RH - Reserva Hídrica

RMB – Região Metropolitana de Belém

SAAEB - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

SRTM – Shuttle Radar Topograph Mission

TAB - tabela

UFPA – Universidade Federal do Pará



## RESUMO

A Região Metropolitana de Belém, RMB, está localizada em um segmento distensivo, no qual se alojam as seqüências sedimentares das formações Pirabas e Barreiras (COSTA *et al.* 1996), as quais, conjuntamente, encerram um dos maiores reservatórios de água subterrânea do Brasil (Oliveira, 2003).

A dissertação que ora se apresenta visa contribuir ao conhecimento das unidades aquíferas mencionadas, a partir do estabelecimento de parâmetros relacionais envolvendo aspectos geológicos geométricos e cinemáticos, hidrogeológicos e morfotectônicos, avançando assim, na compreensão da evolução espaço-temporal dessas unidades.

A base de dados para se alcançar o objetivo colimado envolveu, trabalhos de campo e a análise de informações contidas em relatórios de construção de poços, em bases planialtimétricas 1:100.000, em imagens de satélite Landsat 7, em bases digitais do SRTM–*Shuttle Radar Topographic Mission*, ortofotos, bases topográficas da RMB e batimétricas das baías do Guajará e do Marajó, sistematizadas e integradas em um Sistema de Informação Geográfica – SIG para isso especificamente desenvolvido. Os softwares utilizados foram principalmente o *SPRING* – Sistema de Informações Georreferenciadas, *ArcView* e *Global Mapper*, este último utilizado no tratamento das imagens de radar SRTM.

A abordagem utilizada no trabalho considerou o tratamento das informações em duas escalas distintas. Uma regional em 1:100.000, envolveu as folhas Belém, Acará e Abaetetuba, perfazendo um total de 10.635,3 km<sup>2</sup>. A outra, em semidetalhe, em 1:25.000, que recobriu a RMB, com área total de 1.929,7 km<sup>2</sup>.

A análise morfotectônica permitiu o estabelecimento de três domínios geomorfológicos na consideração do relevo a saber: Relevo de Planícies Fluviais, Relevo Colinoso e Relevo de Morros e Morrotes. Os elementos geométricos neles descritos mostraram orientações compatíveis com aqueles definidos na análise da rede de drenagem. Esta foi compartimentada segundo cinco bacias principais: Litorânea, Rio Marapanim, Rio Guamá, Rios Acará-Mojú e Rio Pará. Essa análise permitiu a identificação de elementos neotectônicos, com destaque para lineamentos, individualizados por bacia hidrográfica,

com direções gerais NE-SW, NW-SE e NNE-SSW na área regional e NE-SW e NW-SE e com menor frequência, WNW-ESE na RMB.

Na RMB foi possível, através da projeção e prolongamento dos lineamentos, traçar um arranjo bidimensional de polígonos, que tridimensionalmente definem blocos, compreendendo dois setores distintos, diferenciados por vários aspectos. O setor I está localizado na parte sudeste e o setor II na parte nordeste da área.

Do ponto de vista cinemático esses dois setores apresentam variações no que se refere à movimentação. No setor I esta é dextral, tendo o maior estiramento ( $\sigma^3$ ) orientação NW-SE e falhamentos normais NE-SW. No setor II por sua vez a movimentação encaixa-se em um arranjo sinistral com direção de maior estiramento ( $\sigma^3$ ) NW-SE e falhamentos normais também NE-SW.

A correlação de poços situados em um mesmo bloco individual demonstrou, utilizando-se técnicas geométricas simples, que as camadas geológicas que ocorrem em cada um deles, têm atitudes distintas, certamente influenciadas pela atuação de processos neotectônicos. No Setor I o gradiente é suave, da ordem de 1/180 m/m. No Setor II o gradiente é cerca de 5 vezes maior, da ordem de 1/30 m/m diferenciando os dois setores com relação ao basculamento das camadas.

O tratamento integrado das informações levantadas permite estabelecer a direção de estiramento da Bacia Pirabas - Barreiras como sendo NW-SE, e conseqüentemente a das falhas normais que se instalaram a ele associadas NE-SW. Sendo as falhas normais as superfícies potenciais de menor pressão elas se constituem um dos locais de maior favorabilidade para a recarga dos aquíferos por elas interceptadas. Daí decorre uma grande preocupação no que diz respeito à possibilidade de contaminação desses aquíferos por influência antrópica, a partir dessas áreas de recarga, haja vista muitas delas estarem completamente oneradas pela ocupação humana, seja pela urbanização ou por atividade agrícola.

## ABSTRACT

The metropolitan area of Belém (RMB) is located in a distensive segment filled by sedimentary sequences of Pirabas and Barreiras Formations (COSTA *et al.*, 1996) which constitute one of greater ground water reservoir of Brazil (Oliveira, 2003).

The aim of this work is to offer information about these aquifers units thorough using data from geology, geometry and cinematic, hydrogeology and morph tectonic, to comprehend the evolution of these units in space and time.

Databank used in this work was obtained from: (1) field data; (2) information of well drilling; (3) topographic maps in scall 1:100,000; (4) Landsat 7 images; (5) SRTM – Shuttle Radar Topographic Mission; and (6) GIS – Geographic Information System of RMB, Guajará and Marajó Bay. Softwares *SPRING*, *Arc View* and *Global Mapper* were used to process and treatment of data and images.

Two main scales were used in this study: (1) a regional scale 1:100,000 evolving maps of Belém, Acará and Abaetetuba giving a total of 10,635 km<sup>2</sup>; and (2) a semi detail scale 1:25,000 adjusted at RMB with total of 1, 929 km<sup>2</sup>.

Morph tectonic analysis showed three geomorphologic domains: Fluvial Plain Terrain, Terrain of Hills and Terrain of Small Mountains. The directions of topographic elements of terrain are compatible with the directions of the drainage net. The analysis of drainage net gave five main basin domains: (1) Coastal; (2) Marapanim River; (3) Guamá River; (4) Acará-Moju River; and (5) Pará River. Thorough this analysis was identified and defined neotectonic elements represented for lineaments from each hydrographic basin, with general directions NE-SW, NW-SE and NNE-SSW in regional scale. The RMB shows main directions in NE-SW and NW-SE with secondary trends WNW-ESE.

Using projection and extension of lineaments presents in RMB, was possible to draw a two-dimensional model, which form three-dimensional blocks. Were defined two kinds of sectors based on distinct aspects of blocks. Sector I is located in southeast and Sector II is in northeast portion of RMB.

There are kinematics variations in these two sectors. Sector I has dextral moving with stretching direction NW-SE and normal faults NE-SW. In the Sector II the cinematic is sinistral with stretching direction NW-SE and normal faults NE-SW associated.

Correlation between water wells located in different blocks proved that geologic layers present in both blocks have distinct attitudes, probably influenced by neotectonic processes. In Sector I, the gradient is moderate  $1/180$  m/m in the other hand Sector II has gradient 5x bigger  $1/30$  m/m. The different values on gradient suggest that Sector I and II are distinct with regarding to the slope of layers.

With treatment integrated of information obtained was possible to establish the stretching direction for Pirabas-Barreiras Basin in NW-SE. Normal faults related to the development of basin have trends NE-SW. These structures are potential surfaces of low pressure, being favorable places to recharging of aquifers intercepted by its. So it is necessary to be worried about the possibility of pollution in these aquifers by human activity in these places of recharge. Since the recharge areas are exposed to urban or agricultural purposes

# 1 APRESENTAÇÃO

O saneamento básico e os sistemas de abastecimento de água são requisitos fundamentais para uma boa qualidade de vida.

Partindo desse pressuposto e considerando de forma particular a questão da água subterrânea, buscou-se estabelecer um melhor conhecimento sobre os aquíferos de uma área geográfica na qual se situa a Região Metropolitana de Belém, formada pelos municípios de Belém, Ananindeua, Benevides, Marituba e Santa Bárbara.

O estudo compreendeu, na verdade, duas escalas distintas. A primeira regional em 1:100.000, envolveu as folhas Belém, Acará e Abaetetuba em uma área de 10.635,3 km<sup>2</sup>. A segunda, em escala de semidetalhe em 1:25.000, realizada sobre uma área de 1.929,7 km<sup>2</sup> compreendida no perímetro da primeira, recobriu a RMB, região mais densamente povoada da área regional e foco principal dos objetivos do estudo. Utilizou-se essas duas áreas com o objetivo de demonstrar a influência regional da neotectônica na configuração do quadro local.

O acúmulo de informações técnicas sobre poços e a disponibilidade de produtos de sensoriamento remoto, tais como imagens de satélite, ortofotos, dados topográficos, batimétricos, e dados fornecidos pela NASA através do programa SRTM foram subsídios importantes para que pudessemos alcançar esse objetivo. Dessa forma um dos mais importantes aspectos da caracterização do meio físico e a análise da rede de drenagem onde foi possível ser realizada com detalhe.

A área em consideração tem sofrido os efeitos dos processos neotectônicos ativos desde o terciário, o que tem influenciado a configuração geométrica das camadas aquíferas.

A dissertação ora apresentada trata assim da relação entre os processos mencionados, com base na análise detalhada de elementos do meio físico representados pela drenagem, relevo e elementos estruturais e as mudanças acontecidas na configuração geométrica dos aquíferos, os quais interferem sobre aspectos de recarga e de fluxos superficiais e subterrâneos.

O melhor entendimento desse arranjo geométrico é fator importante para uma política de aproveitamento das águas subterrâneas, um bem com demanda crescente na RMB, e a proteção de áreas de recarga, sobretudo para os aquíferos mais rasos.

As informações produzidas neste trabalho comporão um banco de dados em formato digital para pesquisa a ser anexado neste documento.

## 2 INTRODUÇÃO

Existe nos dias atuais uma preocupação crescente no cenário nacional e internacional no que se refere ao potencial das águas subterrâneas, seja sob o aspecto qualitativo, seja do ponto de vista quantitativo. O motivo básico para isso tem relação com a valorização que este bem mineral alcança no cenário mundial, à medida que a ameaça de sua escassez ganha destaque e por isso os governos de países considerados como de primeiro mundo investem maciçamente na pesquisa, conservação e ordenamento do uso dos recursos hídricos subterrâneos.

Dentro do contexto nacional, o crescimento populacional nos grandes centros urbanos tem acarretado, de forma geral, um excessivo aumento na demanda por recursos hídricos. A RMB não foge a essa regra, embora ainda apresente atualmente um percentual muito baixo de sua população atendida por serviço de distribuição de água potável.

A RMB e arredores vêm sofrendo um rápido e intenso processo de ocupação urbana de forma desordenada, o que tem contribuído para acelerar o processo de degradação de seus recursos naturais. Parte do abastecimento de água da RMB é oriundo do Rio Guamá, o qual tem como reservatórios intermediários os lagos Água Preta e Bolonha que conjuntamente constituem o manancial do Utinga. A ocupação das áreas entorno desse sistema é feita, principalmente, pela população de baixa renda, que não dispõe de saneamento básico e por isso lança indiscriminadamente seus esgotos domiciliares e lixo às margens desses cursos d'água. Somando-se a isso, ocorre um extenso desmatamento, ocasionando diversos problemas tais como a lixiviação do solo e um intenso assoreamento nos referidos mananciais. Além disso, as águas superficiais estão sujeitas à contaminações causadas por resíduos industriais, fossas sépticas, lixões, etc., tendo, portanto, que passar por uma série de tratamentos para poder tornar-se própria ao abastecimento público, elevando dessa forma o custo para a população.

Como assinalado anteriormente, a água superficial é extremamente vulnerável a fatores antropogênicos, e segundo Rebouças (1994) existem pelo menos sete razões principais para que seja incrementado o uso de águas subterrâneas, a saber:

- A água apresenta-se isenta de organismos patogênicos, turbidez e cor, dispensando os caros processos de purificação exigidos pelas águas superficiais, para uso das populações e indústrias.
- A água encontra-se mais protegida dos agentes de contaminação ou poluição.
- A água apresenta volumes armazenados muito grandes em relação aos mananciais de superfície.
- A água é de difícil contaminação radioquímica, e de grande importância estratégica na problemática de segurança nacional, considerando-se as diferentes hipóteses de catástrofes atômicas ou ação de terrorismo.
- Não há grande perda por evaporação, sendo pouco afetada pelos problemas de seca.
- Em nível de abastecimento público, permite parcelamento dos investimentos, na medida em que evolui a demanda.
- Pode constituir-se na fonte principal ou complementar de abastecimento doméstico ou industrial.

Com o crescimento urbano e industrial da RMB, os recursos hídricos subterrâneos vêm sendo a cada dia mais procurados para suprir as necessidades da população que, muitas vezes, os utiliza de maneira aleatória, sem levar em consideração as características do local onde vai ser feita a captação de água, utilizando quase sempre técnicas e equipamentos não adequados.

Assim, para tornar efetiva as vantagens de utilização da água subterrânea, o trabalho ora apresentado se propõe a agregar informações hidrogeológicas tais como geometria, continuidade das camadas, tipo de aquífero, profundidade, local de recarga, gradiente do aquífero e etc, para que este bem mineral possa ser mais explorado e para que a sua utilização se faça de maneira mais racional. Isto contribuirá sobremaneira, para uma melhor qualidade de vida para a população, sobretudo aquela com baixo poder aquisitivo e que mora nas áreas de ocupação onde o saneamento é inexistente ou precário. No sentido de uma contribuição social, o trabalho servirá, também, como base para uma melhor locação de poços, auxiliando aos gestores na tomada de decisões no que diz respeito ao abastecimento público.



## **2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO**

Regionalmente a área de estudo localiza-se no nordeste paraense, englobando as folhas, na escala de 1:100.000 Belém, Acará e Abaetetuba do corte cartográfico internacional as quais foram analisadas.

Nela se situa a RMB a qual abrange os municípios de Belém e Ananindeua, e áreas adjacentes, e que foi objeto de um tratamento de maior detalhe, na escala de 1: 25:000

O perímetro estudado é servido por uma densa malha rodoviária e por uma rede hidrográfica importante além da possibilidade de acesso marítimo na parte atlântica (Figura 1).

## **2.2 OBJETIVOS**

### **2.2.1 Objetivo principal**

O principal objetivo do trabalho aqui proposto é o de investigar a relação entre elementos geométricos dos sistemas aquíferos existentes na RMB, e os aspectos estruturais resultantes dos últimos eventos tectônicos atuantes na área. Adicionalmente, objetiva-se estruturar um SIG (Sistema de Informações Geográficas) reunindo todas as informações levantadas das características do meio físico, destacando-se as de caráter hidrogeológico, e outras informações disponíveis sobre a região, no sentido de possibilitar um melhor entendimento da estrutura desses aquíferos e formar uma memória técnica em formato digital visando auxiliar os tomadores de decisão no estabelecimento de uma proposta alternativa de abastecimento de água a partir dos mananciais subterrâneos.

### **2.2.2 Objetivos Secundários**

Contribuir na RMB para:

1. O conhecimento e a caracterização da rede de drenagem, com a descrição dos seus principais elementos formadores e seus agentes modificadores bem como melhorar o conhecimento sobre Bacias de Rios Urbanos;
2. o entendimento dos efeitos estruturais na formação dos aquíferos;
3. o estabelecimento de um modelo hidrogeológico da RMB e adjacências, por meio da integração dos resultados desse trabalho com os de outros que estão se desenvolvendo em diferentes área;

4. o cadastramento e mapeamento dos poços tubulares profundos existentes, no sentido de construir uma memória técnica sobre dados hidrogeológicos, como subsídios a outros trabalhos de avaliação das potencialidades aquíferas e suas vulnerabilidades naturais à poluição;
5. a criação de um banco de dados geográficos que permita aferir comparações entre os dados coletados;
6. o planejamento urbano e para o saneamento básico municipal e ocupação do meio físico de forma ordenada, eficiente e com preservação da qualidade de vida.

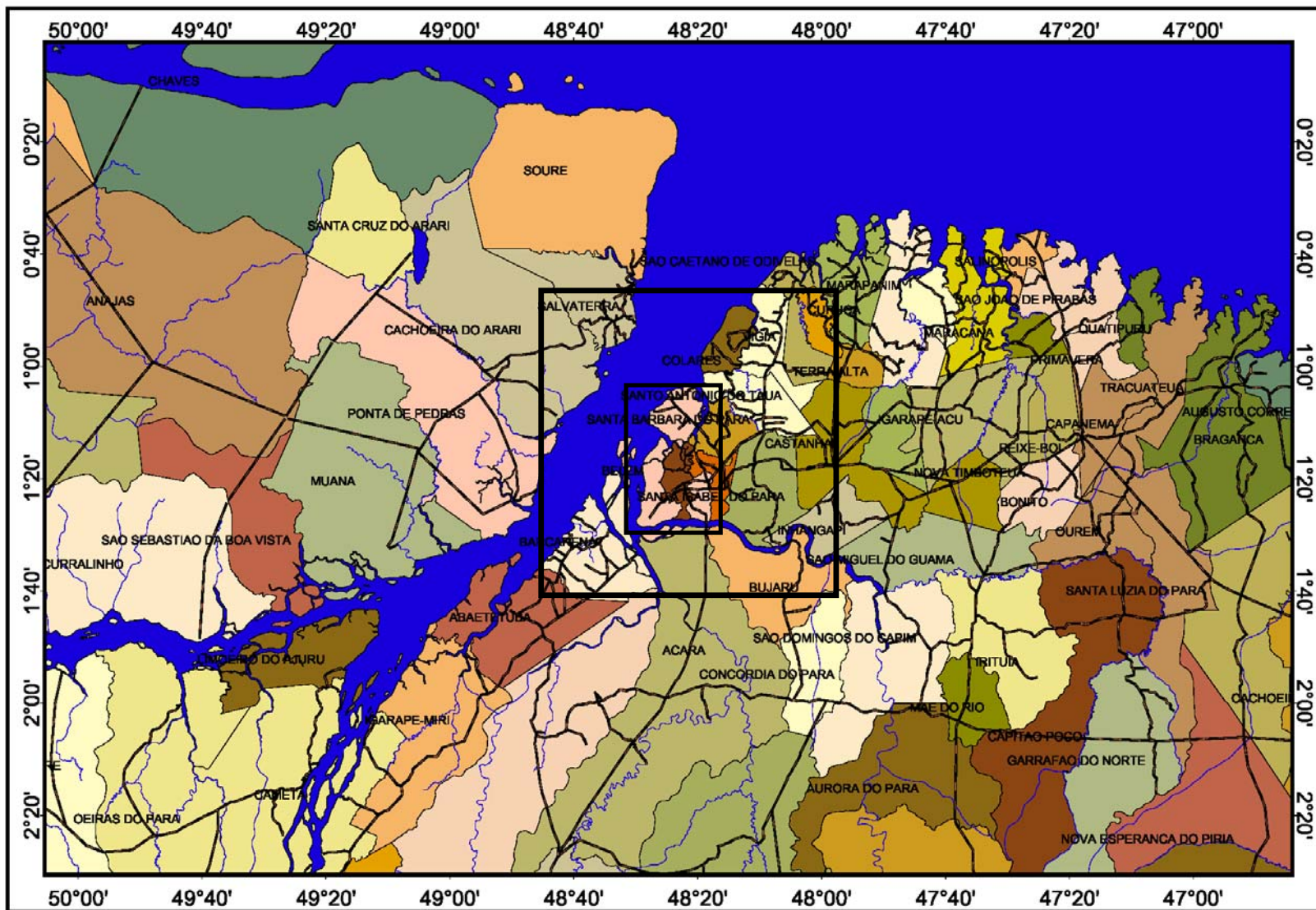


Figura 1 - Mapa de localização da Área de Estudo Fonte: SETRANS 2000.

## **2.3 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS EMPREGADOS**

Os métodos e procedimentos empregados na execução deste trabalho são delhados na ordem cronológica em que foram realizados e traduzem os passos operacionais executados para que os objetivos fossem plenamente alcançados, conforme as etapas a seguir descritas.

### ***Pesquisa Bibliográfica.***

Esta fase compreendeu inicialmente o levantamento e a análise sistemáticos da bibliografia especializada sobre o tema escolhido e sobre a área objeto da investigação, no sentido de aprofundar questões técnicas relativas ao geoprocessamento, geologia estrutural - neotectônica, e o estabelecimento do “estado da arte” sobre o conhecimento geológico/hidrogeológico da região enfocada. A pesquisa bibliográfica estendeu-se ao longo de todo o trabalho.

### ***Levantamento e processamento de informações técnicas.***

Tratou-se principalmente de informações relacionadas à construção de poços profundos obtidos juntos a órgãos públicos, como a COSANPA, SAAEB, UFPa, IBGE e CPRM, entre outras, e empresas privadas relacionadas principalmente a construção de poços tubulares profundos, sendo estes considerados a partir de 80m.

Uma vez reunidos os dados foram processados de acordo com os métodos descritos mais adiante na RMB.

### ***Trabalhos de Campo.***

Esta fase incluiu o levantamento de dados e a checagem de campo de informações técnicas espacialmente localizadas com o auxílio de GPS. Estas foram principalmente os poços cadastrados como também atributos hidrogeológicos, geológicos, geomorfológicos e outras informações necessárias para subsidiar o trabalho.

### ***Levantamento dos dados topográficos, batimétricos e Modelamento Digital de Terreno***

Para a confecção de um Modelo Digital de Terreno – MDT, foram digitalizadas bases topográficas 1:10.000 e 1:2000, além das Cartas Batimétricas da Baía do Guajará e do Marajó, integradas em um Modelo Digital de Terreno, com o intuito de auxiliar na caracterização da rede de drenagem e da carta morfotectônica, além de auxiliar na obtenção com maior precisão da cota da “boca” dos poços. Esse modelo foi gerado na área de semidetalhe do estudo na RMB.

### ***Caracterização das redes de drenagem regional e de semidetalhe.***

A caracterização da rede de drenagem foi baseada nas propostas contidas em Howard (1967), Deffontaines & Chorowicz (1991) e Lima (2002) e foi realizada para as áreas regional e semidetalhe.

Para a análise regional foram digitalizadas as cartas 1:100.000 produzidas pelo IBGE das folhas Belém, Abaeté e Acará e, posteriormente, refinadas utilizando-se imagens Landsat 7 RGB543 com fusão pancromática de 15 metros, além das imagens de radar do SRTM – *Shuttle Radar Topographic Mission*, utilizadas principalmente no auxílio ao georeferenciamento das imagens *landsat 7* e no refinamento da rede de drenagem. Para a análise de detalhe foram utilizados mapas planialtimétricos da RMB na escala de 1:10.000 e 1:2.000, além de fotografias aéreas digitais de 3.15 m de resolução, e geração do MDT, que foi importante no refinamento da rede de drenagem local e aferição da cota da “boca” dos poços.

### ***Confecção e análise do mapa de lineamentos regional e semidetalhe***

Baseado nos mapas de drenagem regional e de semidetalhe, nas imagens de radar do SRTM e no MDT da RMB, foram confeccionados e analisados os mapas de lineamentos.

Regionalmente foram gerados mapas de lineamentos e subdivididos nos limites das cinco grandes bacias da área, as quais foram posteriormente analisados utilizando-se o módulo Análise de Lineamentos do software SPRING.

i) ***Mapa de lineamento de semidetalhe.***

Foi gerado o mapa de lineamento de drenagem de semidetalhe utilizando em conjunto o MDT e a rede de drenagem refinada e, posteriormente, foram analisados utilizando o módulo de Análise de Lineamentos do software SPRING.

***Confecção do mapa morfotectônico***

Com base nas informações do mapa de lineamentos de drenagem e dados SRTM, foi possível definir as unidades de relevo, além de esboçar a interação desses elementos em um mapa morfotectônico da área regional.

***Aplicação do modelo de Riedell e definições de blocos estruturais.***

Com base nas informações do mapa morfotectônico aplicou-se o modelo de *Riedell*, mostrando as direções de compressão ( $\sigma^1$ ) e distensão ( $\sigma^3$ ). Enquadrando-se os blocos tectônicos delineados pela interseção de planos estruturais constantes nesse modelo, bem como definindo-se os arranjos geométricos e cinemáticos.

***Definição da relação dos poços em cada bloco tectônico e posterior correlação.***

Foi realizada a análise dos perfis de poços disponíveis no banco de informações gerados e definidos os conjuntos que se localizavam em um mesmo bloco tectônico. Posteriormente, foi realizada a correlação dos perfis em seções, sendo definida inicialmente a cota da boca de cada poço, utilizando o MDT, visando relacioná-los a um único *datum*, o nível do mar.

***Definição da geometria e do gradiente das camadas aquíferas***

Uma vez definida a cota de cada poço em relação a um *datum*, utilizava-se uma camada guia para a elaboração do problema dos três pontos, com o objetivo de definir o gradiente das camadas em cada bloco tectônico, construindo, assim, um modelo de geometria do aquífero.

***Definição das prováveis zonas de recarga da área local***

Realizando a análise integrada dos dados levantados, definiu-se com base na correlação dos poços e no diagrama de *Riedell* as prováveis zonas de recarga, principalmente, dos aquíferos mais rasos e sua relação com o uso e ocupação do solo na área de estudo.

### ***Criação de um banco de dados geográfico para aferir comparações entre os dados coletados***

Para a criação do Sistema de Informações Geográficas – SIG utilizou-se os softwares *Arc-View*; *SPRING* e *Global Mapper*, sendo que a metodologia utilizada foi a adotada pelo INPE (Câmara *et al*, 2000). Nesse sistema foram inseridas todas as informações sobre os poços cadastrados e seus respectivos perfis geológicos e geofísicos, como também, foi realizado o tratamento das imagens de satélite, imagens de radar – *SRTM*- e fotografias aéreas e todos os dados vetoriais produzidos durante a execução da dissertação.

### ***Formatação da Dissertação***

Esta fase constituiu-se na elaboração final deste documento, sistematizando e interpretando os dados produzidos na pesquisa.

### **3 UMA REVISÃO NECESSÁRIA**

A necessidade de conhecimento geral e de aprofundamento sobre aspectos teóricos das técnicas de análise do objeto da dissertação e do levantamento das informações pré-existentes da área estudada fez com que a revisão bibliográfica ora apresentada enfatize tópicos fundamentais para a estruturação da dissertação, compreendendo a neotectônica e as técnicas de análise de rede de drenagem e geoprocessamento, a seguir abordados.

#### **3.1 NEOTECTÔNICA**

As principais características da pesquisa neotectônica são: o enfoque multidisciplinar; a possibilidade de criação de modelos atualísticos de paleocorrelação; o fato de que as estruturas e tramas neotectônicas são o reflexo de processos profundos na superfície e a possibilidade de estudos de sítios arqueológicos e sua importância econômica, assim como de impacto social. Neste contexto, a concepção de “movimentos jovens”, métodos e formas adequadas de datá-los, e uma melhor compreensão dos processos geológicos envolvidos, são alguns dos objetivos no qual esta pesquisa pretende contribuir.

O termo “neotectônica” foi introduzido por Obruchev (1948)<sup>1</sup> apud Stewart & Hancock (1994) para descrever “o estudo de movimentos tectônicos que ocorreram ao final do Terciário e primeira metade do Quaternário”.

Existe na literatura uma polêmica sobre a definição a qual intervalo temporal a neotectônica se reporta. Segundo Morner (1990), as fases neotectônicas iniciaram-se em diferentes épocas em diferentes lugares, dependendo do regime tectônico em atuação. Segundo esse autor a neotectônica é o ramo da tectônica que trata dos movimentos da Terra que ocorreram no passado e que ainda estão a acontecer no tempo presente. Outras definições são utilizadas em referência a movimentos tectônicos atuais tais como: Tectônica Holocênica, Tectônica Quaternária ou Tectônica Neógeno-Quaternária, dependendo de qual seja o limite estratigráfico selecionado. Quando a palavra neotectônica é usada como um adjetivo para qualificar a idade de uma estrutura, seu uso comumente

---

<sup>1</sup> OBRUCHEV, V.A. 1948. Osnovnyje verty kinetiki i plastiki neotectoniki. Izvetia Academia nauk SSSR, Serie Geologia, v.5.



implica que a estrutura é interpretada como tendo se propagado ou reativada no campo esforço/deformação, e que persistiu sem ter havido mudanças significativa de orientação nos dias atuais. Os autores sugerem que o termo “tectônica ativa refere-se a movimentos tectônicos que são esperados para ocorrer em um tempo futuro”.

Stewart & Hancock (1994) entendem que a neotectônica trata do estudo de movimentos que ocorrem no presente os quais podem ser identificados como tendo tido início em um tempo no passado. De acordo com a definição da “Comissão de Estudos Neotectônicos (INQUA)”, neotectônica é qualquer movimentação ou deformação do nível geodésico de referência, compreendendo adicionalmente o entendimento de seus mecanismos, sua origem geológica, suas aplicações para vários propósitos e suas futuras extrapolações, não existindo assim um marco temporal que indique o início da atuação neotectônica (Saadi, 1991).

Os principais trabalhos sobre o assunto foram desenvolvidos principalmente em áreas de bordas de placas. As áreas mais investigadas são a costa oeste dos EUA (Crowell, 1974; Machete et al., 1991), a Itália (Montenat *et al.*, 1991), O sudeste asiático, em especial a Índia (Mercier et al., 1987), e a Inglaterra (Becker et al.<sup>2</sup> apud Stewart & Hancock, 1994). Nesses locais a pesquisa foi efetivamente desenvolvida para análise de risco natural, principalmente através da sismotectônica. No domínio intraplaca pode-se citar o sistema de rift do oeste africano como área de maior investigação (Dutor & Ferrandini, 1985; Ebinger, 1989; Morel *et al* 1993).

A publicação dos resultados do encontro intitulado “*Economic Geology and Geotectonics of Active Tectonics Regions*”, contida na obra de Cosgrove & Jones<sup>3</sup> apud Ferreira Jr. (1996), representou importante contribuição para o avanço da neotectônica, com destaque para os estudos sobre a geomorfologia, a geologia geral, a sismicidade, a estabilidade de taludes, a geologia econômica e a geologia de engenharia.

No Brasil foi a partir da década de 50, com os trabalhos de Sternberg (1950,1953) que as pesquisas sobre o assunto se iniciaram. Outros trabalhos importantes foram publicados, principalmente a partir da década de 80, dentre os quais podem ser citados

---

<sup>2</sup> Becker, A. 1989. Detached neotectonic stress filed in the northern Jura Mountains, Switzerland. *Geol. Rdsch.* 78, 459-475

<sup>3</sup> Cosgrove, J. & Jones, M. 1991 – Neotectonics and resources. London, University College. 409p

Franzinelli & Piuci, (1988); Veloso et al., (1987); Eiras & Kinoshita, (1988); Franzinelli & Igreja, (1990), entre outros.

O I *Workshop* sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste Brasileiro, no ano de (1990), foi um evento importante que ocorreu na cidade de Belo Horizonte (MG), e funcionou como alavanca para o desenvolvimento de pesquisas sobre o tema em várias áreas do Brasil. Nesse evento, um trabalho de destaque foi o de Yociteru Hasui, no qual é apresentado o quadro neotectônico no Brasil, destacando-se o regime tectônico e a idade dos processos envolvidos. O autor levanta duas possibilidades para a definição do tempo de atuação da neotectônica no Brasil:

1<sup>a</sup>) Considerar como neotectônica todos os processos ligados à abertura do Oceano Atlântico e seus retrabalhamentos até o Triássico ou Permiano, ou;

2<sup>a</sup>) Considerar os processos pós-climax da abertura do Atlântico a partir do Mioceno ou Oligo-Mioceno, marcando seu limite inferior pela deposição do último pacote sedimentar nas bacias costeiras.

Segundo Hasui (1990), esta última hipótese seria a mais correta por se tratar da movimentação ainda vigente com manifestação em ambiente intraplaca.

Para a região Amazônica, onde insere-se a área estudada nesta dissertação, Costa et al (1996) definem o quadro neotectônico como “estando relacionados aos conjuntos de estruturas e de seqüências sedimentares, bem como a distribuição dos elementos principais das bacias hidrográficas e dos sistemas de relevo desenvolvidos do Mioceno ao Recente”.

Esses processos aconteceram em um contexto de rotação da placa sulamericana de leste para oeste, resultando na implantação de um regime tectônico intraplaca. Tal regime se dá pela atuação de um binário dextral E-W, imposto pela rotação, com componentes transpressivo NW-SE e transtensivo NE-SW

Para este trabalho, utilizou-se a última consideração como sendo a mais provável para o território brasileiro, porque diz respeito a movimentação ainda vigente com manifestações de ambiente intraplaca, e pelo fato que outros autores a utilizam para contextualizar a atuação da neotectônica em outros locais do Brasil.

### 3.1.1 Características Gerais das Estruturas Neotectônicas

O desenvolvimento de estruturas neotectônicas depende do quadro estrutural de uma determinada região, ou seja, da orientação e geometria de estruturas preexistentes, e logicamente do regime tectônico envolvido (Hasui, 1990).

As estruturas neotectônicas mais estudadas são falhas e juntas, as quais são restritas ao nível crustal superior e, portanto, mais susceptíveis aos processos erosivos e, no geral, marcam os primeiros estágios de deformação que são normalmente “apagados” depois de prolongados períodos de movimentação (Stewart & Hancock, 1994).

#### 3.1.1.1 Falhas neotectônicas

A geometria e a arquitetura de falhas neotectônicas segundo Stewart & Hancock, (1994), resultam da propagação e acomodação da movimentação de massa ao longo de diversos planos. Estudos de rupturas causadas por terremotos demonstram que a movimentação das falhas não ocorre em planos contínuos e discretos como se pensava, mas em diversos planos que compõem uma zona de falha, que apresenta um arranjo anastomosado e interconectado (Figura 2a).

Os traços de falhas ativas são caracterizados por mudanças de orientação e de continuidade geométrica. As curvaturas (*bends*), por exemplo, marcam desvios abruptos na orientação do traço da falha; já a continuidade pode ser interrompida por ramos segmentados, onde a falha principal divide-se em dois ou mais traços. Assim a partição da deformação neotectônica depende diretamente da segmentação da falha, ou seja, da mudança de padrão geométrico e das variações nas taxas de movimentação.

Diferentes tipos de segmentações geram elementos estruturais contrastantes na arquitetura da falha. De acordo com a forma dos segmentos ou das curvaturas, pode-se ter estruturas dilatacionais ou compressionais, nas quais, respectivamente, são formadas brechas de implosão e de compressão (figura 3). Onde há concentração de deformação ao longo de uma superfície contínua da falha, tem-se a formação de brechas de atrito.

Como indicadores cinemáticos da movimentação pode ser reportados a lineação de estiramento e as estrias, contidas no plano de falha. É certo que diferentes episódios de movimentação no plano de falha podem formar várias gerações de estrias com diferentes

orientações, mas as lineações em grande escala podem ser um elemento inerente ao plano de falha, servindo como registro do vetor estiramento ( $\sigma_3$ ).

Além da caracterização geométrica e de indicadores cinemáticos, outro ponto de suma importância é a presença de farinha de falha, que pode ser útil na determinação da idade de movimentação da falha, através de métodos paleomagnéticos ou de ressonância elétrica.

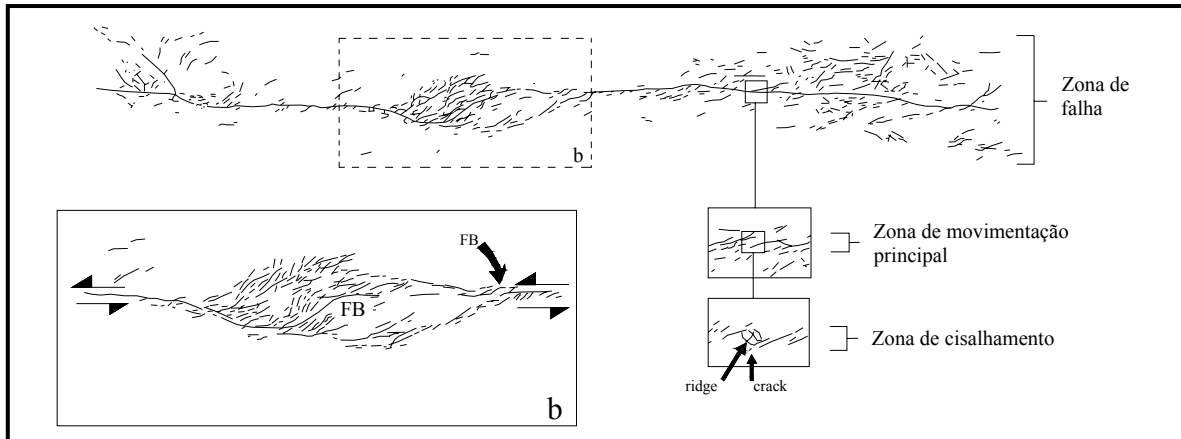


Figura 2 - (a) Mapa de fraturas associadas ao terremoto em Dasht e Bayaz (Irã) de 1968, ressaltando o caráter descontínuo da superfície de falha. (b) Detalhe demonstrando a invariabilidade do padrão das rupturas, com encurvamento (FB) ocorrendo ao longo de falhas em escalas contrastante. Fonte: Stewart & Hancock (1994).

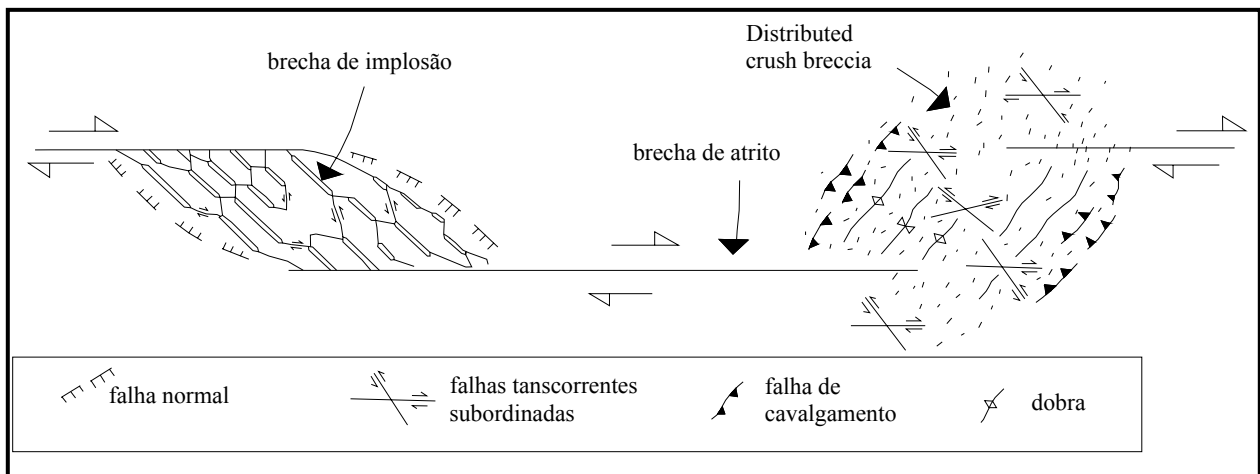


Figura 3 - Padrão de fraturas ao longo de um segmento de uma falhadirecional. Separações dilatacionais (D) caracterizam-se por brechas de implosão, falhas normais e direcionais subsidiárias. Separações antidilatacionais (A) caracterizam-se por brechas de explosão, cavalgamentos, dobras e falhas direcionais subordinadas. Ao longo do plano de falha principal, tem-se a formação de brechas de atrito. Fonte: Stewart & Hancock (1994).

### **Juntas Neotectônicas**

Para um conjunto ou sistema de juntas ser considerado neotectônico, segundo Stewart & Hancock, (op cit), precisa ser o mais novo de uma área e estar afetando rochas depositadas desde a implantação da fase neotectônica. Quando as rochas consideradas são de idade mais antiga, o intervalo de tempo entre a acumulação da sequência e a implantação da deformação pode ser muito amplo para serem estabelecidas relações estratigráficas seguras, mas isto não significa que rochas mais velhas não possam ser cortadas por juntas neotectônicas. O reconhecimento no campo é difícil, sendo normalmente utilizados critérios de sucessão ou de truncamento.

Os principais atributos de um sistema de juntas neotectônicas são:

i) os sistemas de juntas neotectônicas pertencem a redes geometricamente simples de conjuntos de fraturas de extensão ou fraturas híbridas conjugadas, ambos dominados por um conjunto de fraturas verticais sistemáticas (Figura 4);

ii) não é comum a exposição de veios paralelos às juntas neotectônicas, sugerindo que a pressão de fluido dificilmente alcança os altos valores necessários para o seu desenvolvimento;

iii) as juntas neotectônicas raramente cortam camadas incompetentes;

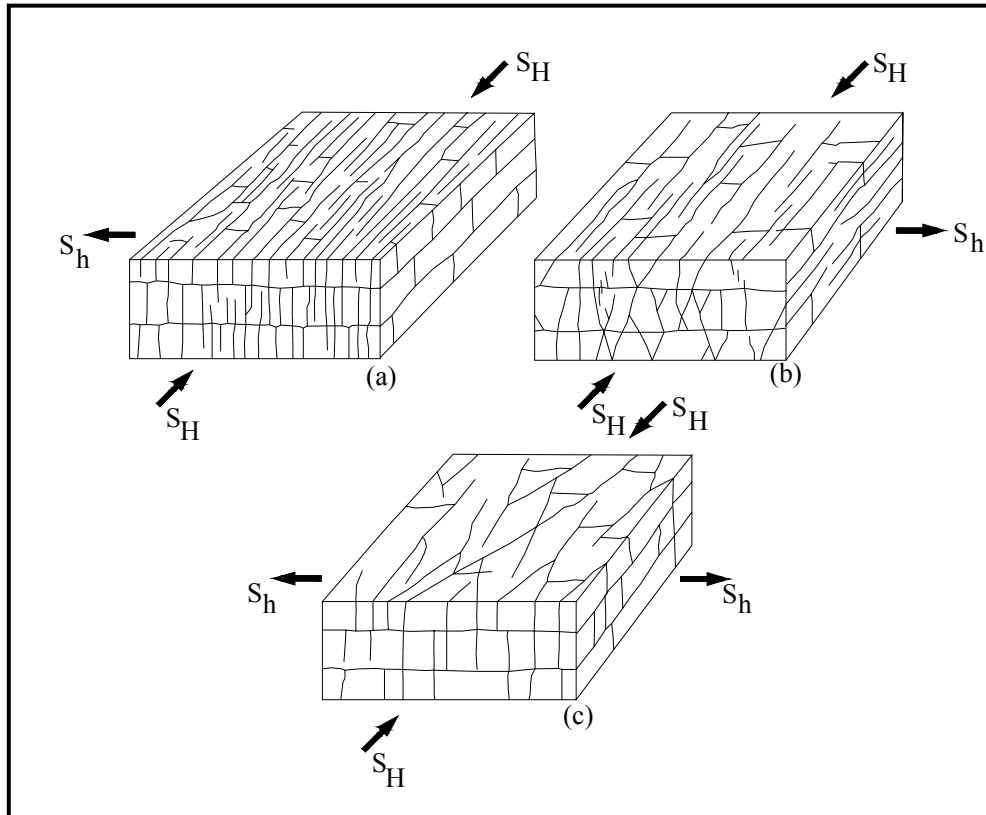


Figura 4 - Sistemas característicos de juntas neotectônicas. (a) Conjunto simples de juntas sistematicas verticais de extensão ligado por juntas não sistematicas. (b) Espectro de juntas verticais de extensão e juntas híbridas íngremes ligados por juntas não sistematicas. (c) Espectro de juntas verticais de extensão e juntas híbridas ligado por juntas não sistematicas.  $S_H$  – Maior tensão horizontal,  $S_h$  – Menor tensão horizontal. Fonte: Stewart & Hancock (1994).

### 3.1.2 A Tectônica Transcorrente.

O contexto geológico e as estruturas que têm lugar no ambiente de transcorrência são fundamentais para o entendimento do quadro neotectônico de uma área e principalmente sobre as estruturas serão tecidas algumas considerações.

#### 3.1.2.1 Estruturas do Sistema Transcorrente

Tanto o cisalhamento coaxial ou puro quanto o não-coaxial ou simples podem gerar movimentação transcorrente. Quando a deformação é pura, duas falhas direcionais (dextral e sinistral) chamadas fraturas de cisalhamento (C e C') desenvolvem-se, formando um par conjugado simétrico (Figura 5). Estas exibem  $\sigma_2$ , formando ângulo em torno de  $30^\circ$  com  $\sigma_1$  (Hasui & Costa, 1991).

Associadas às estruturas referidas desenvolvem-se ainda fraturas de partição (T e T'), perpendiculares a  $\sigma_3$ , contendo os eixos  $\sigma_1$  e  $\sigma_2$  ou perpendiculares a  $\sigma_1$  contendo  $\sigma_2$  e  $\sigma_3$ , cujo desenvolvimento é atribuído a alívio de tensão. Falhas normais propagam-se perpendicularmente a  $\sigma_3$  e dobras ou falhas reversas, perpendicularmente a  $\sigma_1$  (figura 5).

Na deformação não coaxial tem-se também a fratura de partição (T) e as de cisalhamento chamadas de sintéticas ou de Reidel (R), antitéticas ou conjugadas de Riedel (R'), sintéticas secundárias (P), Y ou D, paralela à direção do binário e mesmo sentido de movimentação relativa, e X que faz ângulo agudo  $90^\circ - (\phi/2)$  com a direção do binário e possui mesmo sentido de movimentação relativa. Na figura 6 observa-se o padrão resultante de um binário dextral.



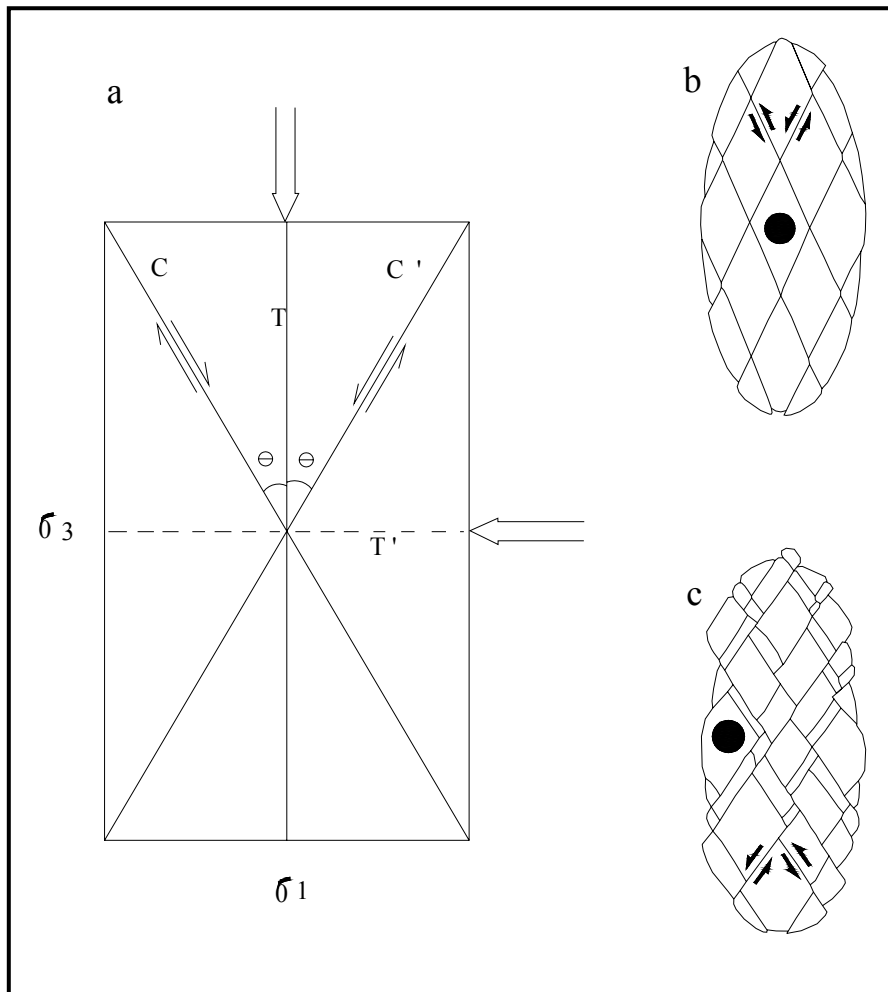


Figura 5 - Fraturas em regime coaxial. Em (a), C e C' são as fraturas de cisalhamento conjugado, fazendo ângulo  $\theta$  com  $\sigma_1$ . T e fratura de partição e T' é outra que pode aparecer; em (b), fraturas de cisalhamento de um elipsóide deformado; em (c), mesmo caso, com arrastos. Os pequenos círculos em preto indicam o estado de deformação interna. Fonte: Hasui & Costa (1991)

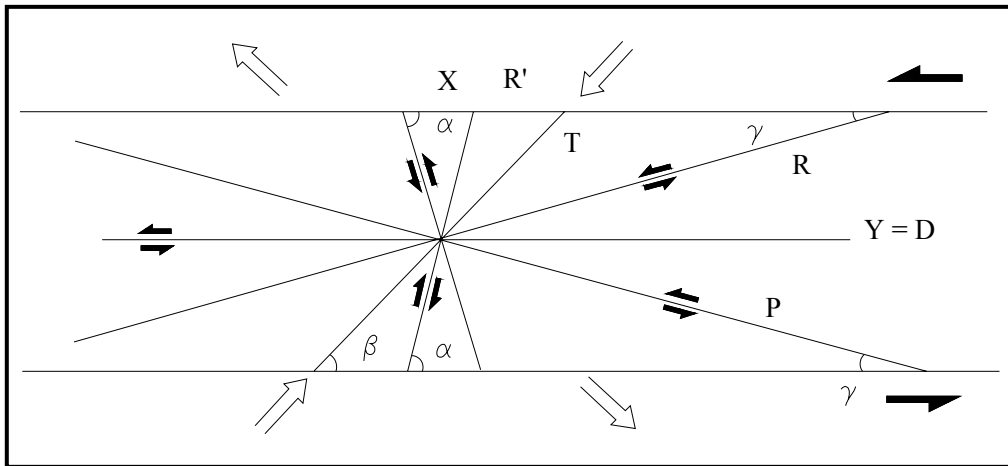


Figura 6 - Descontinuidades formadas na deformação não coaxial. Os ângulos são  $\alpha = 75^\circ$   $\beta = 45^\circ$   $\gamma = 15^\circ$  (considerando o ângulo de atrito interno de  $30^\circ$ ). R, P, X e Y (D) têm movimentos sinistrais em binários sinistrais. As flechas indicam as direções de estiramento e encurtamento. Hasui & Costa (1991)

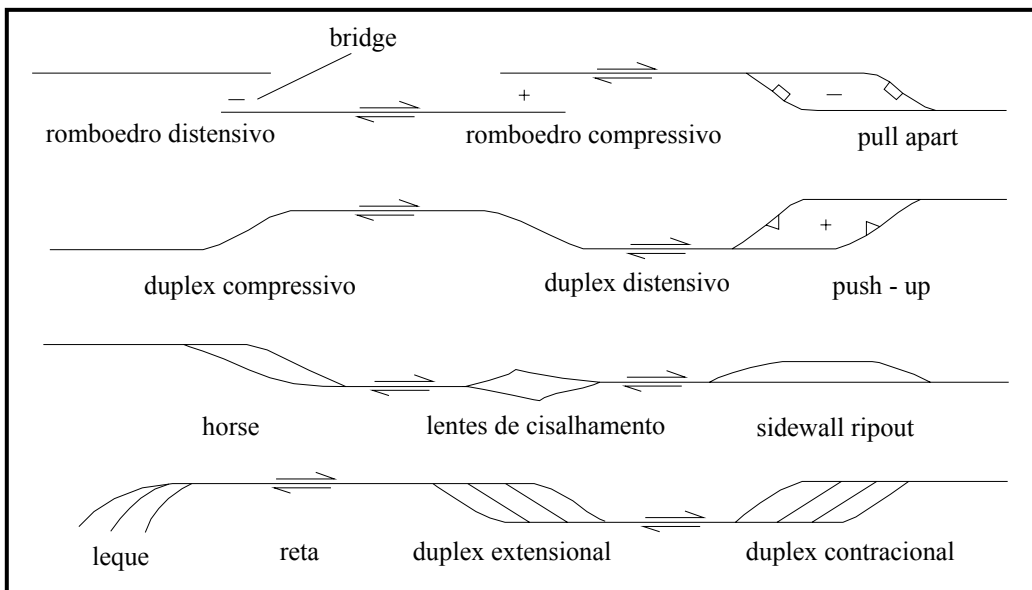


Figura 7 - Visto em mapa, os tipos de estruturas ao longo de falhas transcorrentes. Fonte: Woodcock & Schubert (1994)

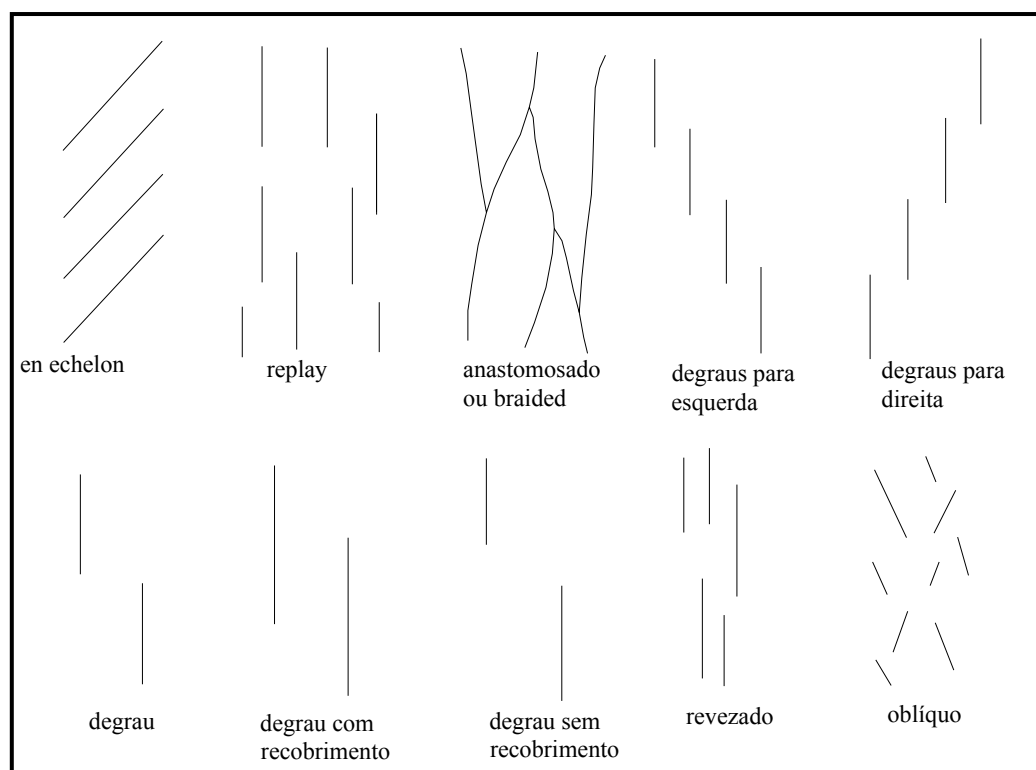
As primeiras estruturas desenvolvidas, segundo experimentos com argila, são dobras e descontinuidades R, seguindo-se descontinuidades P. Com a progressão da deformação o movimento é concentrado numa estreita zona de deslocamento principal. Em ensaios laboratoriais com amostras sob pressão confinante, esse critério não se aplica; as descontinuidades R e P aparecem primeiro, seguido-se as R' e Y (Hasuy & Costa, 1991).

Vários autores ressaltam a importância das relações angulares observadas entre as descontinuidades referidas que dizem respeito ao momento de formação das estruturas em maciços isotrópicos, pois as mesmas são modificadas com a progressão da deformação, tomando-se paralelizadas sob altas taxas de movimentação.

Um ponto de fundamental importância é a presença de estruturas pré-existentes ou de anisotropias do meio, pois estas irão influenciar diretamente no desenvolvimento de transcorrências, causando variações no estilo das estruturas. Segundo Woodcock & Schubert (1994), quando falhas transcorrentes acomodam movimentação oblíqua ao longo de seus segmentos, a deformação pode ser analisada pelo sistema de cisalhamento puro superimposto a um cisalhamento simples, sendo esta movimentação oblíqua um importante mecanismo de formação de bacias.

A principal característica geométrica dos sistemas transcorrentes é a presença de separações e curvaturas. Christie-Blick & Biddle (1985) comentam que a interação entre os segmentos de falha forma estruturas romboédricas, cuja geometria depende da cinemática envolvida e da sobreposição e espaçamento entre as falhas. As curvaturas são determinantes na formação de duplexes (Figura 7). Outros padrões geométricos conhecidos são; en échelon, recobrimento, anastomosado e outros exemplificados na Figura 8.

Considerando-se a deformação progressiva e heterogênea, verifica-se que as transcorrências acomodam muita rotação ao redor de um eixo vertical (Figura 8), resultando em deformação finita complexa, dependente da magnitude do deslocamento e do estágio de formação de cada feição envolvida (Hasui & Costa, 1991). No geral, as rotações dos blocos obedecem a cinemática do binário do sistema em função de um padrão estrutural dominante. As áreas de padrão estrutural diferente do dominante experimentam rotações em sentido oposto, sendo um fator complicador em estudos paleomagnéticos (Woodcock & Schubert, 1994).



*Figura 8 - Vistas em mapa de estruturas dentro de zonas transcorrentes planares. Fonte: Woodcock & Schubert (1994)*

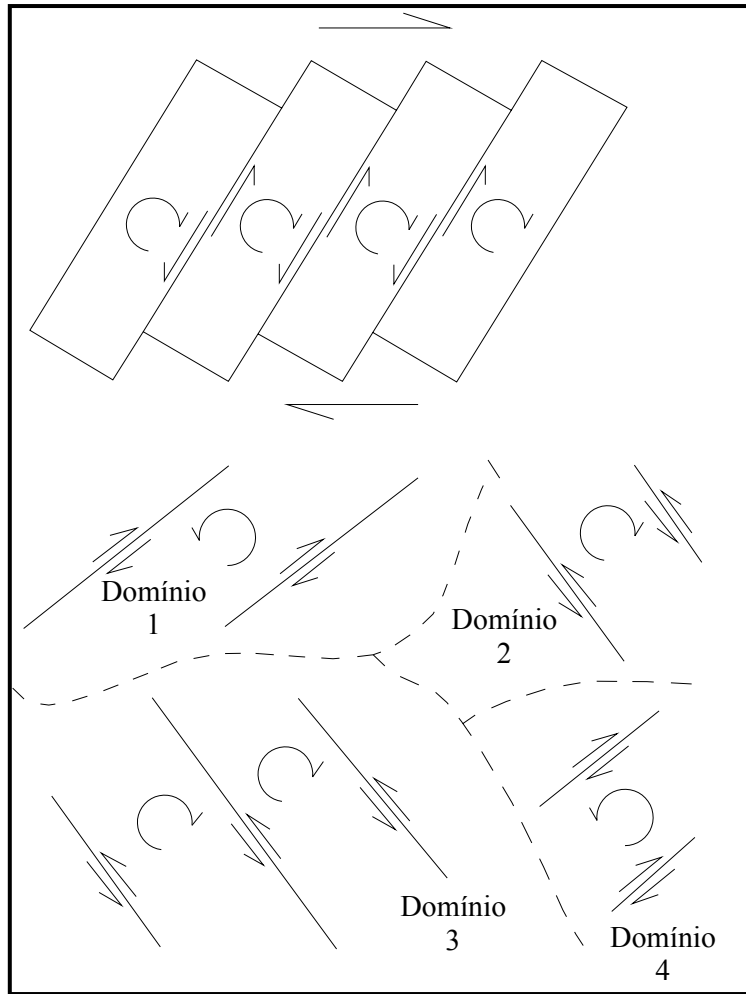


Figura 9 - Vistas em mapa de blocos rotacionados por um binário dextal e as estruturas dominantes. Woodcock & Schubert (1994)

### 3.1.2.2 Caracterização de Falhas Transcorrentes

A linearidade de sistema de relevo é a principal característica fisiográfica das falhas transcorrentes, ainda que se considere seu caráter efêmero, visto que as feições diagnosticas podem ser erodidas rapidamente. As principais feições fisiográficas associadas com falhas transcorrentes são descritas por Sylvester (1988), com destaque para os vales lineares encaixados no traço da falha, deslocamentos de colinas, deflexões de canais em ângulo oblíquo, deslocamento de drenagem por falha, drenagens obstruídas, depressões locais formando pequenos lagos, escarpas deslocadas verticalmente e escarpas paralelizadas (Figura 10). Cooke<sup>4</sup> (apud Silva 1997) fornece uma lista desses indicadores de natureza neotectônica, que são utilizados na caracterização dessa atividade (Tabela 1). Sem dúvida as evidências de deslocamento de canais, assim como bloqueios na drenagem, são critérios valiosos na caracterização das falhas, em função de sua maior tendência a preservação. Contudo, a sua interpretação exige a combinação de outros critérios. Os deslocamentos de drenagem, por exemplo, devem estar na direção de montante, ou a própria captura do rio ou a erosão diferencial pode explicá-los.

O arranjo em *echelon* de falhas, fraturas e dobras é muito comum em sistemas transcorrentes (Figura 11). A justaposição de diferentes tipos de rochas (de diferentes idades, fácies, origens e /ou estruturas), da mesma forma (Sylvester, 1988).

Outros aspectos são o desenvolvimento aparentemente simultâneo de estruturas de estiramento e de encurtamento, os sentidos de separação vertical variáveis em falhas próximas à superfície que coalescem em profundidade rumo à falha principal, e planos de falha principalmente horizontais. A direção e o sentido dos deslocamentos são determinados, respectivamente, a partir da atitude das estrias e dos diversos indicadores cinemáticos, a exemplo de segmentos de drenagem deslocados (Figura 11)

As principais geometrias das falhas transcorrentes em perfis são caracterizadas por segmentos retilíneos verticais e segmentos curvos formando arranjos diversos. Segundo

---

<sup>4</sup> COOKE, R. U. Geomorphology in environmental management: an introduction. New York: Ed. Oxford, Clarendon Press, 1990. 410 p.

Sylvester (1988), as lineações de estiramento e mineral apresentam-se horizontalizadas a sub-horizontalizadas, podendo entretanto, nas áreas transpressivas e transtensivas, alcançar mergulhos de até 50°.

Regionalmente, o regime transcorrente é marcado também pelo desnivelamento de blocos, pela rápida e variada sedimentação, pelo pouco magmatismo e fraco metamorfismo, e por vergências diversamente orientadas das dobras e empurrões (Christie-Blick & Biddle, 1985)

*Tabela 1 – Alguns exemplos de indicadores geomorfológicos da atividade neotectônica (Silva 1997).*

<b>INDICADORES DIRETOS</b>	<b>INDICADORES INDIRETOS</b>
<i>Linha de costa deformadas ou deslocadas</i>	<i>Respostas de canais de drenagem</i>
<i>Terraço aluvial deformado</i>	<i>Mudanças a jusante na sinuosidade do rio</i>
<i>Segmentação de leques aluviais</i>	<i>Taxa de sedimentação</i>
<i>Deformação de terraços datados</i>	<i>Captura de rio</i>
<i>Mudança na profundidade de lagos</i>	<i>Formação de lagos</i>
<i>Arqueamento de superfícies planálticas</i>	
<i>Escarpa de falha</i>	
<i>Spur e Facetas</i>	
<i>Shutter ridges</i>	
<i>Separação de terraços de rios</i>	
<i>Rios reversos</i>	
<i>Deslocamentos de construções humanas (cercas trilhos etc.)</i>	

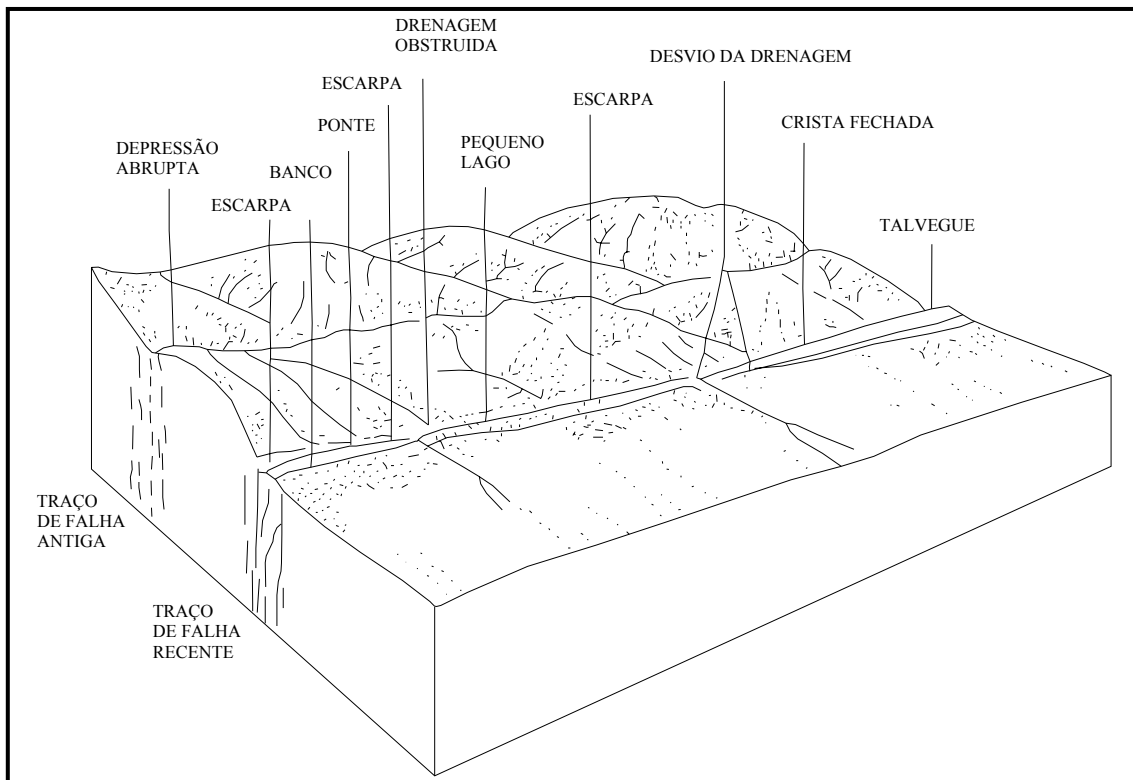


Figura 10 - Bloco Diagrama ilustrando as feições geomorfológicas associadas às falhas transcorrentes. Fonte: Sylvester (1988)



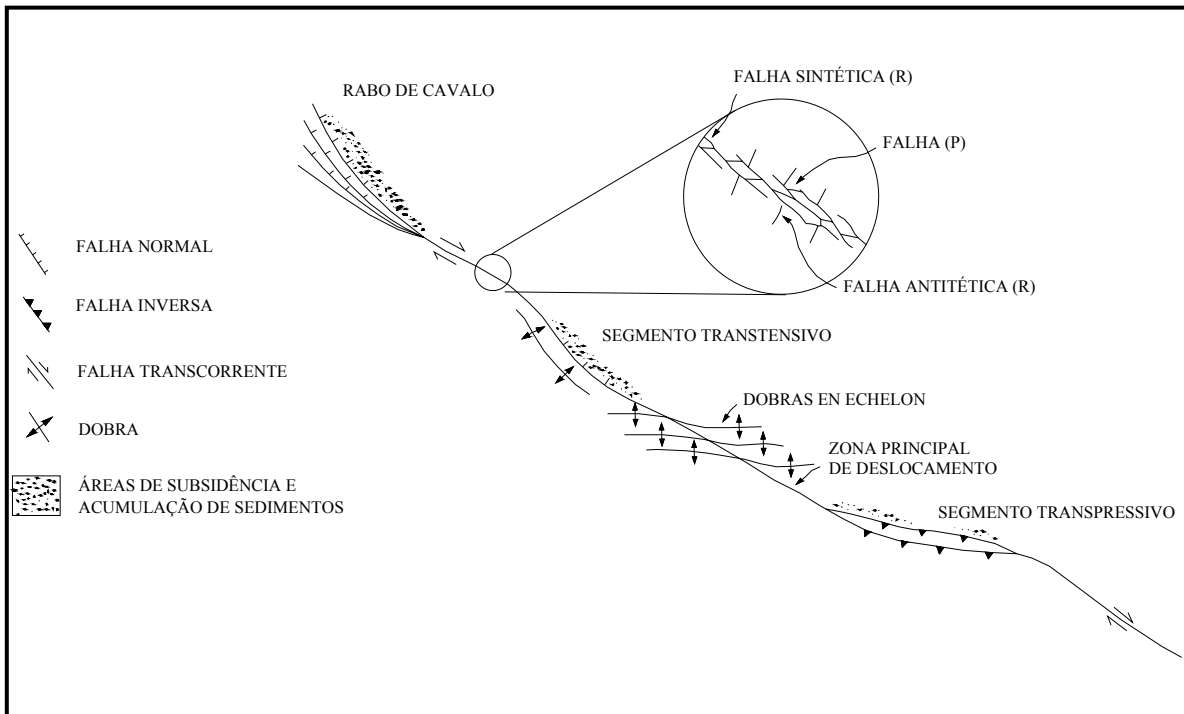


Figura 11 - Arranjo espacial visto em mapa das estruturas associadas a uma falha transcorrente idealizada. Fonte: Ferreira Jr. (1996)

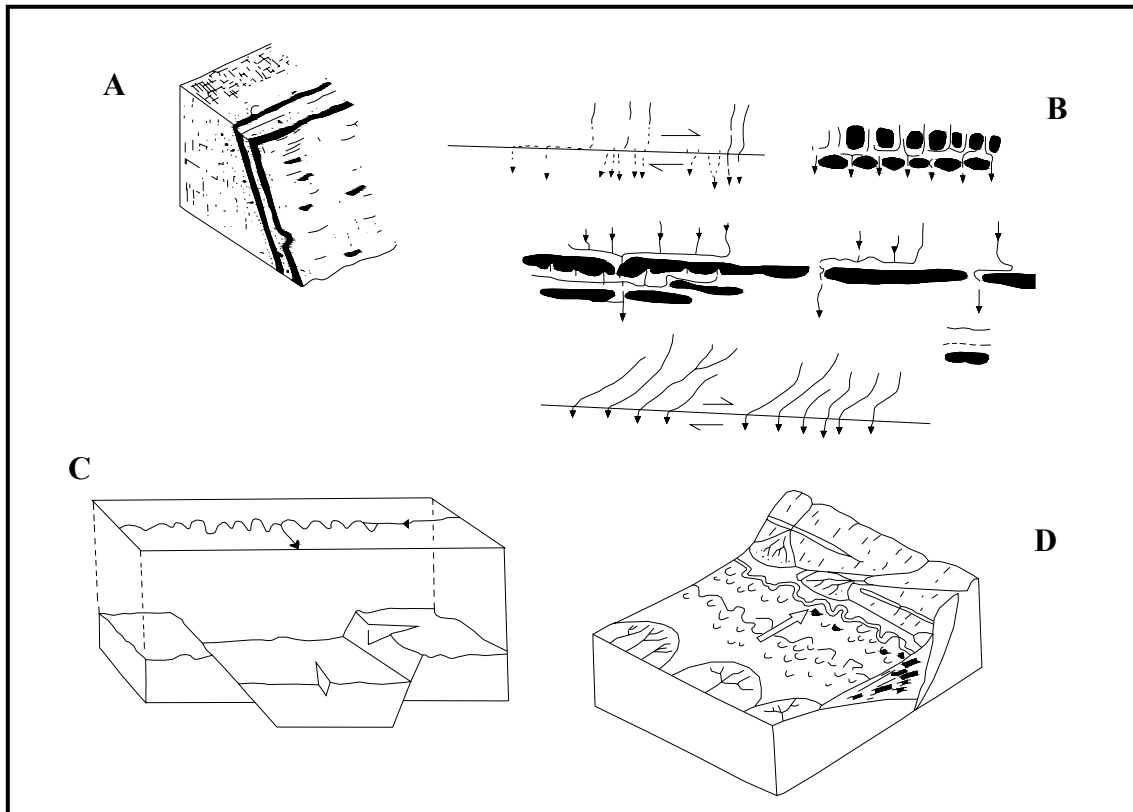


Figura 12 - Blocos diagramas e esquemas mostrando alguns critérios utilizados na determinação da direção e do sentido de deslocamento de falhas. A) plano de falha normal mostrada as estrias e os ressaltos utilizados para determinar a direção e o sentido do deslocamento, respectivamente (Stewart & Hancock, 1994); B) segmentos de drenagem deslocados por falhas transcorrentes dextrais (Summerfield, 1993); C) Bloco diagrama mostrando o bloqueio da drenagem por falhas normais (Ouchi, 1985); D) bloco diagrama mostrando o deslocamento do talveg induzido pela falha normal (Leeder & Alexander, 1987). Fonte: Ferreira Jr. (1996).

## **3.2 REDE DE DRENAGEM**

Além da importância social, política e econômica, a drenagem e seus padrões propiciam informações relevantes sobre o meio físico, em especial o geológico e o geomorfológico, além de estabelecer inter-relações com o clima, a pedogênese e os ambientes fitofisionômicos, além de fornecerem informações sobre os recursos naturais de uma região.

Tais conhecimentos são relevantes na execução de obras de engenharia, a exemplo das usinas hidrelétricas, além de ter implicações relevantes sobre o planejamento agrícola, o zoneamento ecológico – econômico etc. As bacias de drenagem, ou bacias hidrográficas, constituem-se hoje em unidade de planejamento do espaço territorial entre outras para os estudos de macrozoneamento ambiental e de zoneamento ecológico - econômico, de grande aplicação atual e, portanto, de expressiva relevância no estudo do meio ambiente.

Dessa forma, ganharia importância o entendimento da classificação e das propriedades quantitativas e qualitativas de padrões de drenagem, assim como o estudo dos diferentes processos envolvidos em sua formação, com vistas, principalmente, a subsidiar estudos geológicos e geomorfológicos principalmente quando se trabalha com a interpretação de produtos de sensores remotos.

Informações relevantes existentes podem ser extraídas no que concerne:

- ao desenvolvimento e evolução das formas de relevo;
- ao meio físico (coesão, massividade, heterogeneidade, porosidade, permeabilidade e solubilidade);
- à estrutura geológica;
- às propriedades físicas das rochas, facilitando sua interpretação em termos litológicos; - como indicativo de movimentos neotectônicos; - na inter-relação da estrutura geológica com as formas de relevo vislumbrando a identificação de morfoestruturas e litomorfoestruturas.

### **3.2.1 Conceitos de drenagem**

Guerra (1993) define drenagem como uma feição linear negativa produzida por água de escorrência, que modela a topografia de uma região. Por sua vez, Christofolletti

(1974) conceitua como canais de escoamento inter-relacionados que formam uma bacia. Monteiro & Silva (1979) afirmam ser um conjunto da rede hidrográfica com elementos temporários ou permanentes. Mais recentemente, Deffontaines & Chorowicz (1991) definem rede de drenagem como um conjunto de superfícies topográficas subaéreas, as quais são contíguas com pendentes ladeiras acima, em todos os lados, à exceção da direção do fluxo da água. Esse conjunto de superfícies pode ser coberto com água, temporariamente ou de forma perene.

### **3.2.2 Análise da rede de drenagem**

As anomalias representadas pelos deslocamentos dessas drenagens, quando se analisa, permite indicar a presença de fraturamentos e a movimentação ao longo de falhas.

Em regiões de relevo suave normalmente encontra-se dificuldade na observação direta dos diversos tipos de deformação. Esta situação é causada pelas coberturas recentes inconsolidadas que ocultam estruturas. O padrão de drenagem, formado pelos rios e cursos d'água menores, nos permite obter informações sobre: feições estruturais em subsuperfície (disposição espacial das camadas); direções principais das estruturas que controlam uma determinada área, indicação relativa de movimentação, etc.

Os cursos d'água principais e secundários se ajustam a qualquer mudança no comportamento estrutural. São sensíveis a qualquer movimento terrestre, pois são controlados e desviados pelas falhas e refletem geralmente o arcabouço estrutural da área. Por isso, a análise da rede de drenagem é indispensável na investigação de terrenos arrasados no estudo neotectônico.

Quando as áreas são analisadas regionalmente, a rede de drenagem é definida por padrões básicos. Estes correspondem os tipos dendrítico, paralelo, treliça, retangular, radial, anelar, multibasinal e contorcido (Howard 1967) (Figura 13).

O dendrítico é o mais comum dos padrões. Assemelha-se a uma ramificação de árvore. Desenvolve-se em áreas de baixa declividade, em rocha uniformemente erodida, de composição homogênea, como rochas sedimentares ou cristalinas não fraturadas.

O padrão paralelo é caracterizado como sendo o tipo dendrítico alongado. Indica inclinação moderada do terreno ou quando o relevo da área acompanha o declive regional.

O padrão de drenagem treliça consiste de cursos d'água principais paralelos. Os seus tributários normalmente são curtos formando ângulos quase retos ou retos com os cursos d'água principais. Associa-se a estruturação de rochas do embasamento, mas podem refletir rochas de diferentes competências. Desenvolve-se em áreas de rochas sedimentares inclinadas ou falhadas, ou em rochas de baixo grau metamórfico.

O tipo retangular geralmente observa-se em áreas fraturadas ou talhadas em ângulo reto.

O padrão radial desenvolve-se sobre áreas estruturadas como domo salino, vulcões, erosões residuais e soergimento tectônico. O padrão básico anelar é indicativo de estruturação em domos ou em bacias.

O multibasinal é o padrão de drenagem que se configura em zonas de erosão e deposição glacial, eólica, cárstica, vulcânicas recentes e em locais de deslizamento. A contorcida apresenta como característica a ausência de orientação regional.

A partir dos principais padrões básicos surgem as variações subdentritica, pinada e anastomosada (dendrítica); subparalelo e colinear (paralelo), treliça de falha, treliça de junta (treliça); e angulado (retangular) (Figuras. 14a e 14). Existem casos especiais de padrões como centrípeto, complexo, compostos, pelimpstético e distributário (Howard, 1967) (Figuras 14a e 14b).

Os desvios localizados da drenagem fornecem subsídios a respeito de estruturas que não são observadas pelo padrão da rede de drenagem. Estas anomalias são feições discordantes do padrão regional. Citam-se como anomalias de drenagem feições localizadas de longos segmentos retos, meandros abruptos ou feições *braided*, variação no alargamento de rios, depressões isoladas (lagoas e pântanos), afogamento ou alargamento de canais e curvas anômalas de rios. Além destas anomalias, acrescenta-se a ocorrência restrita dos padrões radial, anelar, paralelo inseridos no padrão dendrítico e meandramentos compridos (Howard, 1967). As anomalias podem estar associadas a neotectonismo (Schumm, 1986; Howard *op. cit.*).

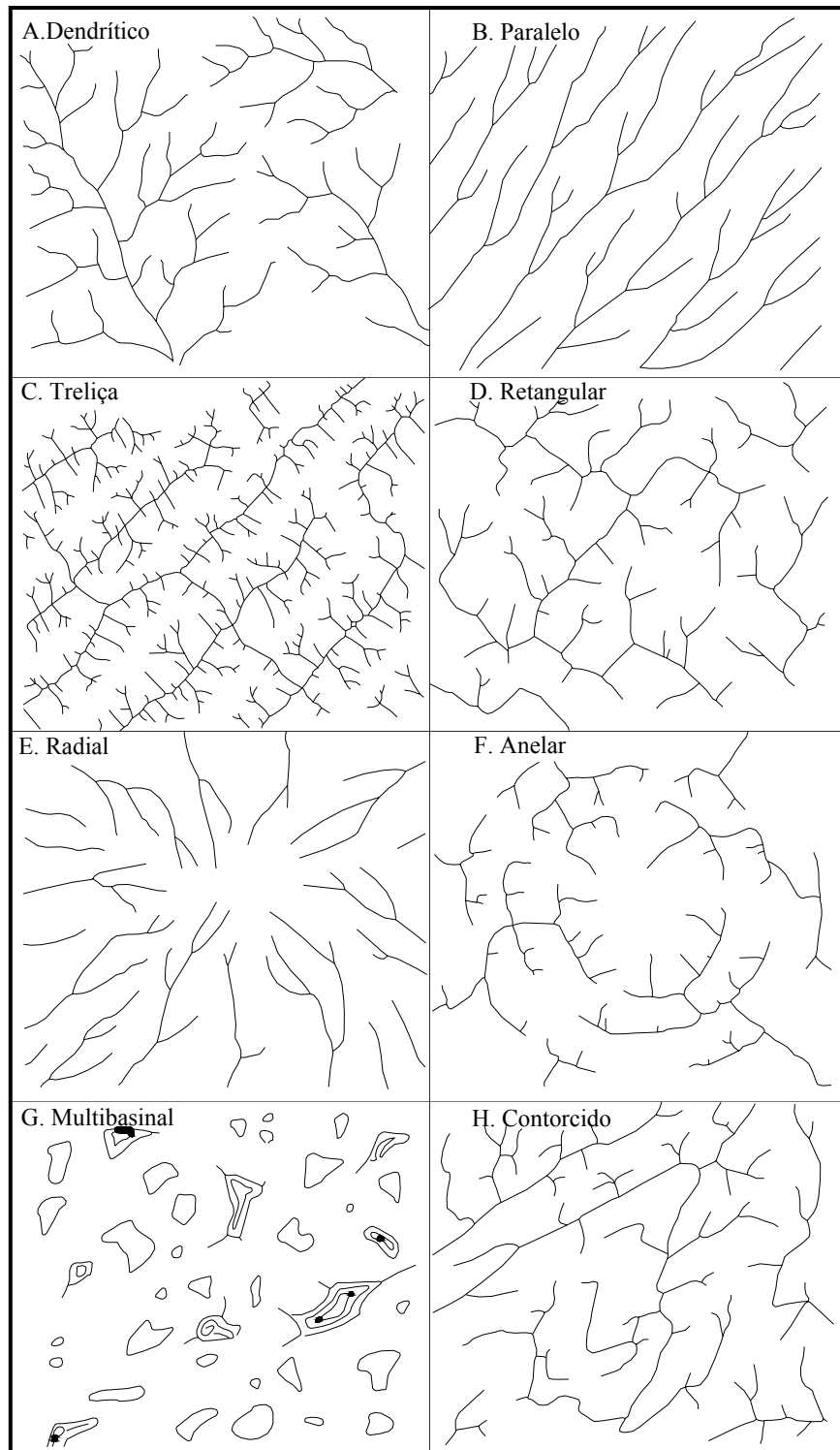


Figura 13 - A rede de drenagem a definida pelos padrões básicos do tipo: A, dendritico, paralelo B, treliça C, retangular D, radial E, anelar F, multibassinal G e contorcido H. Fonte: (Howard 1967).

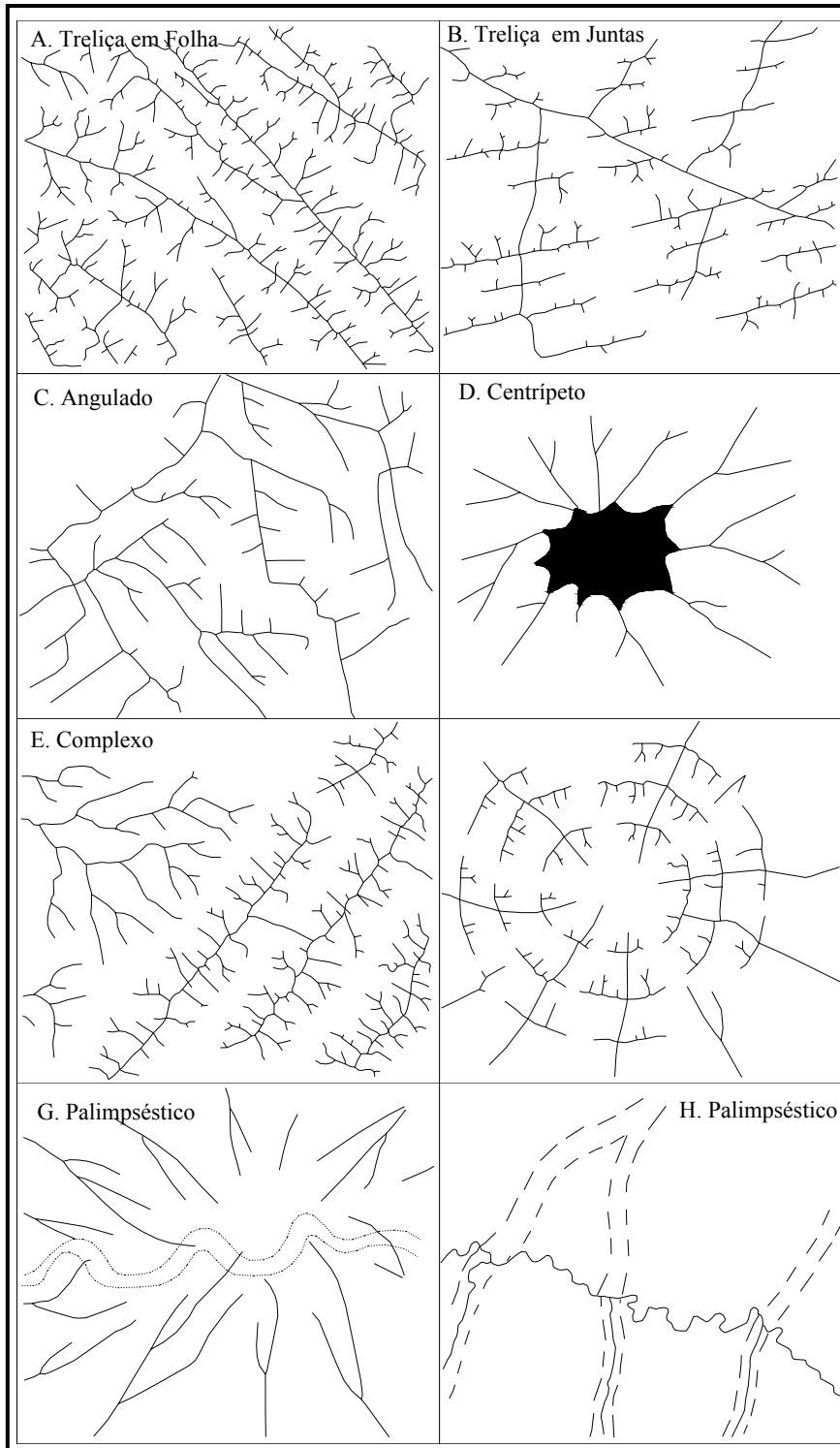


Figura 14 - ,a) Variações dos padrões básicos: a) treliça de falha A, treliça de junta B, angulado C, centrípeto D, complexo E, compostos F, palimpséstico G e H. (Howard, 1967).

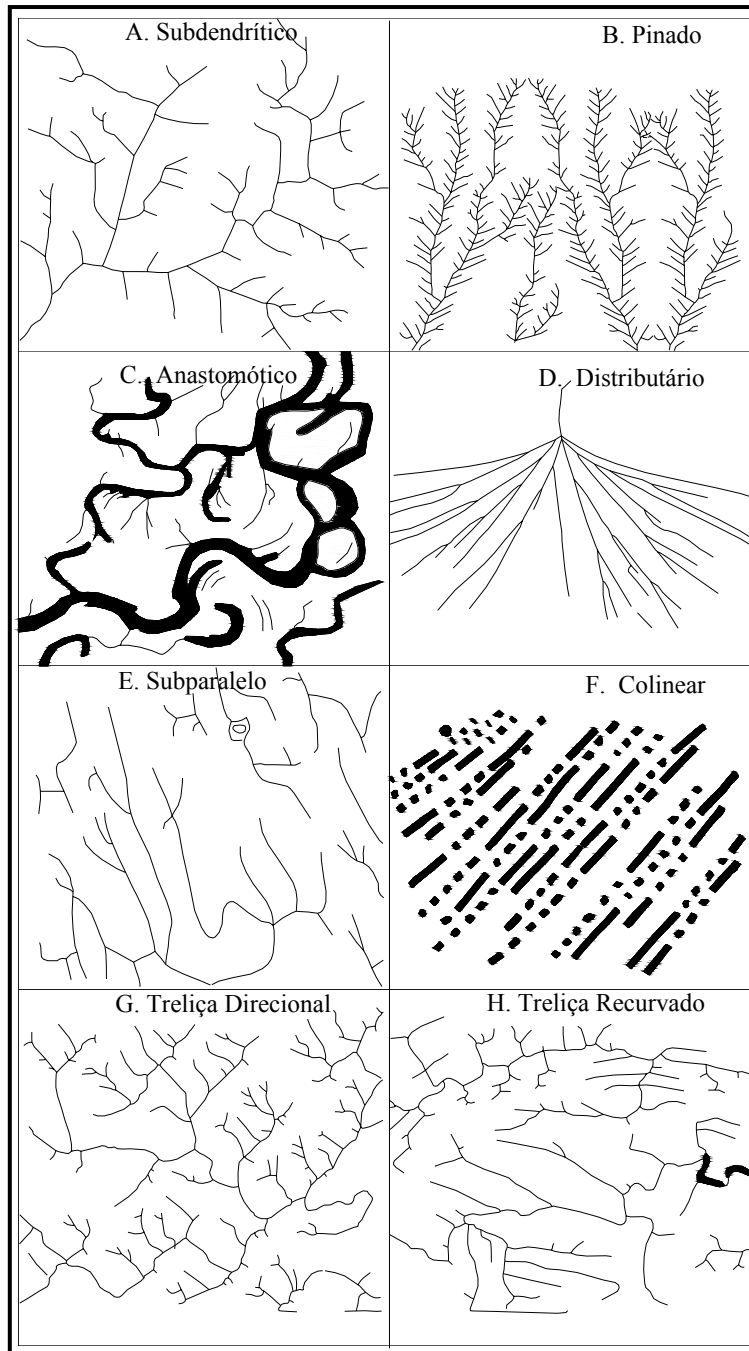


Figura 14 - b) subdendrítico A, pinado B, anostomódico C, distributário D, subparalelo E, colinear F, treliza direcional G e treliza recurvada H (Howard, 1967).



Qualquer mudança na estabilidade dos canais resulta na modificação da forma do rio. A retilinearidade de um rio pode ser modificada seqüencialmente para meandrante, tornando-o sinuoso, ao *braided* pelo simples aumento do gradiente topográfico (Schumm, 1986).

As relações gradiente e forma de canal foram experimentalmente estudadas por Ouchi (1985). Situação de soerguimento mostrou que o tipo *braided* não apresentou mudança de forma, mas sim a formação de terraços pela erosão a montante (degradação) e acúmulo de sedimentos a jusante (agração). No caso da subsidência, a montante, onde o declive é mais íngreme, ocorreu degradação, conseqüentemente agradação a jusante (Figura 15).

No tipo meandrante, o soerguimento provocou aumento da sinuosidade na região abaixo (jusante) onde ocorreu a deformação. Na subsidência, a posição da sinuosidade inverteu, surgindo na região acima, com degradação a montante e agradação na região em subsidência (Figura 16).

Portanto, as mudanças bruscas de uma forma de rio a outra está vinculado à variação do gradiente do terreno, ocasionado por subsidência ou soerguimento, cujo aumento da inclinação do canal gera-se meandros, enquanto o decréscimo forma-se rios retilíneos (Schumm *op.cit.*, Ouchi *op. cit.*)

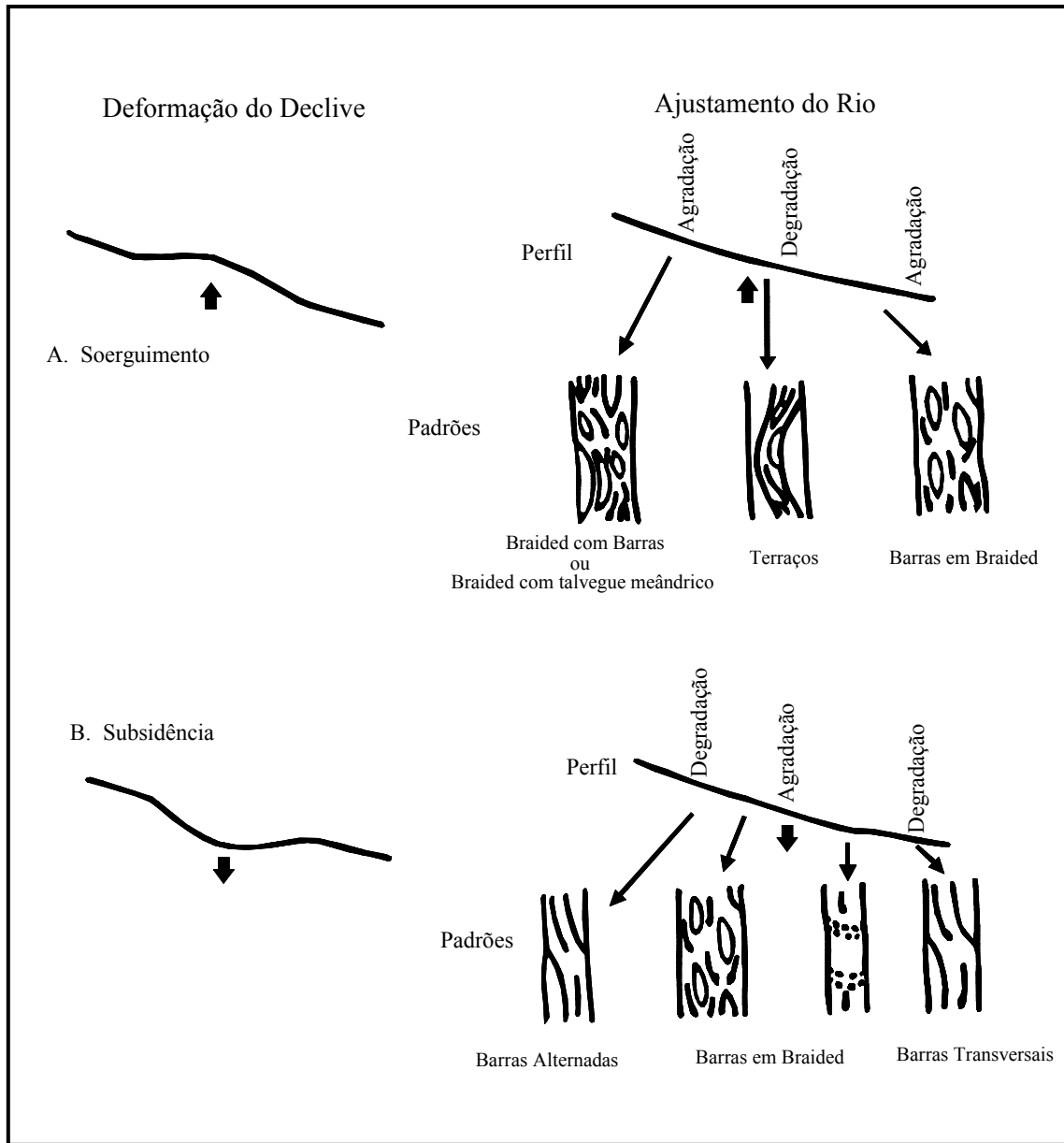
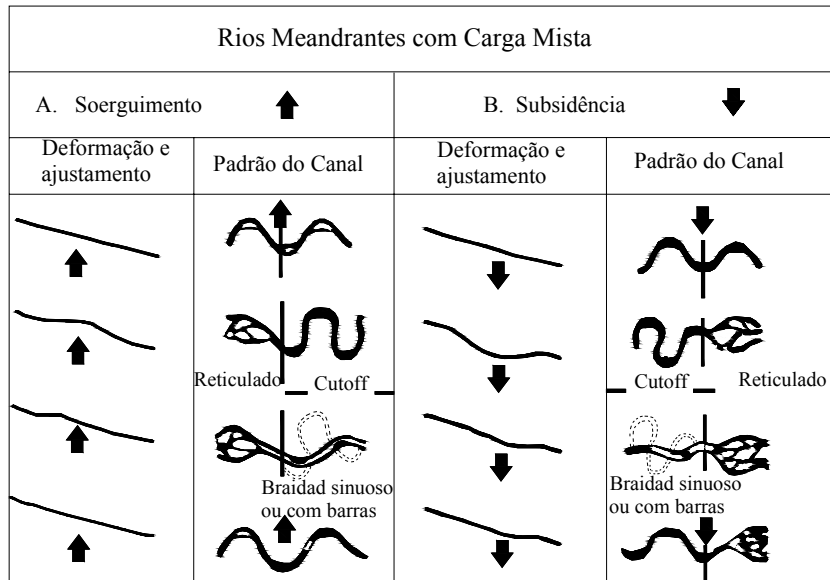
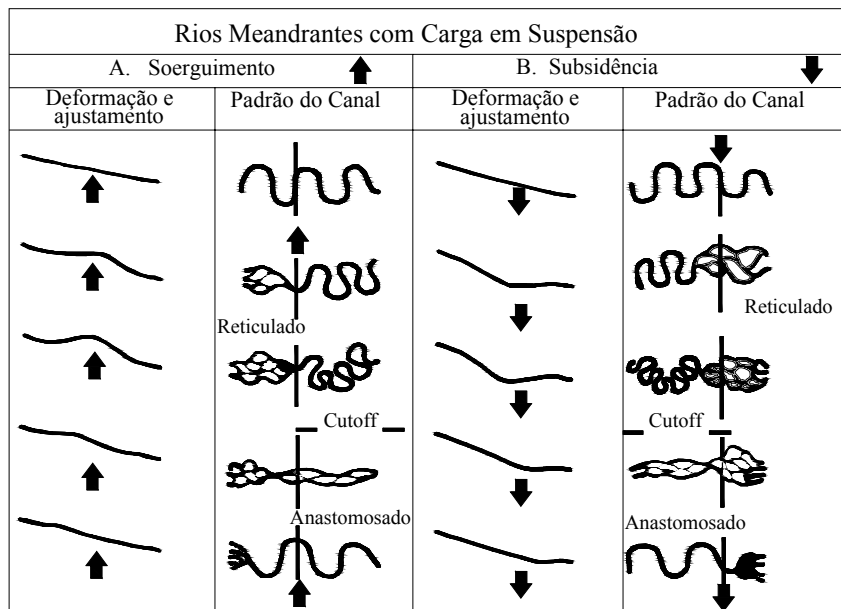


Figura 15 - Desenho esquemático do comportamento do canal do tipo braided a situações de: A) soerguimento – a montante ocorre degradação e a jusante aggradação; B) subsidência – a montante ocorre degradação e a jusante aggradação (Ouchi, 1985). A seta indica o local da deformação



A



B

Figura 16 - Desenho esquemático do comportamento do canal do tipo meandrante (com carga em suspensão e carga mista) a situações de: soerguimento – ocorre aumento da sinusiosidade a jusante da região soerguida (A e B); subsidencia – ocorre aumento da sinusiosidade a montante da região em subsidencia (A e B) (Ouchi 1985).

### 3.3 GEOPROCESSAMENTO – SIG

O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial. Oferecem ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro, geólogo) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, inter-relacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum – a localização geográfica. Para que isto seja possível, a geometria e os atributos dos dados num SIG devem estar georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica. O requisito de armazenar a geometria dos objetos geográficos e de seus atributos representa uma dualidade básica para SIGs. Para cada objeto geográfico, o SIG necessita armazenar seus atributos e as várias representações gráficas associadas. Para esclarecer ainda mais o assunto, apresentam-se a seguir algumas definições de SIG:

- *“Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real” (Burrough, 1986);*
- *“Um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais” (Smith et al., 1987);*
- *“Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas” (Cowen, 1988);*
- *“Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados” (Aronoff, 1989).*

Estas definições de SIG refletem, cada uma a sua maneira, a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia e apontam para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. A partir destes conceitos, é possível indicar as principais características de SIGs:

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

## Estrutura de um SIG

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

1. Interface com usuário;
2. Entrada e integração de dados;
3. Funções de consulta e análise espacial;
4. Visualização e plotagem;
5. Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

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

De uma forma geral, as funções de processamento de um SIG operam sobre dados em uma área de trabalho em memória principal. A ligação entre os dados geográficos e as funções de processamento do SIG é feita por mecanismos de seleção e consulta que definem restrições sobre o conjunto de dados. Exemplos ilustrativos de modos de seleção de dados são:

1. "Recupere os dados relativos à área de trabalho" (*restrição por definição de região de interesse*); "Recupere os poços com profundidades entre 100 e 300 m de profundidade" (*consulta por atributos não-espaciais*).
2. "Mostre os poços de abastecimento num raio de 5 km de um determinado usuário de do bairro do Bengui" (*consulta com restrições espaciais*).

A Figura 17 indica o relacionamento dos principais componentes ou subsistemas de um SIG. Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades, implementa estes componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados devem estar presentes num SIG.

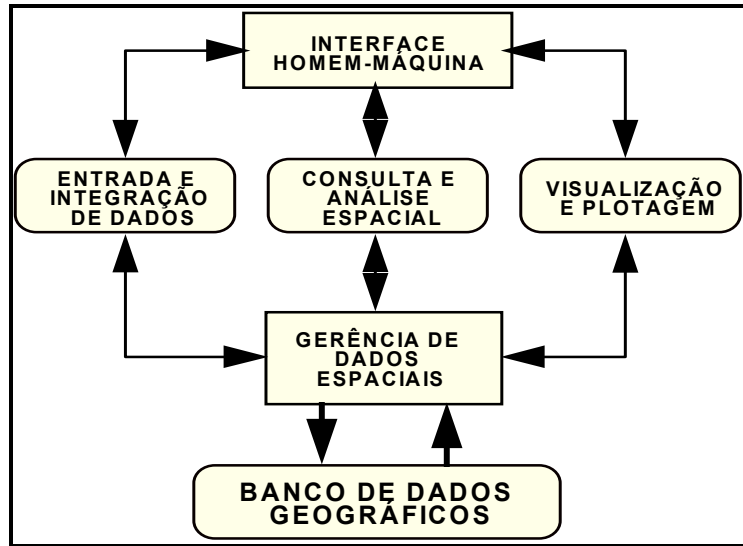


Figura 17 - Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. Fonte: Câmara & Medeiros (1998)

### 3.3.1 Modelagem de Dados Geográficos

Para entender o processo de traduzir o mundo real para o ambiente computacional, uma das abordagens mais úteis é a chamado “paradigma dos quatro universos” (Gomes & Velho, 1995), que distingue (veja Figura 3.3.2):

1. **universo do mundo real**, que inclui as entidades da realidade a serem modeladas no sistema;
2. **universo matemático** (conceitual), que inclui uma definição matemática (formal) das entidades a serem representadas;
3. **universo de representação**, onde as diversas entidades formais são mapeadas para representações geométricas e alfanuméricas no computador;
4. **universo de implementação**, onde as estruturas de dados e algoritmos são escolhidos, baseados em considerações como desempenho, capacidade do equipamento e tamanho da massa de dados. É neste nível que acontece a codificação.

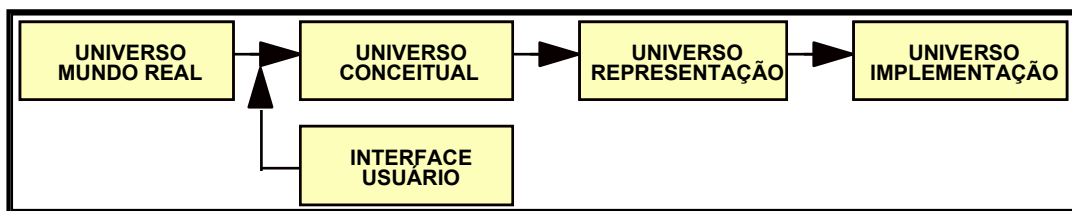


Figura 18 - Modelagem segundo o paradigma dos quatro universos Fonte: Câmara et al, (1998)

A visão apresentada não se limita a sistemas de geoprocessamento, mas representa uma perspectiva unificadora aos problemas de computação gráfica e processamento de Imagens. Sua aplicação ao problema de geoprocessamento é particularmente apropriada pois permite equacionar os problemas da área, como se pode constatar:

1. **no universo do mundo real** encontram-se os fenômenos a serem representados (geologia, geomorfologia, rede de drenagem, cadastro urbano e rural, dados geofísicos e topográficos);
2. **no universo conceitual** (matemático) pode-se distinguir entre as grandes classes formais de dados geográficos (dados contínuos e objetos individualizáveis) e especializar estas classes nos tipos de dados geográficos utilizados comumente (dados temáticos e cadastrais, modelos numéricos de terreno, dados de sensoriamento remoto);
3. **no universo de representação** as entidades formais definidas no universo conceitual são associadas a diferentes representações geométricas, que podem variar conforme a escala e a projeção cartográfica escolhida e a época de aquisição do dado. Aqui se distingue entre as representações matricial e vetorial, que podem ainda ser especializadas;
4. **universo de implementação** é onde ocorre a realização do modelo de dados através de linguagens de programação para implementar as geometrias do universo de representação;

Com base nesta visão, as dicotomias tradicionais de geoprocessamento (campos-objetos e matricial-vetorial) podem ser resolvidas, mostrando-se que elas se encontram em níveis distintos de abstração.

Esta análise também indica que a interface de usuário de um SIG deve, tanto quanto possível, refletir o universo conceitual e esconder detalhes dos universos de representação e implementação. No nível conceitual, o usuário lida com conceitos mais próximos de sua realidade e minimiza a complexidade envolvida nos diferentes tipos de representação geométrica.

## **4 A ÁREA DE ESTUDO**

As características físicas gerais da área de estudo constituem os condicionantes geo-ambientais de relevância para embasar todo o estudo que se seguirá. Serão apresentados nesse item os principais elementos do meio físico da RMB, os quais do podem ser tomados como representativos de toda a área de estudo.

### **4.1 CLIMA**

A RMB e adjacências, localizadas no nordeste do Estado do Pará, possuem altitudes variando desde ao baixo do nível médio do mar (regiões de baixadas) até os 60m de altitude em alguns poucos locais. Apresenta dois aspectos importantes do ponto de vista climático: baixa latitude (1° 28' 3" S) e proximidade com o litoral.

Segundo Oliveira & Souza (1997), por sua posição geográfica, a RMB, pela classificação de Koppen, pertence a categoria climática “equatorial úmido” do tipo Af.

As características principais do clima são: altas temperaturas (sempre acima de 26 °C), ventos de baixa velocidade intercalados com freqüentes momentos de calmaria, altos índices de umidade relativa do ar e precipitação abundante, com totais oscilando entre 2.800 e 3.150 mm anuais.

A umidade relativa da RMB reflete uma grande influência do fator térmico, com a variação média interanual oscilando entre 81,8 a 91%, com uma média anual de 86%. Por essa razão a região se apresenta bastante úmida, o que causa grande desconforto ambiental.

A área é submetida a um total de brilho solar de cerca de 35% a 60%, onde a insolação apresenta grande relação com o elemento hídrico.

A nebulosidade é bastante elevada, com variação média interanual de 6,6 a 6,8 décimos (Oliveira & Souza, 1997).

Outro aspecto importante na determinação das condições climáticas locais é a velocidade e direção do vento. Segundo dados do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura (normais climatológicas de 1931/1960) as maiores freqüências anuais dos ventos na área são de Nordeste (29%), Norte (10%) e Leste (9%). A freqüências das demais



direções é insignificante. A velocidade média fica entre 2,6 e 2,9 m/s e a calmaria é de 45% nos 12 meses.

Em decorrência da baixa latitude, os raios solares percorrem um plano praticamente vertical durante todo o ano, resultando numa carga térmica elevada. Neste contexto a temperatura é o elemento do clima que mais se altera com a ocupação urbana e mostra íntima relação com as características da superfície.

Estudos realizados por Oliveira & Souza (1997) mostraram que as características climáticas da RMB, no período de 1896 a 1995, apresentaram a temperatura do ar com valores médios anuais de 25,8° C e as médias de temperatura máxima e mínima alcançaram valores de 31,50 °C e de 22 °C, respectivamente.

Estudos realizados sobre o clima da RMB e seus arredores demonstram que 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 a própria influência da forma urbana sobre eles.

Oliveira et al. (1995), através de comparações de duas áreas com e sem urbanização, constataram que no ambiente 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 urbanizada ocorre uma certa atenuação considerável de radiação solar.

As relações entre as alterações climáticas com os processos de urbanização são bem conhecidas. Essas alterações resultam do rápido e desordenado crescimento populacional dos grandes centros urbanos, tendo como atrativos a busca de trabalho, saúde, educação, e outros serviços. Com isso, as áreas ocupadas têm as suas coberturas naturais modificadas por diversos tipos de construções prediais e solos pavimentados, cuja consequência imediata é um aumento da temperatura causada por alterações no balanço radiativo, na circulação do ar e na taxa de evaporação, gerando assim um clima urbano específico (Costa & Martins, 1996).

## Balanço Hídrico e Classificação Climática

No sentido de entender o papel representado pelo clima na matriz dos recursos hídricos da região estudada, Matta (2002) calculou o balanço hídrico da RMB e, conseqüentemente, sua classificação climática, com base nos dados apresentados por Moraes (1999).

O cálculo do balanço hídrico para a região foi realizado, fundamentado na aplicação do princípio de conservação da massa de água, para um dado local ou área. Utilizou-se o balanço hídrico proposto por Thornthwaite & Mather (1955) onde, além da obtenção da classificação climática, pode-se ter o comportamento da entrada e saída da água no solo.

Thornthwaite & Mather (1955) utilizaram a precipitação, a temperatura e a evaporação potencial como elementos básicos da classificação do clima, e usaram, também, a capacidade de campo (capacidade máxima de armazenamento de água no solo) para o cálculo do balanço.

A Tabela 2 mostra o balanço hídrico do período de 1961 a 1997, calculado para a cidade de Belém-PA, e que pode ser extrapolado para a região no entorno.

Esse balanço considera a reserva hídrica (RH) no solo de 125 mm e utilizou os dados médios da estação meteorológica de Belém, no período de 1961 a 1997 (INMET, 1998). Utilizou os parâmetros climáticos e, na sua determinação, os valores médios mensais da temperatura ( $T^{\circ}\text{C}$ ) e da pluviometria (P), obtidas na estação meteorológica. A evapotranspiração potencial (EP), foi obtida através do produto da (TAB) Quadro da evapotranspiração potencial mensal não corrigida.

Tabela 2 - Balanço Hídrico segundo Thornthwaite, região de Belém – período (1961 a 1997) Fonte: Moraes (1999).

Balanço Hídrico segundo Thornthwaite										
Fonte: INMET			Local: Belém			Retenção Hídrica : 125 mm				
Latitude: 01° 27' S			Longitude: 48° 28' W			Período: 1961 a 1997				
Meses		ETP		P - ETP	EG	ARN	ALT	ETR	DEF	EXC
JAN	25,6	119	370	251		125	0	119		251
FEV	25,5	117	419	302		125	0	117		302
MAR	25,6	119	442	323		125	0	119	0	323
ABR	25,8	122	374	252	0	125	0	122	0	252
MAI	26,6	125	303	178	0	125	0	125	0	178
JUN	26,6	125	145	20	0	125	0	125	0	20
JUL	25,9	123	146	23	0	125	0	123		23
AGO	26,1	127	130	3	0	125	0	127	0	3
SET	26,2	129	131	2	0	125	0	129	0	2
OUT	26,5	134	116	-18	-18	108	-17	133	1	0
NOV	26,5	135	119	-16	34	94	-14	133	2	0
DEZ	26,2	130	219	89	0	125	31	130	0	58
ANNUAL	26	1505	2914	1409				1502	3	1412

- 1 Coluna 1 - Meses do Ano;
- 2 Coluna 2 - Temperatura Média do Período (T°C);
- 3 Coluna 3 - Evapotranspiração Potencial: Máxima perda de água na forma de vapor para atmosfera através de uma superfície de água (ETP);
- 4 Coluna 4 - Precipitação Pluviais em mm (P);
- 5 Coluna 5 - Saldo entre Precipitação e Evapotranspiração, podendo ser negativo
  - 5.1.1 ou positivo (P-ETP);
- 6 Coluna 6 - Armazenamento da água disponível (ARN);
- 7 Coluna 7 - Alteração dos valores da coluna 8 (ALT);
- 8 Coluna 8 - Evapotranspiração Real: Máxima perda de água na forma de vapor, para
  - 8.1.1 a atmosfera, que ocorre com uma vegetação em crescimento (ETR);
- 9 Coluna 9 - Deficiência da água: no solo em mm (DEF);
- 10 Coluna 10 - Excedente de água no solo em mm (EXC)

Para que se evite erros no resultado final dos valores, são necessárias algumas aferições no cálculo, englobando os seguintes parâmetros:

- |                                 |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| 1. deficiência anual de umidade | ⇒ DEF = 3 mm    |
| 2. evapotranspiração real anual | ⇒ ETR = 1502 mm |
| 3. excesso de água              | ⇒ EXC = 1412 mm |
| 4. índice de umidade            | ⇒ IH = 93,8     |
| 5. índice de aridez             | ⇒ IA = 0.2      |
| índice de pluviosidade          | ⇒ IM = 93,7     |

A diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial (P-ETP) mostra valor “positivo”, isso demonstra que o valor da evapotranspiração potencial se aproxima daquele da evaporação real, significando que a quantidade de água que realmente volta para a atmosfera sob forma de vapor (ETR) é igual ou aproxima-se da quantidade de água que sai da atmosfera também sob a forma de vapor.

Durante o período de janeiro a setembro, a deficiência (DEF) de água no solo é zero, tendo uma mínima contribuição durante os últimos meses do ano (outubro a dezembro).

O excedente (EXC), ao contrário da deficiência (DEF), apresenta valores superiores de janeiro a maio, quando ocorrem as maiores precipitações na região, diminuindo depois até o mês de setembro. Os meses de outubro e novembro apresentam excedência zero, e a partir de dezembro volta a crescer a quantidade de água no solo.

A Figura 19 apresenta a representação gráfica do balanço hídrico calculado para a RMB, relacionando-se pluviosidade, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real, visualizando-se as áreas onde estão ocorrendo excedente, retirada e deficiência.

No período de janeiro ao final de junho, o solo apresenta um excedente de água. De julho a novembro ocorre uma deficiência hídrica. A partir de novembro haverá uma reposição, e daí até dezembro um excedente, retornando novamente o ciclo.

A Figura 20 apresenta o comportamento das linhas de P, DEF e EXC, para o mesmo período do balanço hídrico calculado. Pode-se verificar que, durante o período de janeiro a junho, o comportamento da linha de excedência é semelhante a da precipitação e isso é devido ao grande volume de água durante esse período. A deficiência, por sua vez, permanece sempre zero. De junho a novembro o comportamento da linha de EXC e DEF é semelhante, percebendo-se apenas uma pequena variação durante junho a agosto, quando o volume de água diminui. A partir de novembro até dezembro P e EXC voltam a apresentar o mesmo comportamento.

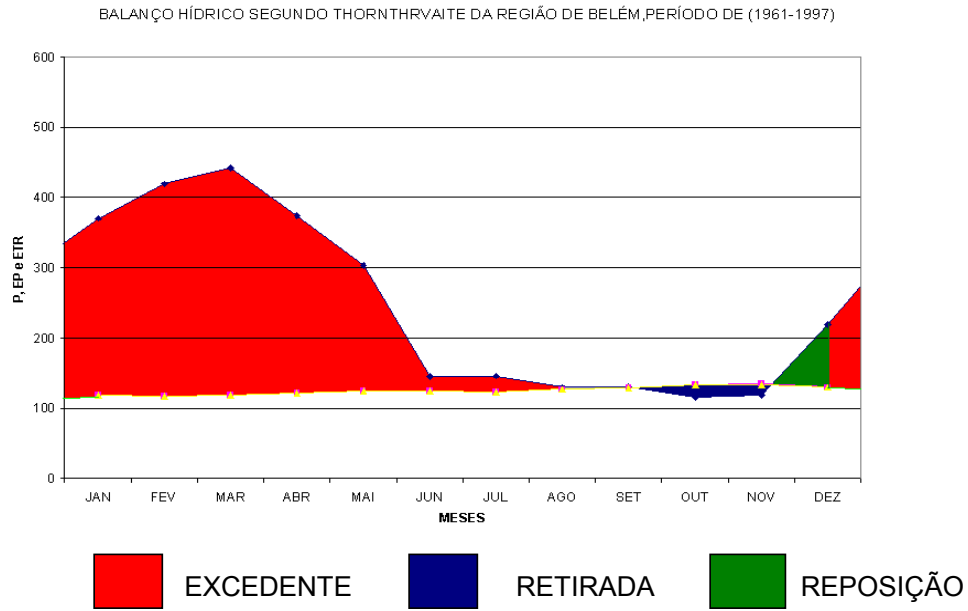


Figura 19 - Balanço Hídrico para a Região de Belém (1961-1997) Fonte: Moraes (1999)

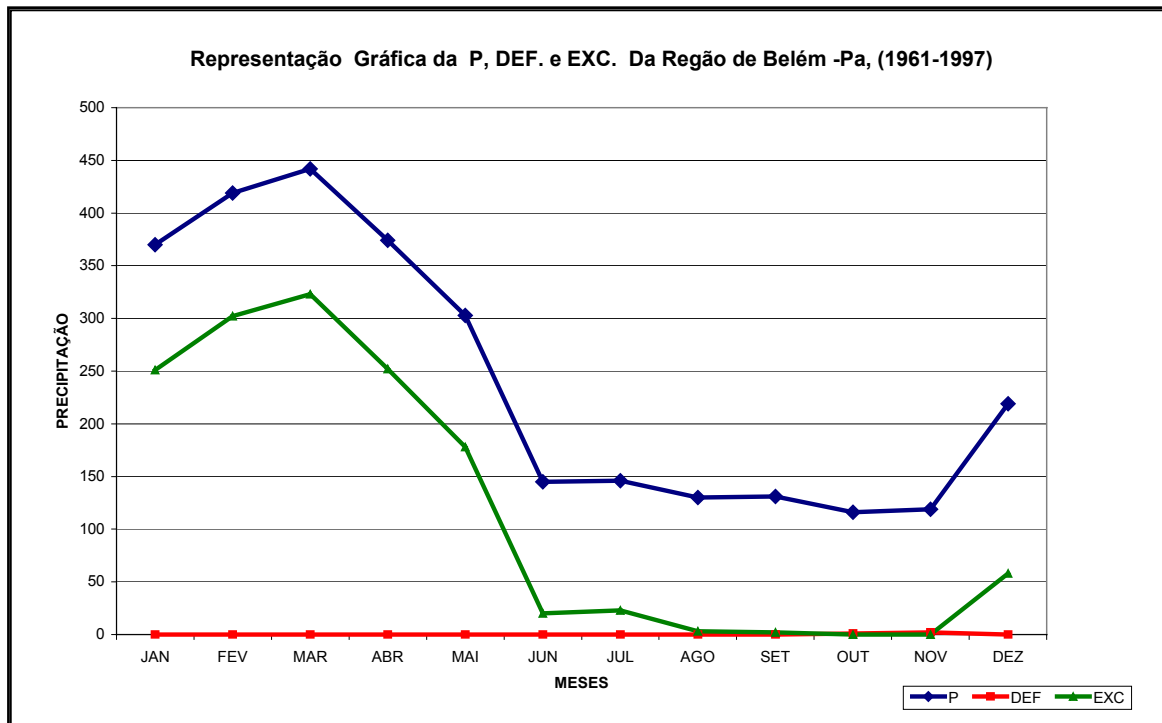


Figura 20 - Representação gráfica das linhas P, DEF, e EXC para a região de Belém (1961-1997) Fonte: Moraes (1999)

A principal implicação com relação à deficiência hídrica faz relação direta com a recarga dos aquíferos, principalmente os superficiais, como se pode observar o período mais crítico entre os meses de julho a novembro, pode ocorrer uma inversão no vetor de recarga, visto que segundo Oliveira *et al.* (2002) no período de excedente hídrico o fluxo subterrâneo apresenta sentido do vetor gradiente do continente para as drenagens. O movimento de recarga pode ocorrer tanto lateral quanto verticalmente, o que implica na possibilidade de que no período seco essa migração vertical seja um vetor de contaminação desses aquíferos.

Ainda não foi realizado um trabalho que pudesse acompanhar a variação sazonal do fluxo subterrâneo, sendo que o trabalho de Moraes (1999) mostra que há uma grande variação no nível estático dos poços monitorados durante um ciclo sazonal, neste trabalho não foi possível confeccionar um mapa de fluxo subterrâneo por causa da quantidade e da distribuição espacial dos poços.

#### **4.1.1 Classificação Climática**

A classificação climática de uma dada região é o resultado das diferentes combinações dos processos atmosféricos, ocasionando uma gama de variações de tipos climáticos.

Através do balanço hídrico foi definida a classificação climática para a área da RMB, como sendo o sub-tipo B4r`A`a. Isso significa que o clima é do tipo úmido (B4), apresenta pequena ou nenhuma deficiência de água (r), índice de deficiência térmica do tipo megatérmico (`A), sub-tipo climático `a e a percentagem de evaporação de verão é menor que 48%. Essa percentagem para a região de Belém também pode ser chamada de percentagem de evaporação da época menos chuvosa ou mais seca.

A Figura 21 mostra a posição de Belém dentro da classificação climática em nível mais regional segundo dados do INMET.

### 4.1.2 Precipitação

A precipitação nas regiões equatoriais é um dos elementos meteorológicos que melhor define o clima. Na região de Belém e adjacências, a precipitação apresenta valores médios anuais de 2 761,6 mm e 2 892,7 mm (Tabelas 3 e 4), representativa de 60 anos, segundo as séries climatológicas dos períodos de 1931–1960, e 1961–1990, respectivamente (INMET, 1998).

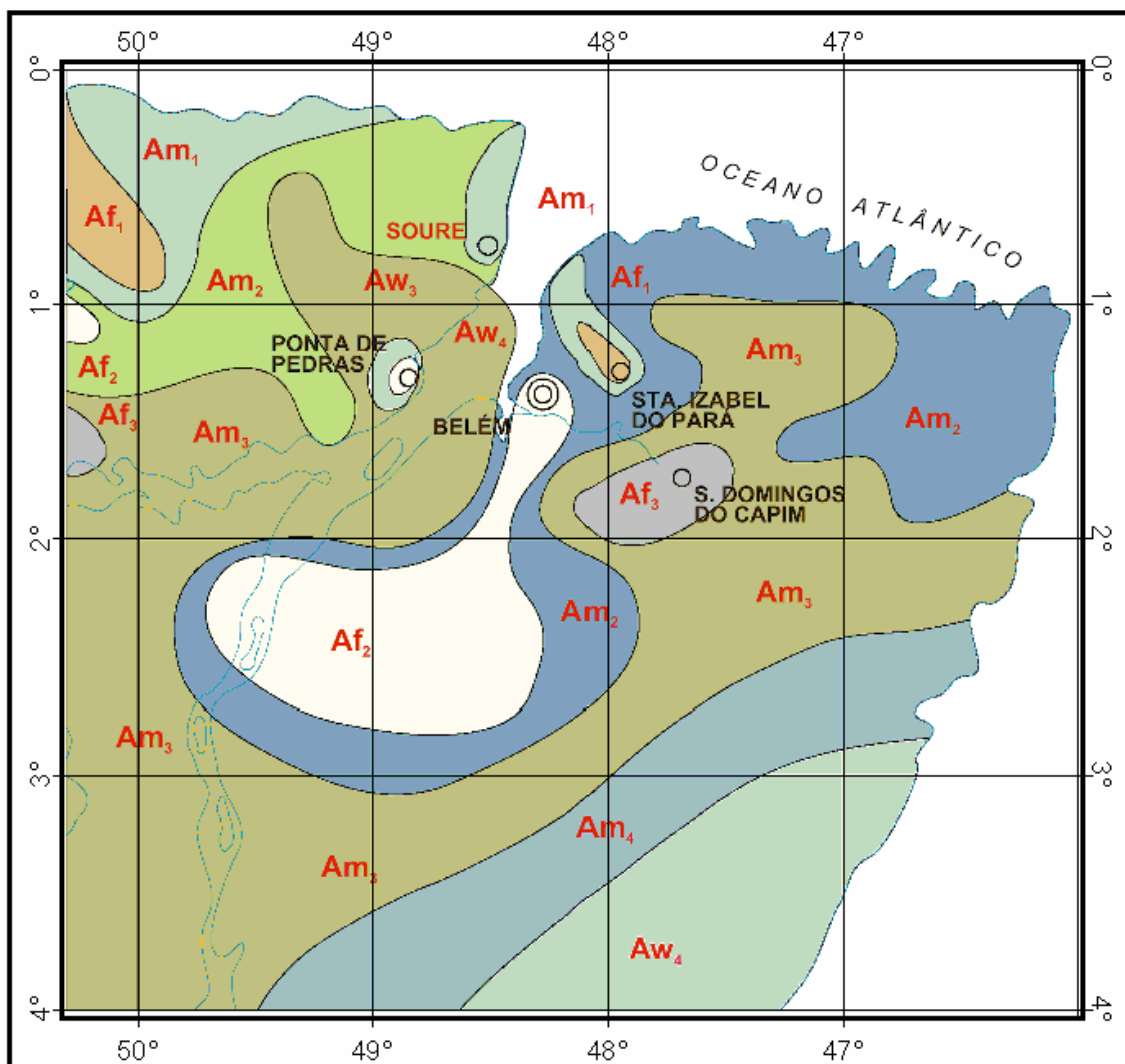


Figura 21 - A Região de Belém no Contexto da Classificação Climática Regional: PEHRMB -2003

Tabela 3 – Estação Belém - Série Climatológica – 1931 – 1960 Fonte: MORAES (1999)

MESES	TEMPERATUR A MÉDIA (°C)	TEMPERATURA MÁXIMA MÉDIA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA MÉDIA (°C)	PRECIP. (mm)	MAX. PREC.EM 24 Hs (mm)	PRES. ATM. MÉD NVL DA EST.(HPA)	mid. Rel. do Ar(%)	INSOL.MÉD Hs e DEC.	EB. MED. DÉC.
<b>JAN</b>	<b>25,6</b>	<b>31,0</b>	<b>22,6</b>	<b>318,1</b>	<b>78,2</b>	<b>1008,5</b>	<b>88,8</b>	<b>156,6</b>	<b>7,7</b>
<b>FEV</b>	<b>25,5</b>	<b>30,4</b>	<b>22,7</b>	<b>407,1</b>	<b>118,2</b>	<b>1008,8</b>	<b>90,7</b>	<b>112,3</b>	<b>8,3</b>
<b>MAR</b>	<b>25,4</b>	<b>30,0</b>	<b>22,8</b>	<b>436,1</b>	<b>102,1</b>	<b>1008,8</b>	<b>90,7</b>	<b>102,2</b>	<b>8,6</b>
<b>ABR</b>	<b>25,7</b>	<b>30,8</b>	<b>23,0</b>	<b>381,9</b>	<b>101,1</b>	<b>1009,1</b>	<b>90,4</b>	<b>131,5</b>	<b>8,2</b>
<b>MAI</b>	<b>26,0</b>	<b>31,4</b>	<b>22,9</b>	<b>264,5</b>	<b>125,6</b>	<b>1009,4</b>	<b>87,2</b>	<b>195,8</b>	<b>7,4</b>
<b>JUN</b>	<b>26,0</b>	<b>31,4</b>	<b>22,5</b>	<b>164,7</b>	<b>63,0</b>	<b>1010,6</b>	<b>84,5</b>	<b>239,5</b>	<b>6,1</b>
<b>JUL</b>	<b>25,9</b>	<b>31,7</b>	<b>22,2</b>	<b>160,9</b>	<b>102,0</b>	<b>1011,0</b>	<b>83,2</b>	<b>268,1</b>	<b>5,6</b>
<b>AGO</b>	<b>26,0</b>	<b>32,0</b>	<b>22,1</b>	<b>116,2</b>	<b>54,6</b>	<b>1010,5</b>	<b>83,4</b>	<b>267,3</b>	<b>5,2</b>
<b>SET</b>	<b>26,0</b>	<b>31,9</b>	<b>22,0</b>	<b>119,7</b>	<b>64,3</b>	<b>1009,9</b>	<b>83,8</b>	<b>235,2</b>	<b>5,6</b>
<b>OUT</b>	<b>26,2</b>	<b>32,0</b>	<b>22,0</b>	<b>104,6</b>	<b>64,3</b>	<b>1009,2</b>	<b>82,8</b>	<b>247</b>	<b>5,5</b>
<b>NOV</b>	<b>26,5</b>	<b>32,2</b>	<b>22,1</b>	<b>90,3</b>	<b>96,4</b>	<b>1008,2</b>	<b>81,8</b>	<b>220,7</b>	<b>6,0</b>
<b>DEZ</b>	<b>26,3</b>	<b>31,8</b>	<b>22,4</b>	<b>197,3</b>	<b>84,6</b>	<b>1008,0</b>	<b>84,9</b>	<b>213,2</b>	<b>6,8</b>
<b>MED. ANUAL</b>	<b>25,9</b>	<b>31,4</b>	<b>22,4</b>	<b>2761,6</b>	<b>125,6</b>	<b>1010,1</b>	<b>86,0</b>	<b>2389,40</b>	<b>6,8</b>

Fonte : Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura, Normal Climatológica ( 1931 - 1960)

Estação: Belém. LAT. 01 27 S e LONG. 48 25 W. ALT. 10,9 M



Tabela 4 – Estação Belém - Série Climatológica – 1961 – 1990 Fonte: MORAES (1999)

<b>MESES</b>	<b>TEMPERATURA MÉDIA</b> °C	<b>TEMPERAT URA MÁXIMA MÉD(°C)</b>	<b>TEMPERATUR A MÍNIMA MÉD(°C)</b>	<b>PREC.</b> (mm)	<b>MAX. PREC.EM</b> 24 Hs (mm)	<b>PRES. ATM. MÉD</b> NVL DA EST.(HPA)	<b>Umid. Rel.</b> do Ar(%)	<b>INSOL.MÉD</b> Hs e DEC.	<b>NEB. MED.</b> DÉC.
<b>JAN</b>	<b>25,6</b>	<b>30,9</b>	<b>22,1</b>	<b>366,5</b>	<b>118,0</b>	<b>1009,5</b>	<b>86,0</b>	<b>135,5</b>	<b>7,3</b>
<b>FEV</b>	<b>25,5</b>	<b>30,5</b>	<b>22,2</b>	<b>417,5</b>	<b>117,4</b>	<b>1009,7</b>	<b>91,0</b>	<b>99,0</b>	<b>8,1</b>
<b>MAR</b>	<b>25,5</b>	<b>30,4</b>	<b>22,4</b>	<b>436,2</b>	<b>136,9</b>	<b>1009,8</b>	<b>91,0</b>	<b>103,7</b>	<b>8,0</b>
<b>ABR</b>	<b>25,7</b>	<b>30,8</b>	<b>21,8</b>	<b>360,0</b>	<b>112,8</b>	<b>1009,8</b>	<b>91,0</b>	<b>121,8</b>	<b>7,9</b>
<b>MAI</b>	<b>25,9</b>	<b>31,3</b>	<b>22,6</b>	<b>304,0</b>	<b>103,5</b>	<b>1010,3</b>	<b>88,0</b>	<b>186,9</b>	<b>7,1</b>
<b>JUN</b>	<b>25,9</b>	<b>31,7</b>	<b>22,1</b>	<b>140,2</b>	<b>85,4</b>	<b>1011,2</b>	<b>86,0</b>	<b>225,4</b>	<b>6,0</b>
<b>JUL</b>	<b>25,8</b>	<b>31,7</b>	<b>21,7</b>	<b>152,1</b>	<b>111,0</b>	<b>1011,6</b>	<b>85,0</b>	<b>252,8</b>	<b>5,5</b>
<b>AGO</b>	<b>26,0</b>	<b>32,1</b>	<b>21,7</b>	<b>131,1</b>	<b>80,4</b>	<b>1011,1</b>	<b>84,0</b>	<b>255,8</b>	<b>5,3</b>
<b>SET</b>	<b>26,1</b>	<b>32,1</b>	<b>21,7</b>	<b>140,8</b>	<b>67,4</b>	<b>1010,7</b>	<b>84,0</b>	<b>228,3</b>	<b>5,8</b>
<b>OUT</b>	<b>26,4</b>	<b>32,2</b>	<b>21,6</b>	<b>116,1</b>	<b>65,4</b>	<b>1009,9</b>	<b>83,0</b>	<b>228,3</b>	<b>5,9</b>
<b>NOV</b>	<b>26,4</b>	<b>32,3</b>	<b>21,9</b>	<b>111,8</b>	<b>68,4</b>	<b>1009,2</b>	<b>83,0</b>	<b>203,3</b>	<b>6,5</b>
<b>DEZ</b>	<b>26,1</b>	<b>31,9</b>	<b>22,0</b>	<b>216,4</b>	<b>121,4</b>	<b>1009,3</b>	<b>86,0</b>	<b>179,0</b>	<b>6,6</b>
<b>MED. ANUAL</b>	<b>25,9</b>	<b>31,4</b>	<b>21,9</b>	<b>2892,7</b>	<b>*****</b>	<b>1010,2</b>	<b>86,5</b>	<b>184,90</b>	<b>6,6</b>

Fonte : Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura.

Normal Climatológica (1961 - 1990)

Estação: Belém. LAT. 01 27 S e LONG. 48 25 W. ALT. 10,9 M

Nechet (1984) mostrou que na variabilidade diurna da precipitação para um período de 28 anos (1963 - 1990), a maior percentagem de ocorrência do evento se dá a tarde e/ou início da noite, sendo que em junho e julho os picos ocorrem no início da noite entre 19:00 e 21:00 horas.

Moraes (1999), num estudo de 68 anos (1931 a 1998), mostrou o quanto a precipitação oscila em torno de sua média, caracterizando uma amplitude anual de 1.655,5 mm/ano e mensal de 324,92 mm/mês, tendo o desvio padrão de 15,43% e variância anual de 238,08mm/mês.

## **4.2 GEOLOGIA**

A RMB e adjacências têm seu contexto geológico representado principalmente por unidades cenozóicas, estudadas em afloramentos naturais e através de perfis litoestratigráficos de poços tubulares construídos na região.

Fazem parte desse contexto, a Formação Pirabas, de idade oligo-miocênica, situada na RMB a partir de uma profundidade média de 100 metros; o Grupo Barreiras, de idade mioceno-pleiocênica, que ocorre principalmente na forma de falésias nas ilhas de Caratateua e Mosqueiro; os sedimentos Pós-Barreiras e os sedimentos Holocênicos.

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE	DESCRIÇÃO SUMÁRIA
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	SEDIMENTOS MODERNOS	Areias de granulometria fina a média, marrons, intercaladas a argilas escuras, com restos vegetais, distribuídas nas orlas dos rios e igarapés.
		PLEISTOCENO	PÓS-BARREIRAS	Sedimentos inconsolidados, areno-argilosos, finos a médios, com concreções ferruginosas.
	TERCIÁRIO	MIOCENO - PLIOCENO	GRUPO BARREIRAS	<i>FÁCIES ARGILO-ARENOSA</i> Argilo-arenosas, areno-argilosas e, restritamente arenosas limpas <i>FÁCIES ARENOSA</i> Arenitos amarelados, de granulação média, mal selecionados, com grânulos e seixos subangulosos disseminados. <i>FÁCIES CONGLOMERÁTICA</i> Conglomerados polimíticos, com matriz de areia grossa, seixos mal selecionados e pouco retrabalhados
		OLIGO - MIOCENO -	FORMAÇÃO PIRABAS	<i>ECOFÁCIES CASTELO</i> calcários duros diversificados, muito comuns na forma de coquinas, biohermitos, micritos e dolmicritos <i>ECOFÁCIES CAPANEMA</i> calcários argilosos (margas), micritos e bioclastitos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos ( <i>beach rocks</i> ) <i>ECOFÁCIES BAUNILHA GRANDE</i> argilas negras com vegetais piritizados e nódulos de calcários escuros contendo no seu interior crustáceos branquimes (carcinólitos)

Figura 22 - Coluna Estratigráfica da área estudada modificada de Costa (2001)

#### 4.2.1 Formação Pirabas

A Formação Pirabas (Maury 1925) aflora descontinuamente nos Estados do Pará, Maranhão e Piauí, representando um dos melhores documentos paleontológicos do Cenozóico marinho brasileiro. A unidade é eomiocênica, litoestratigraficamente constituída por calcários de composição variável e representa um paleoambiente marinho de águas rasas e quentes com salinidade normal (Ferreira & Cunha, 1957; Petri, 1957; Ferreira, 1966; 1980, 1982; Ferreira & Francisco, 1988). O rico e variado conteúdo fóssilífero inclui espécies dos principais filos animais, sugerindo a presença de três fácies ecológicas na Formação Pirabas: Castelo, Capanema e Baunilha Grande, associadas, respectivamente, a ambientes de mar aberto, laguna e mangue (Ferreira, 1966, 1980, 1982; Ferreira & Cassab, 1985; Ferreira & Francisco, 1988). A idade eomiocênica é baseada na presença de alguns fósseis guias, como o gastrópode *Orthaulax Pugnax* (Heilprin) e algumas espécies de foraminíferos planctônicos do gênero *Globigerinoides* (Mury, 1925; Ferreira, 1967; Fernandes, 1988; Fernandes & Távora, 1990; Távora & Fernandes, 1999).

As rochas sedimentares mio-pleistocênicas do Grupo Barreiras repousam discordantemente sobre a Formação Pirabas (Francisco *et al.* 1971) e segundo Ferreira & Francisco (1988), não ocorre interdigitação entre estas unidades. Góes *et al.* (1990) reportaram com base em estruturas sedimentares palinomorfos que o contato geológico entre a Formação Pirabas e o Grupo Barreiras é interdigitado e gradual. A disposição em superfície e subsuperfície dos sedimentos pirabas sugere que a ecofácies Baunilha Grande é descontínua, e que está localizada acima da ecofácies Castelo e abaixo da Capanema (Ferreira, 1980, 1982).

Considerando o conteúdo e análise paleontológica, Góes *et al.* (1990) assinalaram que a Formação Pirabas foi depositada em uma plataforma carbonática, assim como em lagunas e em zonas intermarés com mangues. As análises litofaciológicas corroboram esta interpretação. Foram encontradas evidências de ondas de tempestade na plataforma continental, onde os subambientes de plataforma carbonática marinha rasa (ecofácies Castelo), laguna (ecofácies Capanema) e mangue (ecofácies Baunilha Grande) acham-se dispostos na forma interdigitada com sedimentação cíclica, sugerindo freqüentes oscilações do nível do mar, e litoral intensamente recortado. Subseqüente a este evento deposicional,

dominantemente transgressivo e oscilatório, predominou a sedimentação de outra seqüência, regressiva e siliciclástica (Grupo Barreiras), cujas estruturas sedimentares e conteúdo palinológico típico do Mesomioceno indicam certa contemporaneidade e gradação entre as seqüências Pirabas e Barreiras.

Segundo Costa *et al.* (1996), os sedimentos do Terciário Superior na região de Salinópolis, nordeste do Pará, são produtos de um ciclo transgressivo-regressivo, estando depositados em uma bacia assimétrica e alongada na direção NW-SE (Figura 23). O preenchimento desta bacia se processou pela instalação de depósitos marinhos de águas rasas e quentes (Formação Pirabas), os quais dão lugar gradualmente a depósitos regressivos de natureza siliciclástico (Grupo Barreiras), indicando forte soerguimento da borda da bacia e inibição da deposição de carbonatos em subambientes de planície de maré, estuário e plataforma interna. As estruturas que controlaram o desenvolvimento da Formação Pirabas e do Grupo Barreiras são falhas normais NW-SE inclinadas para NE, e falhas transcorrentes NE-SW que funcionam como zonas de transferência. Essa evolução é entendida como decorrente do último episódio de manifestação extensional na margem equatorial brasileira, relacionado ao evento de separação América do sul – África.

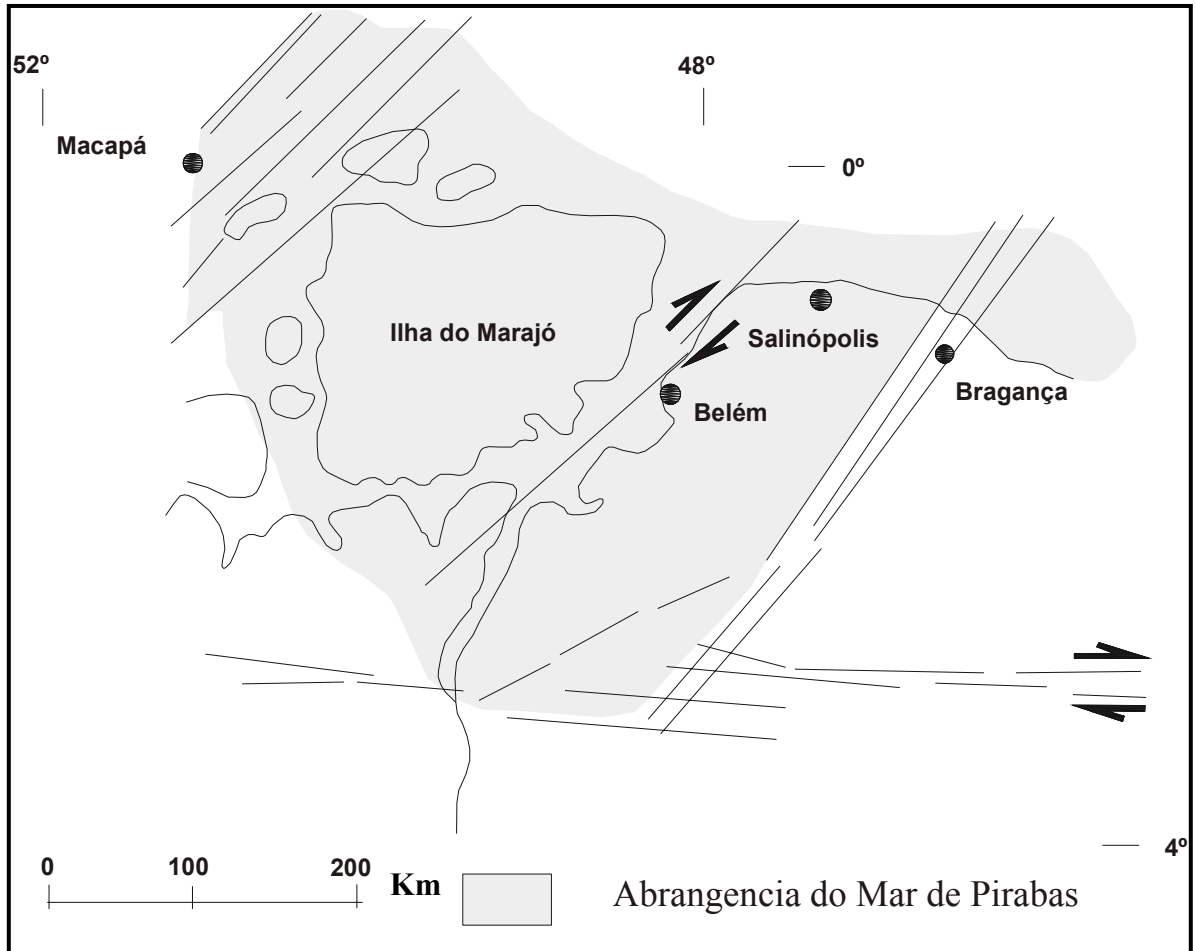


Figura 23 - Abrangência do Mar de Pirabas na região nordeste do estado do Pará, e as prováveis estruturas que controlam a deposição dessa unidade litoestratigráfica (Costa et al., 1996)

#### 4.2.2 Grupo Barreiras

O termo "Barreiras" tem sido utilizado para designar rochas sedimentares que variam desde argilitos a conglomerados pouco ou mal selecionados, ocorrentes na costa brasileira desde o estado do Rio de Janeiro até o estado do Pará.

Como primeira tentativa de organizar estratigraficamente o entendimento sobre o arranjo desses sedimentos na região Bragantina, nordeste do Pará, Góes & Truckenbrodt (1980) definiram três litofácies: argilo-arenosa, arenosa e conglomerática, sendo cronologicamente do mais novo para o mais antigo:

- fácies argilo-arenosa: litologicamente heterogênea, representada por camadas argilosas, argilo-arenosas, areno-argilosas e, restritamente arenosas limpas. Apresenta colorações variadas, sendo comum a mosqueada. Mostra altas porcentagens de finos, má seleção, angulosidade dos grãos de quartzo da fração areia e, relativamente maior compactação.
- fácies arenosa: caracterizada por uma grande homogeneidade litológica e porcentagens de argila inferiores à da fácies anterior. É constituída de arenitos amarelados, de granulação média, mal selecionados, com grânulos e seixos subangulosos disseminados. Ocorrem lentes de microconglomerados em suas partes mais basais e medianas. Estes são pouco espessos, constituídos por seixos quartzosos, moderadamente selecionados, alongados e achatados.
- fácies conglomerática: encontrada no nordeste do Pará, ocorre discordante sobre o embasamento, sendo constituída por conglomerados polimíticos, com matriz de areia grossa, seixos mal selecionados e pouco retrabalhados, sem estruturas sedimentares visíveis.

Góes & Truckenbrodt (1980) sugerem ainda, evidências de relações de contato concordantes entre as unidades Pirabas e Barreiras, considerando uma afinidade litológica das argilas cinza esverdeadas da base da fácies argilo-arenosa, com os sedimentos pelíticos do topo da Formação Pirabas. Esses mesmos autores admitem uma idade, pelo menos em parte, miocênica para os sedimentos Barreiras.

Estudos realizados por Arai *et al.* (1988) confirmam a proposta defendida por Góes & Truckenbrodt (1980) no que diz respeito ao caráter concordante entre a Formação Pirabas e o Grupo Barreiras. Através do desenvolvimento de estudos palinológicos em amostras da fácies argila laminada acinzentada, posicionada tanto na porção basal do Grupo Barreiras, como intercalada aos calcários da Formação Pirabas, atestaram a presença do esporo *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, considerando como o melhor fóssil guia da associação palinológica, apresentada até o presente, em camadas exclusivamente miocênicas.

Nas considerações paleoambientais dos sedimentos Barreiras, Arai *et al.* (1988) consideraram a possibilidade de influência marinha na porção mais distal e a influência de águas continentais, através da presença de restos de algas de água doce, confirmando o modelo proposto por Rossetti (1990), que considerou um modelo de deposição em leques aluviais - planície de areia - planície de lama, tendo provável influência de marés na porção mais distal do sistema.

Em estudos realizados nos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras no nordeste do Pará, Rossetti (1990) descreveu treze litofácies, agrupando-as em quatro associações, em função das relações de contato vertical e lateral. Ainda em estudos mais detalhados no Pará e Maranhão, Rossetti (1990) defendeu a atuação significativa de processos marinhos na porção mais distal do sistema deposicional Barreiras, considerando depósitos cíclicos de planície de maré.

#### **4.2.3 Sedimentos Pós - Barreiras**

Consistem em sedimentos areno-argilosos, inconsolidados, facilmente desagregados, compostos, sobretudo de grãos de quartzo, com leitos pouco espessos de seixos e blocos rolados ou pouco movimentados de arenitos ferruginosos (Sá<sup>5</sup> *apud* Farias *et al.*, 1992).

Rossetti *et al.* (1990) descreveu os sedimentos Pós-Barreiras como uma fácies areno-argilosa, maciça, separados dos sedimentos Barreiras por superfície erosiva, acompanhada ou não por níveis detríticos. Os autores constataram que as características

---

<sup>5</sup> SÁ, J.H.S 1969 - Contribuição a geologia dos sedimentos terciários e quaternários da região Bragantina. Bol. Inst. Geol. Rio de Janeiro 3: 21-3



deposicionais dos sedimentos Pós-Barreiras são sugestivas da atuação de movimentos gravitacionais, além da contribuição de processos dissipativos de dunas eólicas.

Na Região Metropolitana de Belém e na ilha de Caratateua esses sedimentos foram mapeados por Farias *et al.* (1992), que caracterizaram duas fácies sedimentares: A fácies arenito ferruginizado constituída de blocos ferruginosos, de tamanhos variados, envolvidos por uma matriz areno-argilosa e, a fácies arenitos diversos que compreende arenitos creme-amarelados, incoesos e aparentemente desprovidos de estruturas sedimentares; arenitos de cor amarela a alaranjada, de granulometria predominantemente fina, bem selecionados e sem estruturação e areias, predominantemente brancas, com porções de cor amarelo-alaranjada, de granulometria fina, moderada a bem selecionadas. Ainda nesta fácies, descreveram estruturas de bioturbação e feições, que caracterizaram como estruturas de dissipação de dunas.

#### **4.2.4 Sedimentos Holocênicos**

Os sedimentos holocênicos são representados por sedimentos aluvionares, situados nos vales dos rios e igarapés que drenam a área. São constituídos de areias, siltes e argilas. As areias são finas a médias, de coloração marrom, com siltes e argilas intercaladas. As argilas são geralmente cinza-escuro a cinza-claro, apresentando restos de vegetais (galhos e folhas), comumente bioturbadas, o que as torna sem estruturas. Tais sedimentos são observados no período de maré baixa, nas bordas dos canais estuarinos, braços de rios, " furos", igarapés e " praias" que drenam a área (Farias *et al.*, 1992).

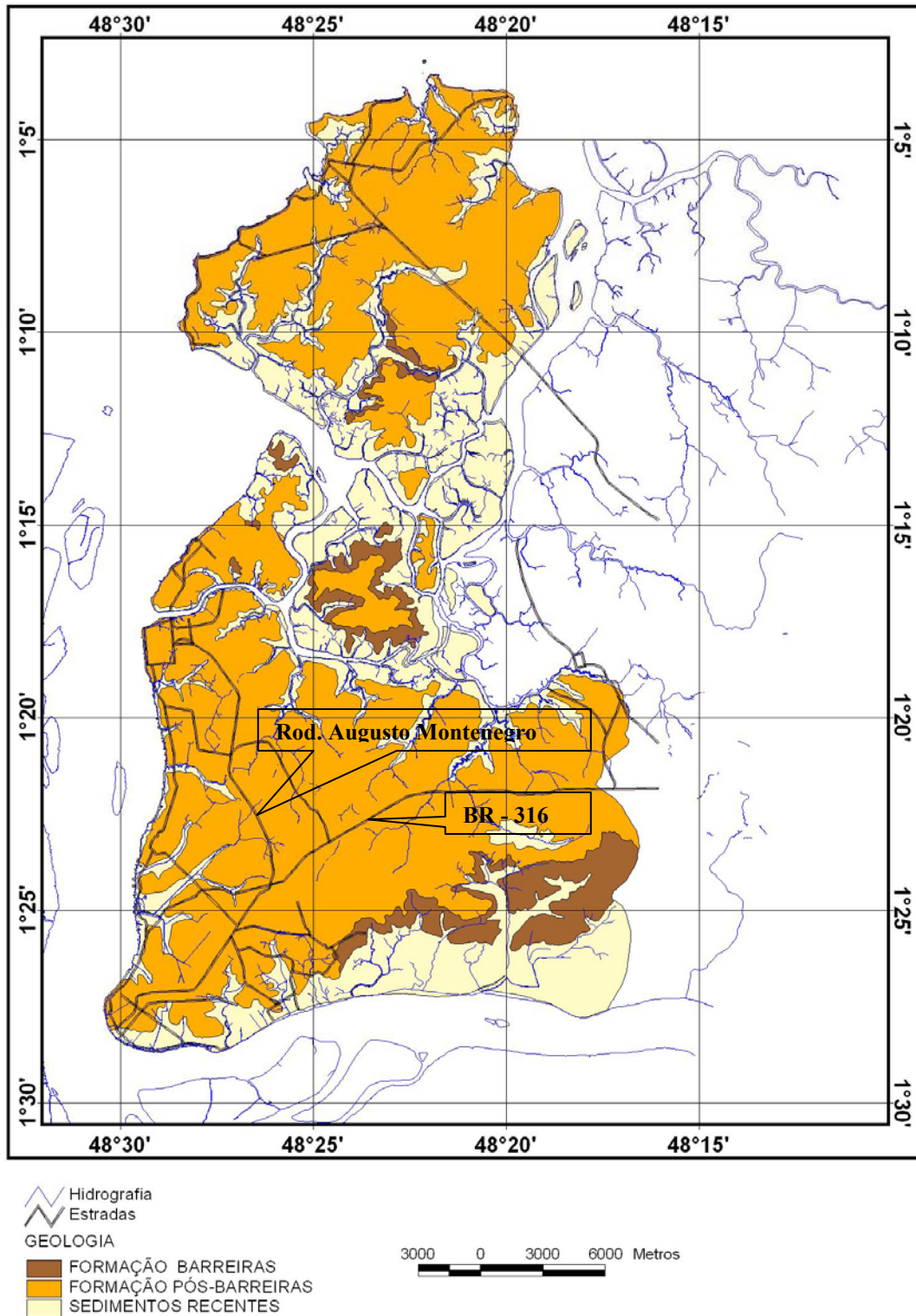


Figura 24 - Mapa geológico da RMB modificado de Costa (2001)

### **4.3 ANÁLISE DA DRENAGEM**

A análise da rede de drenagem tem-se mostrado indispensável para a interpretação estrutural devido à enorme sensibilidade dos rios e a capacidade de se ajustarem à estruturação. Anomalias de drenagem (diversos padrões geométricos, cursos deslocados lateralmente, assimetria, capturas, etc.) são características importantes do relevo que demonstram a atuação da Neotectônica. Essas anomalias são visíveis quando da elaboração e análise de mapas de drenagem e de lineamentos. (Hasui & Costa 1996, Lima, 2002).

Na área estudada, o processo de urbanização impôs importantes modificações no traçado original da rede de drenagem de semidetalhe (Figura 25), fator que dificultou a sua caracterização detalhada, principalmente na RMB. Mesmo assim, através da investigação e análise dos dados adquiridos em escala regional e de semidetalhe, a partir dos diversos produtos utilizados tratados de forma integrada, foi possível construir mapas que mostram os principais elementos característicos da rede de drenagem.

Confecionaram-se, assim, os mapas de Drenagem Regional (Figura 26) e Drenagem de semidetalhe (Figura 25), e realizando a integração ao Modelo Digital de Terreno – MDT (Figura 27) foi possível extrair uma série de produtos e informações, tais como mapa de refinamento da drenagem, alinhamentos de drenagem regional (Figura 28) e de semidetalhe (Figura 29) e de relevo.

Utilizando-se a classificação de Howard (1967) e Deffontaines & Chorowicz (1991), dividiu-se a área, do ponto de vista regional, em cinco sistemas de drenagens, sendo elas: Bacia Litorânea, Bacia do Rio Marapanim, Bacia do Rio Guamá, Bacia dos Rios Acará e Mojú e Bacia do Rio Pará.

O primeiro sistema de drenagem é formado pelos afluentes que desaguam nas baías do Guajará e Marajó, aqui descrito como Bacia Litorânea. Nesse estudo, este é o sistema que será objeto de um tratamento detalhado, tanto no aspecto do estudo da drenagem como no que diz respeito à hidrogeologia (Figura - 30).

Este sistema é formado por dezoito micro-bacias, e inclui a região das ilhas de Outeiro e Mosqueiro. Apresentam direções gerais de fluxo NW-SE e NE-SW, com inflexões para N-S e subordinadamente para E-W.

Como padrões de drenagem destaca-se os treliça e retangular e, localizadamente, subdendrítico e anostomótico. Os canais usualmente possuem configuração retilínea, mostrando, por vezes, uma angularidade média a alta em relação aos tributários de menor ordem, há uma predominância de drenagens orientadas N-S e E-W que configura uma feição de mosaico retangular para a rede de drenagem neste setor (Figura - 31). Na porção mais a leste, percebe-se que há o predomínio do padrão subdendrítico para os tributários, com relação aos canais de ordem menor, com uma angularidade média a alta. Comumente, existem canais mais abertos, principalmente nas proximidades dos rios principais da área (Maguarí, Mocajatuba etc.) e “furos” (Maguarí, dos Bragas, do Cotovelo) (Figuras - 32).

O denominado padrão anostomótico desenvolve-se na planície flúvio-marinha das adjacências das ilhas de Outeiro, em direção a sul onde seus canais, que são os de maior ordem da área, mostram trechos mais retilíneos e localmente formam meandros. A geometria anostomótico é, principalmente, configurada pelos canais de menor ordem que se interligam com os principais.

Este sistema de drenagem apresenta forte controle, sendo observados a existência, tanto nos canais de mais alta ordem quanto nos tributários, de feições anômalas em cotovelo, de assimetrias, de trechos retilíneos que se tornam de meandros, de meandros isolados, mudança de orientação de canais de rios, entre outras feições (Figura 31).

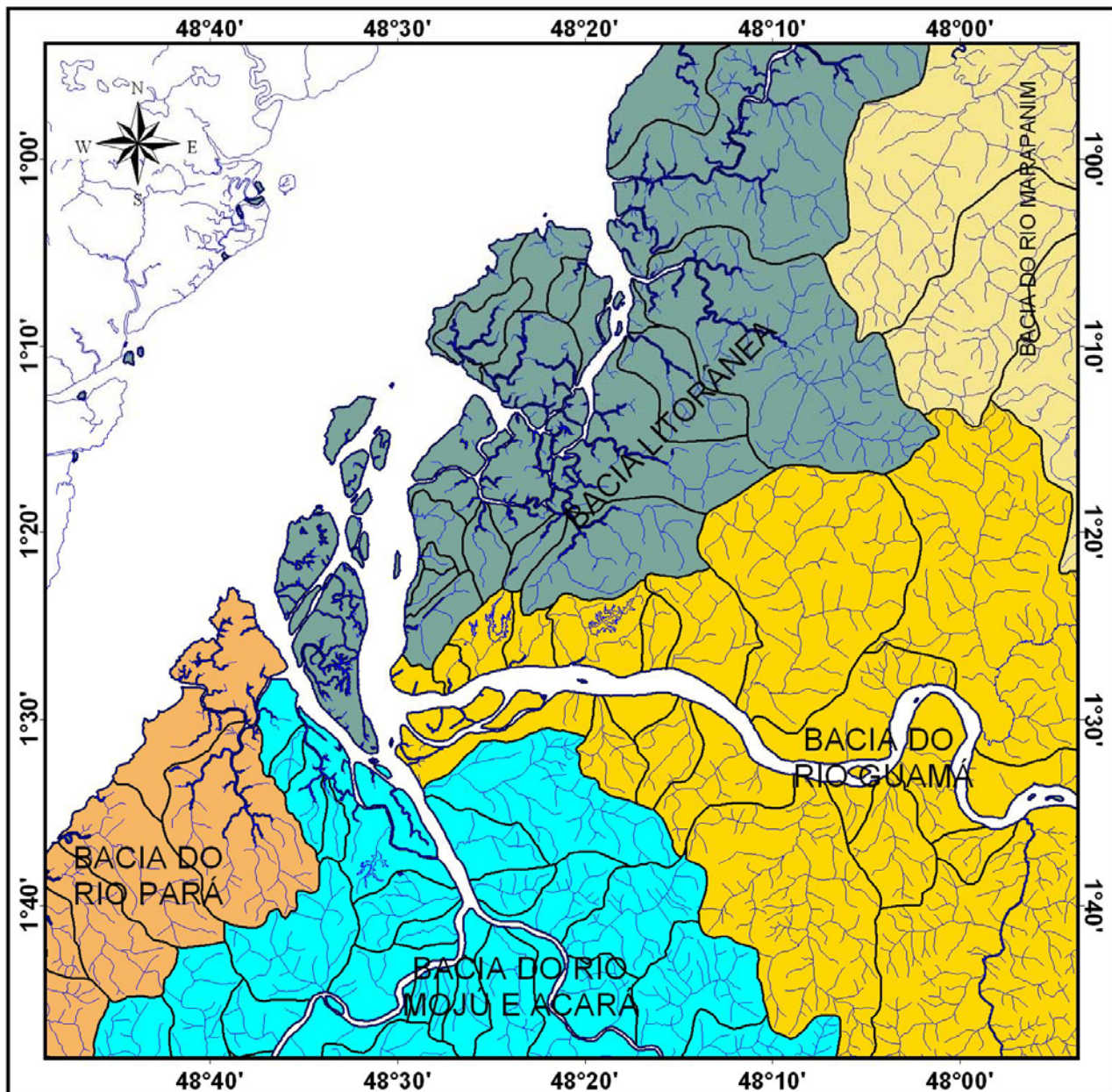
O segundo sistema de drenagem é o da bacia do Rio Marapanim, composto por 3 micro-bacias, e que apresenta direção de fluxo predominantemente NE-SW e coincidente com aquelas que também são predominantes da Bacia Litorânea, o que pode refletir uma origem contemporânea dessas drenagens, colocando-as em um mesmo contexto genético (Figura 33)

Como padrão de drenagem destaca-se a treliça e o retangular, com seus canais apresentando alta angularidade e assimetria e, restritamente o padrão anostomótico na parte

norte desta bacia. Este sistema apresenta controle acentuado, sendo observados a existência, nos canais de mais alta ordem, feições anômalas em cotovelo, assimetrias, trechos retilíneos que se tornam de meandranças, meandros isolados, mudança de orientação de canais de rios, entre outras feições (Figura 33).

O terceiro sistema é formado pelos afluentes das margens direita e esquerda do rio Guamá, que apresenta uma direção geral E-W e representa o canal principal. Nesse sistema foram separados um total de vinte e duas micro bacias, cuja direção geral de fluxo e dos afluentes é N-S. Os afluentes mostram também inflexões NE-SW e NW – SE, e subordinadamente E-W. O padrão de drenagens apresentado é do tipo retangular e subparalelo e anastomótico próximo ao Rio Guamá.






O Rio Guamá e seus tributários apresentam trechos fortemente controlados, localmente, são observadas anomalias marcadas por lagos isolados, a exemplos dos lagos Bolonha, Água Preta e drenagens com vales abertos, representadas pelos igarapé Ramal do Guamá e igarapé Taiaçui, formas em cotovelos formados pelos tributários da margem direita do Rio Guamá, estando mais evidentes no, rio Aura e igarapé Uriboça. O rio Caraparú é o que apresenta melhor expressão dessa anomalia, e curvas anômalas, como a presente à altura da cidade de Bujarú (Figura 34 e 35)



LEGENDA

 Drenagem

BACIAS DE DRENAGEM

- |                                                                                                            |                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Bacia Litorânea        |  Bacia do Rio Acara e Mojú |
|  Bacia do rio Marapanim |  Bacia do Rio Pará         |
|  Bacia do Rio Guamá     |                                                                                                               |

ESCALA

8000 0 8000 16000 Metros

Figura 25 - Bacias de drenagem Regional

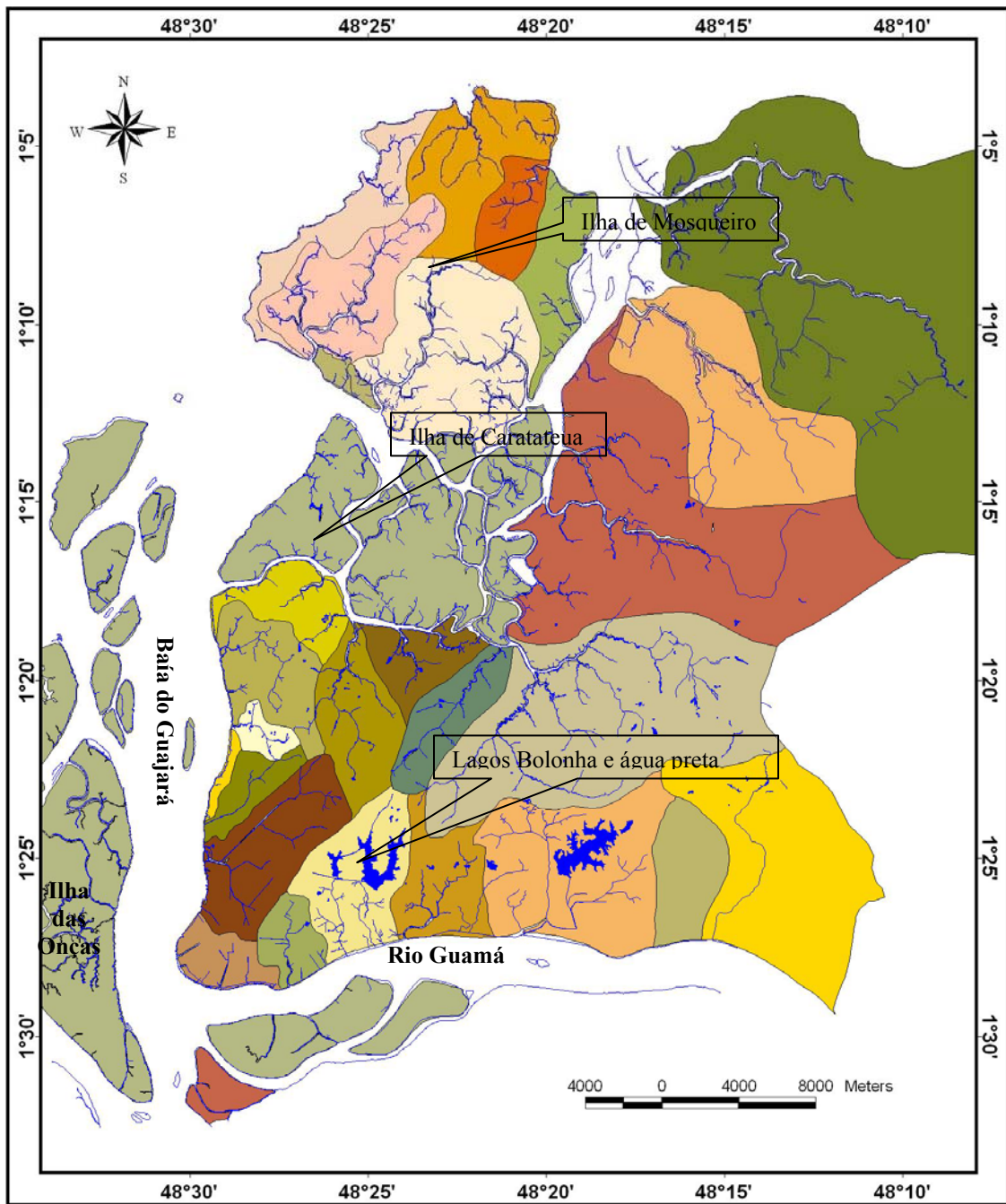


Figura 26 - Bacias de drenagem da RMB-Pará

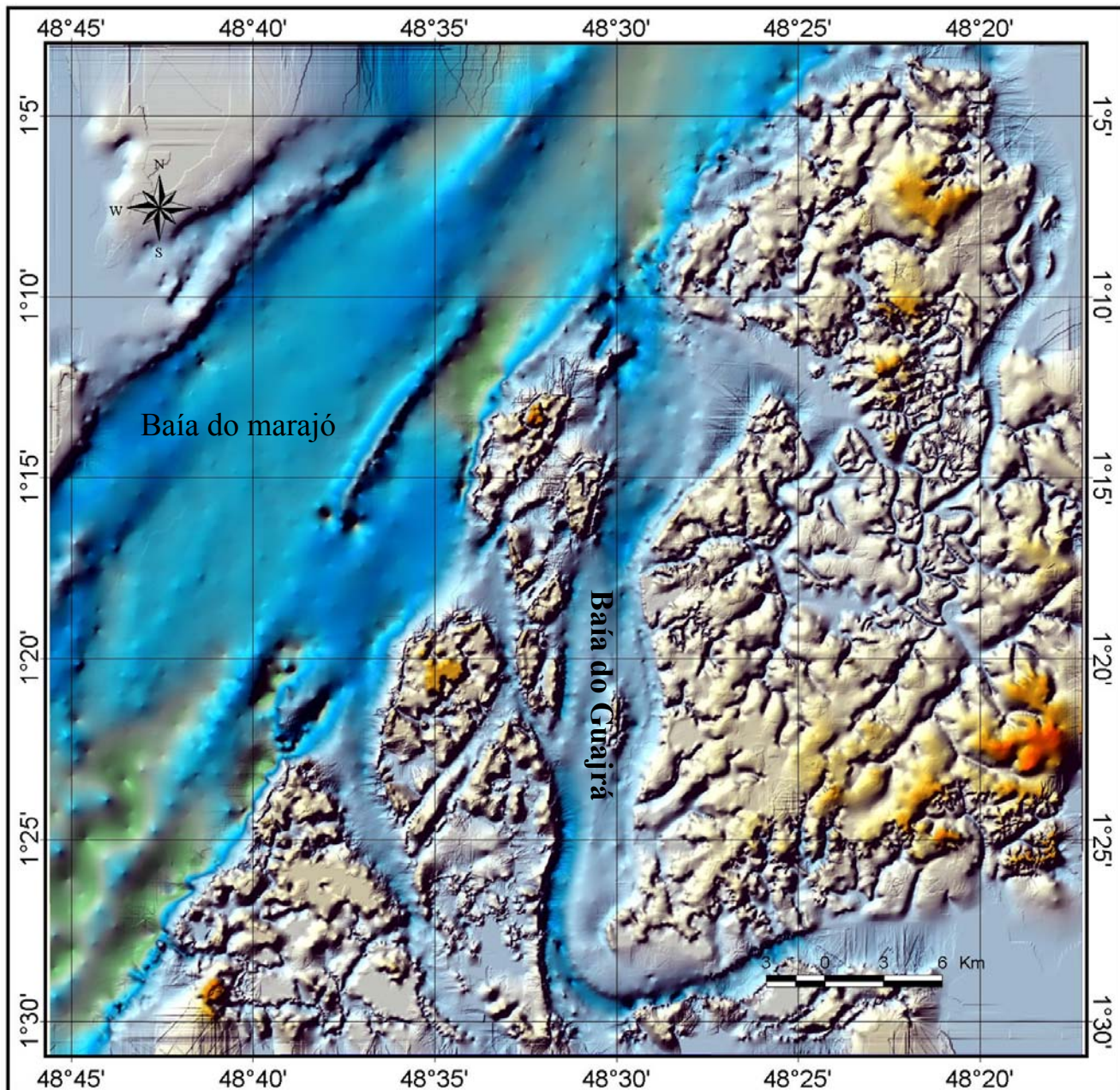


Figura 27 - MDT – Modelo Digital de Terreno integrado da RMB-Pará.



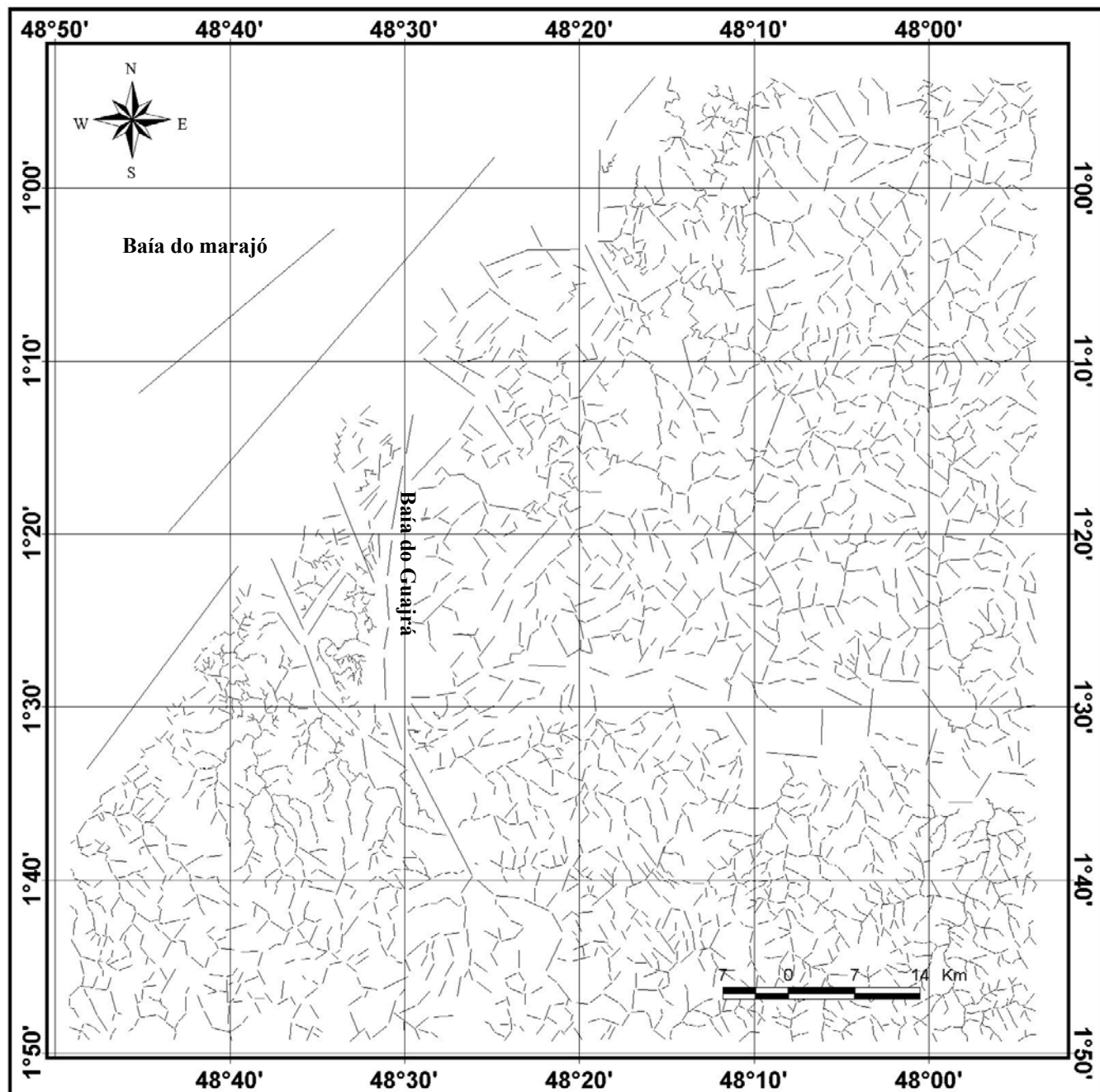


Figura 28 - Mapa regional de lineamentos.

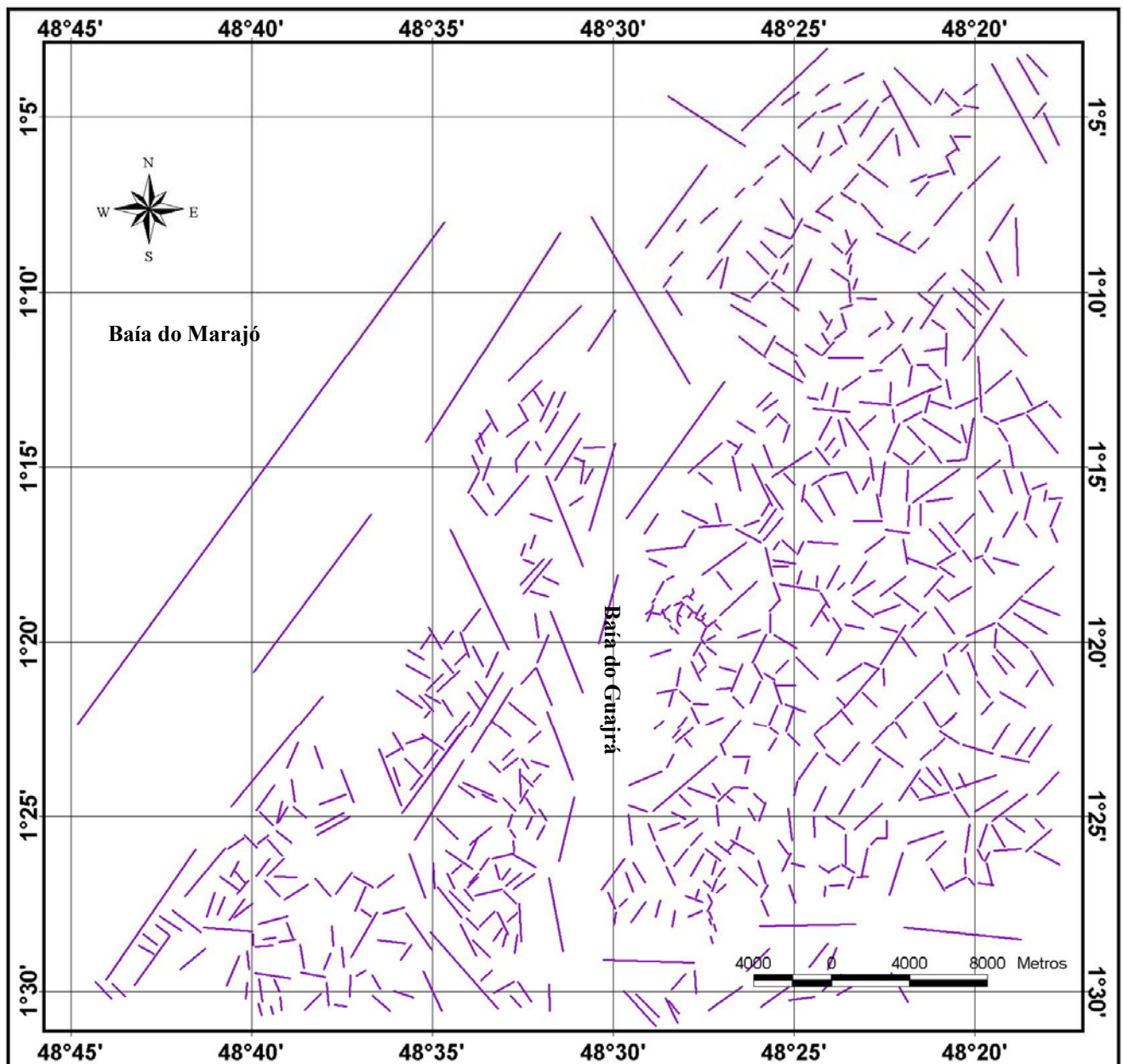
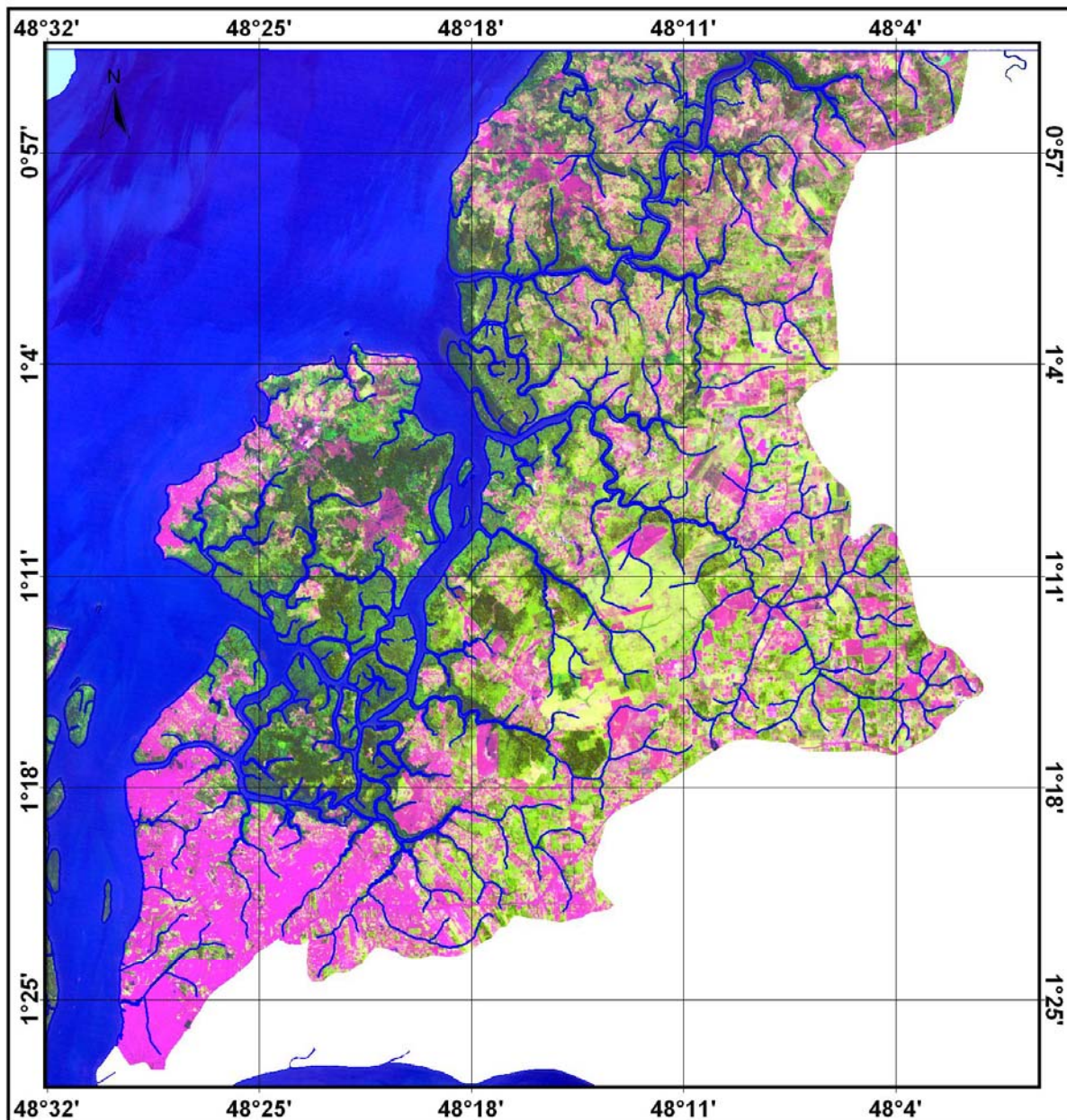


Figura 29 - Mapa de lineamentos de drenagem da Região Metropolitana de Belém-Pará.



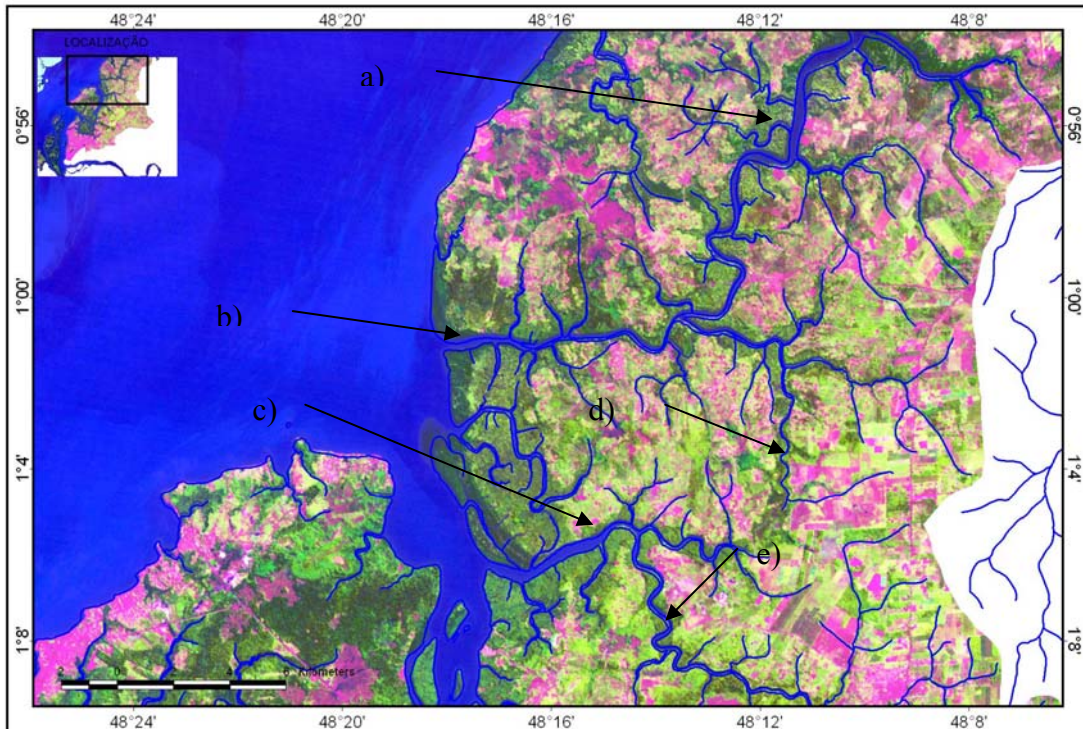
LEGENDA

 DRENAGEM

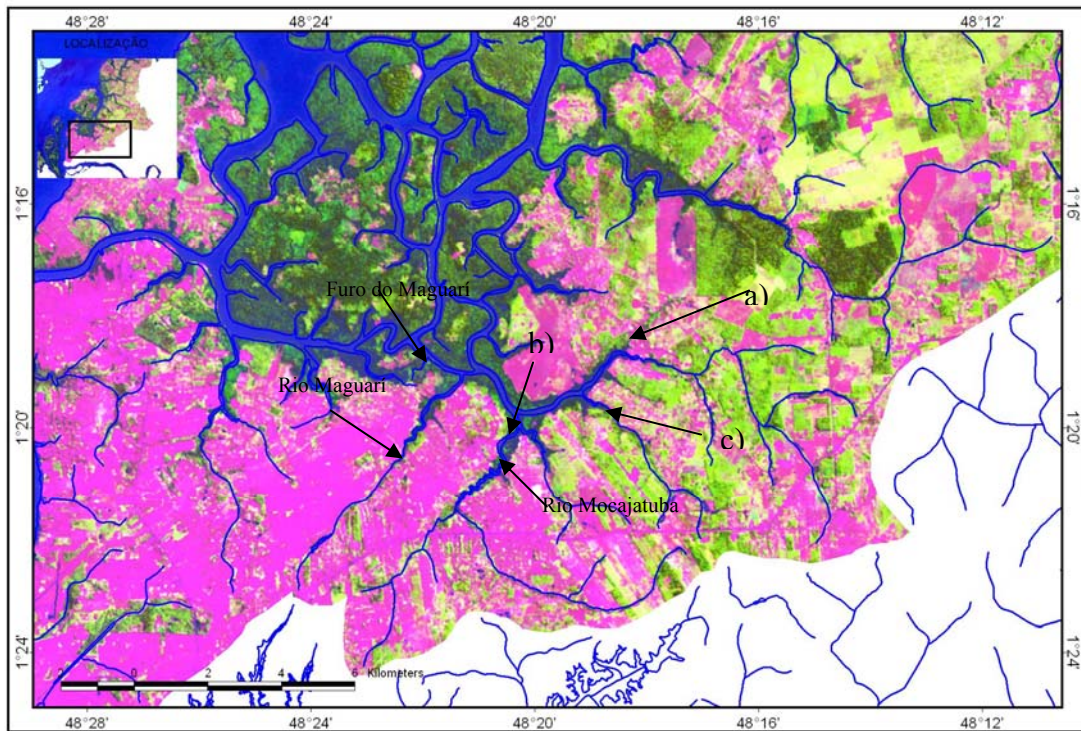
MAPA ELABORADO A PARTIR DAS BASES CARTOGRAFICAS DO IBGE E MODIFICADAS A PARTIR DA CORRELAÇÃO COM MAPEM DE SATELITE LANDSAT 7 COM POSIÇÃO 240 E FUSÃO COM A BANDA PANCRÔMATICA 15 METROS REAMOSTRADA

 4000 0 4000 8000 Meters

Figura 30 - Bacia litorânea, notar as principais drenagens com direção NE-SW e NW-SE.



*Figura 31 - Configuração retilínea de canais de drenagem, da porção norte da bacia litorânea, mostrando angularidade média a alta em relação aos tributários de menor ordem formando mosaicos retangulares com direções preferenciais em a) N-S e b) E-W, e apresenta feições em cotovelos em c) e feições em “S” em d) e “Z” em e).*



*Figura 32 - Trechos retilíneos e canais abertos, nos Rios principais da área (Maguari, Mocajatuba...) e “furos” (Maguari, dos Bragas, do Cotovelo) e apresenta também feições em cotovelos em a) e feições em “S” em b) e “Z” em c).*

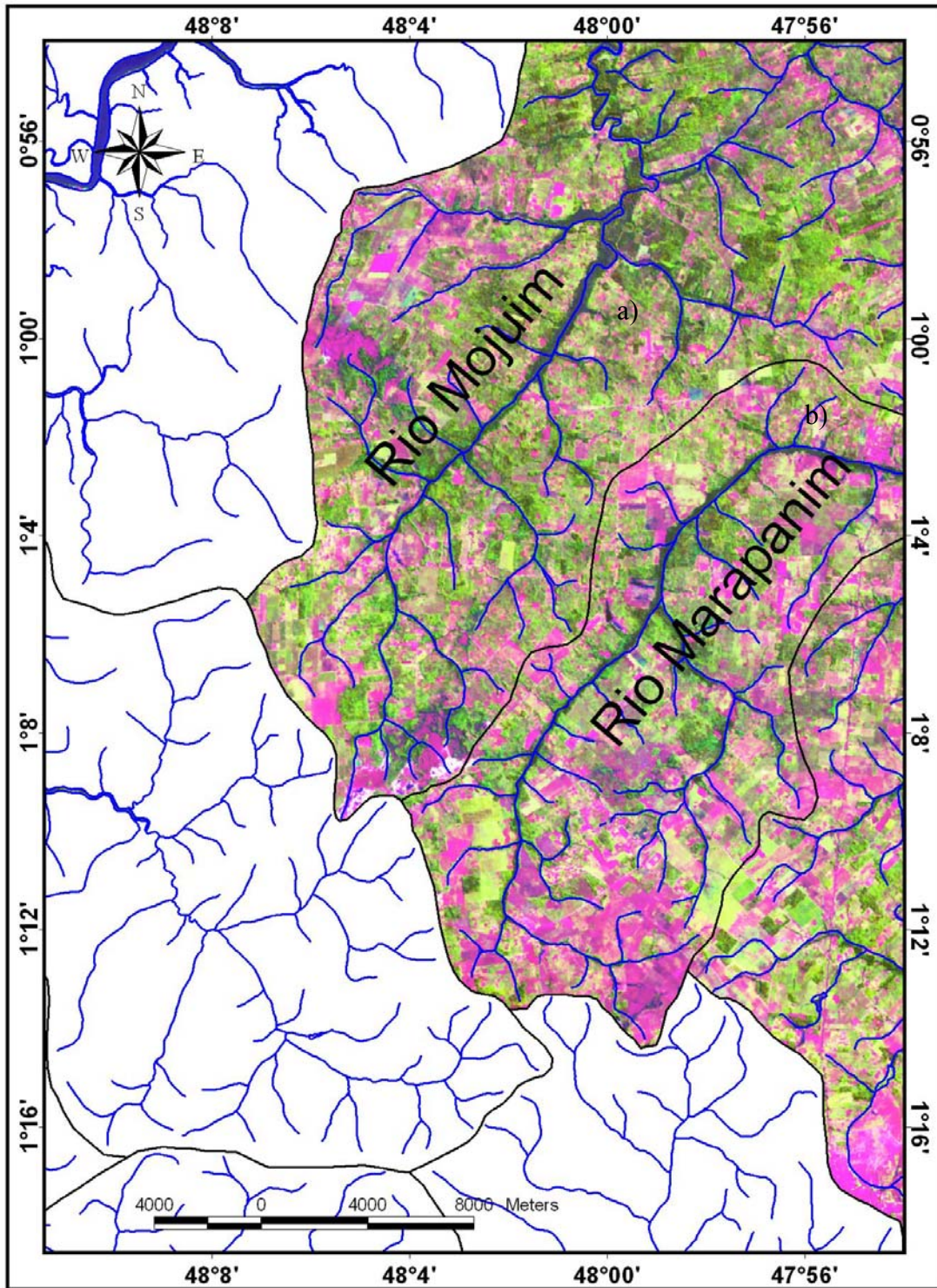


Figura 33 - Mapa da Bacia do Rio Marapanim na área de estudo. Observar a forma destacada da orientação da drenagem NE-SW das principais drenagens, e mudanças abruptas de trechos retílineos para meandantes em a), e curvas anômalas em b).

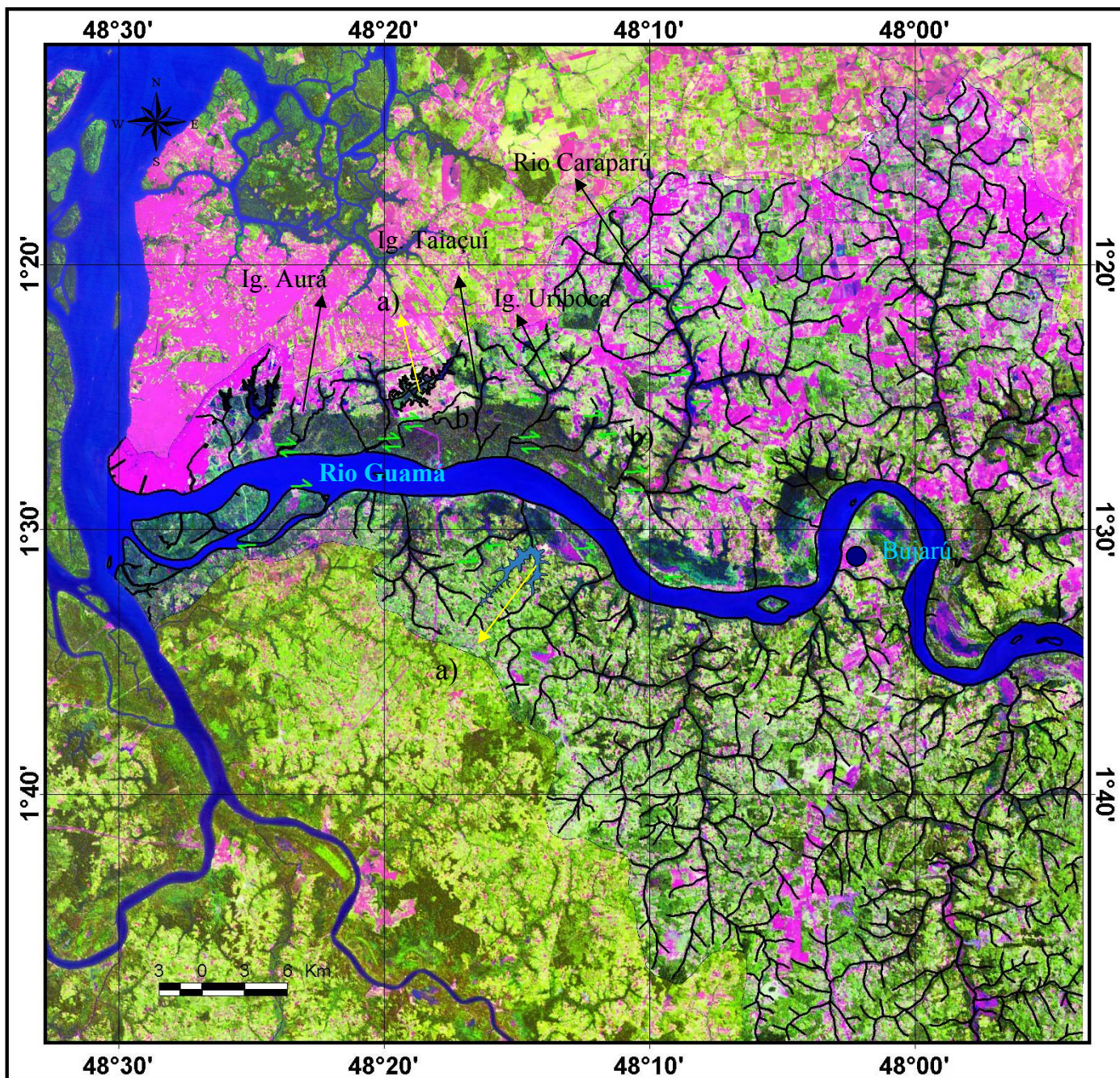
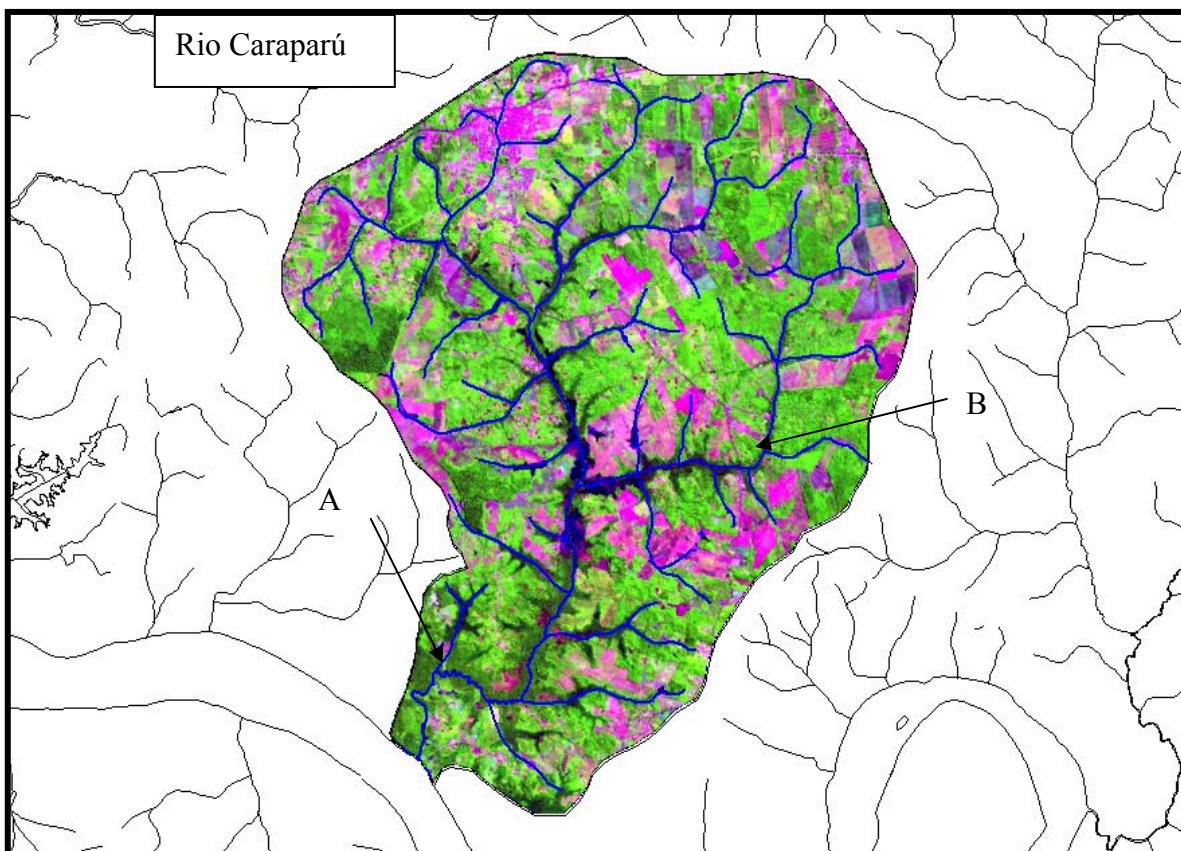


Figura 34 - Mapa da Bacia do Rio Guamá, apresenta anomalias do tipo: a) lagos isolados, b) formas em cotovelos, com indicação de movimentação dextral, formados pelo, Rio Aura, Ig. Urboca, Rio Caraparú e, c) curva anômala, a altura da cidade de Bujáru, observar também a forma destacada de orientação N-S dos principais tributários, bem como a grande quantidade de drenagens de direção E-W.



*Figura 35 - Detalhe de formas em cotovelos visíveis nos tributários da margem direita do Rio Guamá, mostrando nesse caso o Rio Caraparú onde é possível observar em A e B forte controle na drenagem marcada pela presença dessas anomalias.*



O quarto sistema hidrográfico é formado pelos rios Mojú e Acará, que compõem um total de vinte e nove micro bacias. Apresenta direção geral de fluxo NW-SE e NE-SW, com inflexões para N-S e subordinadamente para E-W. Este sistema apresenta também forte controle estrutural. Os padrões de drenagem existentes são do tipo retangular e paralelo, e nos tributários subdendrítico. Localmente são observadas anomalias marcadas por cotovelos e curvas anômalas (Figura 36).

Os afluentes tanto da margem direita quanto da margem esquerda apresentam indícios de movimentação neotectônica, demonstrada pela presença de anomalias em “S” e “Z” nas referidas drenagens como pode ser visto na figura 4.3.12. Em alguns locais é possível observar drenagens com forte assimetria, a exemplo da micro-bacia do Igarapé Jenipauba (Figura 37).

O quinto sistema de drenagem é formado pelos rios e igarapés que desaguam no Rio Pará, que compõem um total de sete micro-bacias. Apresentam direção geral de fluxo NW-SE, com inflexões para NE-SW. Este sistema também apresenta um forte controle estrutural. Os padrões de drenagens apresentados são do tipo treliça, retangular, subparalelo e anostomótico, e nos tributários de mais baixa ordem subdendrítico. Localmente, são observadas anomalias marcadas por cotovelos e curvas anômalas, principalmente nos rios Arienga, Arapiranga e Guajará, presentes também nos Rios Murucupí e Itaporanga (Figura 37).

Os padrões e as anomalias de drenagem, apresentados nas bacias estudadas, refletem o controle estrutural a que ela está submetida; segundo Howard (1967), os padrões treliça e retangular são associados à estruturação de rochas do embasamento ou em áreas de rochas sedimentares falhadas, e o padrão anostomótico pode estar relacionado à área em subsidência.

O modelo subparalelo apresentado em alguns locais pode ser originado por xistosidade, falhamentos e dobramento complexo ou, um controle de declive ou relevo subparalelo (Howard, 1967) e Zernit<sup>6</sup> (1932) *apud* Deffontaines & Chorowich (1991).

Segundo Ouchi (1985) qualquer mudança na estabilidade de canais resulta na modificação da forma do rio, e essas modificações são representadas por mudanças abruptas no padrão regional das drenagens ocasionadas por subsidência ou soerguimento local, como por exemplo na proximidade da cidade de Bujarú (Figura 34), que segundo ao modelo proposto pelo autor, está sofrendo um soerguimento local que ocasionou o desvio da drenagem.

Em outros locais são observadas anomalias na rede de drenagem tais como mudanças repentinas da orientação de cursos d'água que segundo (Howard, 1967) podem revelar discontinuidades que refletiriam anomalias no terreno. Ainda, segundo o autor, anomalias de drenagem como retilinearidade, meandros locais, meandros comprimidos, canal entrelaçado diques marginais e curvas anômalas de drenagem teriam como causas mudanças na geologia estrutural e, por conseguinte, nas formas de relevo. Vales ou canais abertos resultariam de estruturas locais em áreas soerguidas e, cotovelos e curvas anômalas ligar-se-iam a soerguimento e falhas direcionais. Na área são observadas diversas dessas anomalias o que corroboram a idéia de um controle estrutural acentuado na configuração geométrica dos pacotes sedimentares da área em questão.

---

<sup>6</sup> ZERNITZ, E.R., 1932. Drainage pattern and their significance. **Journal of Geology**, Chicago, v.40, p.498-21,.

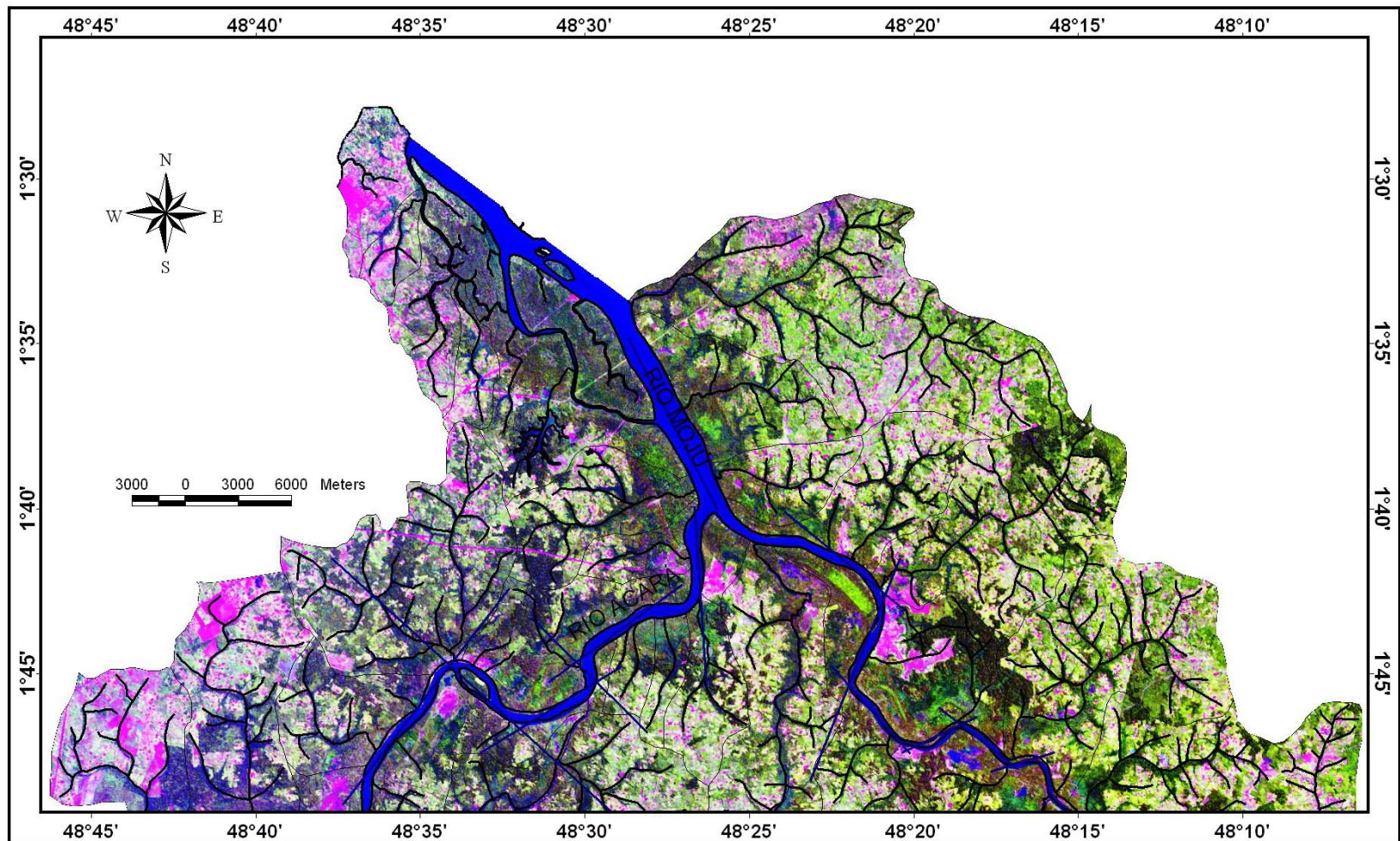
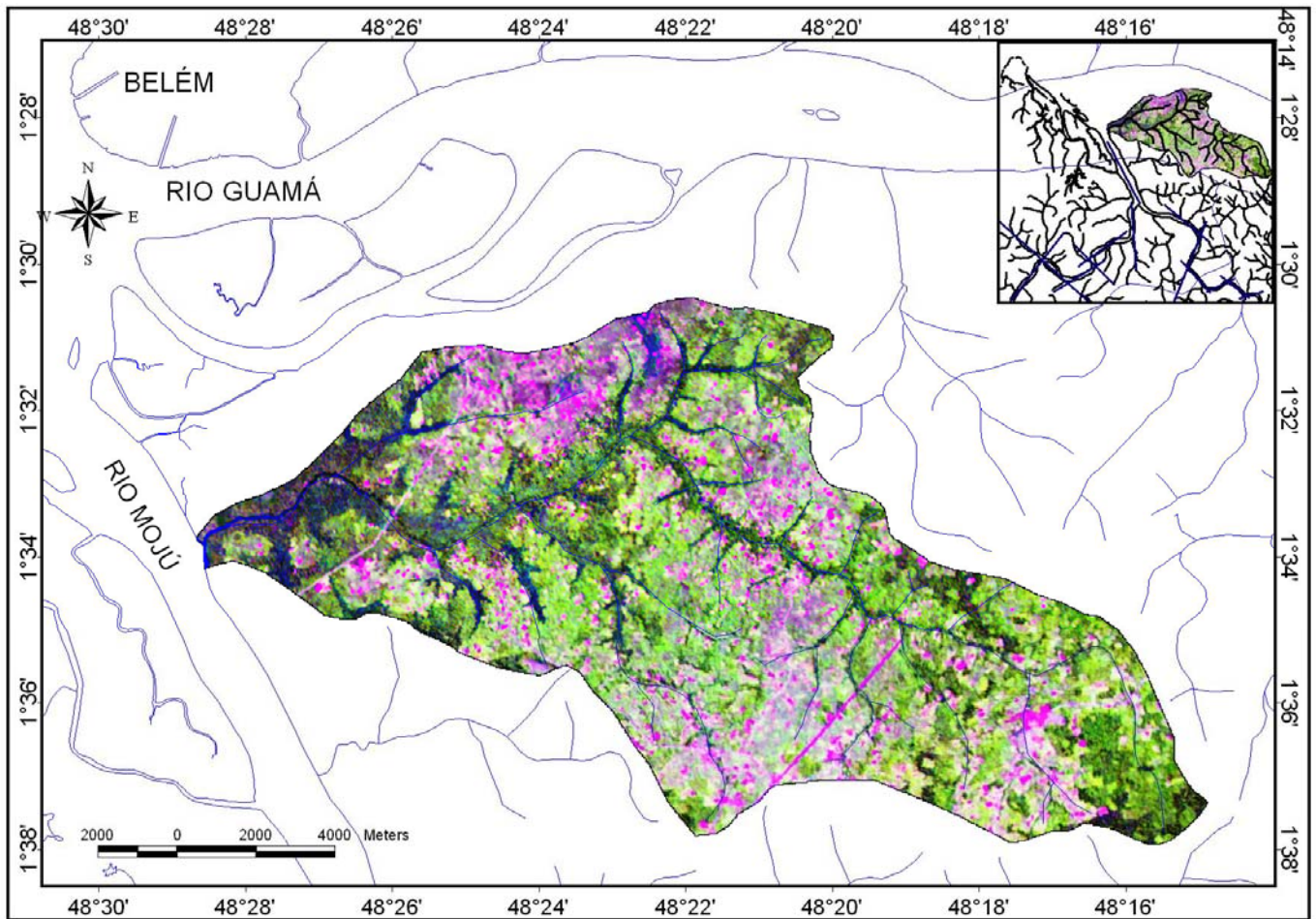


Figura 36 - Sistemas de drenagens compostas por parte das Bacias dos rios Acará e Mojú, marcadas pelas orientações das drenagens principais NW-SE, Rio Mojú e, NE-SW Rio Acará. Notar a presença de anomalias de drenagens ao longo dos referidos Rios, onde e possível observar, em a) anomalias em “S” e, em b) anomalias em “Z”.alem do formato alongado na direção NW de algumas ilhas presentes na foz do Rio Mojú.



*Figura 37 - Detalhe da micro-bacia do Igarapé Jenipauba localizada na parte norte da bacia Acará Mojú que apresenta forte assimetria de drenagem, observar também curvas anômalas em (A) apresentada ao longo do eixo central da micro-bacia.*

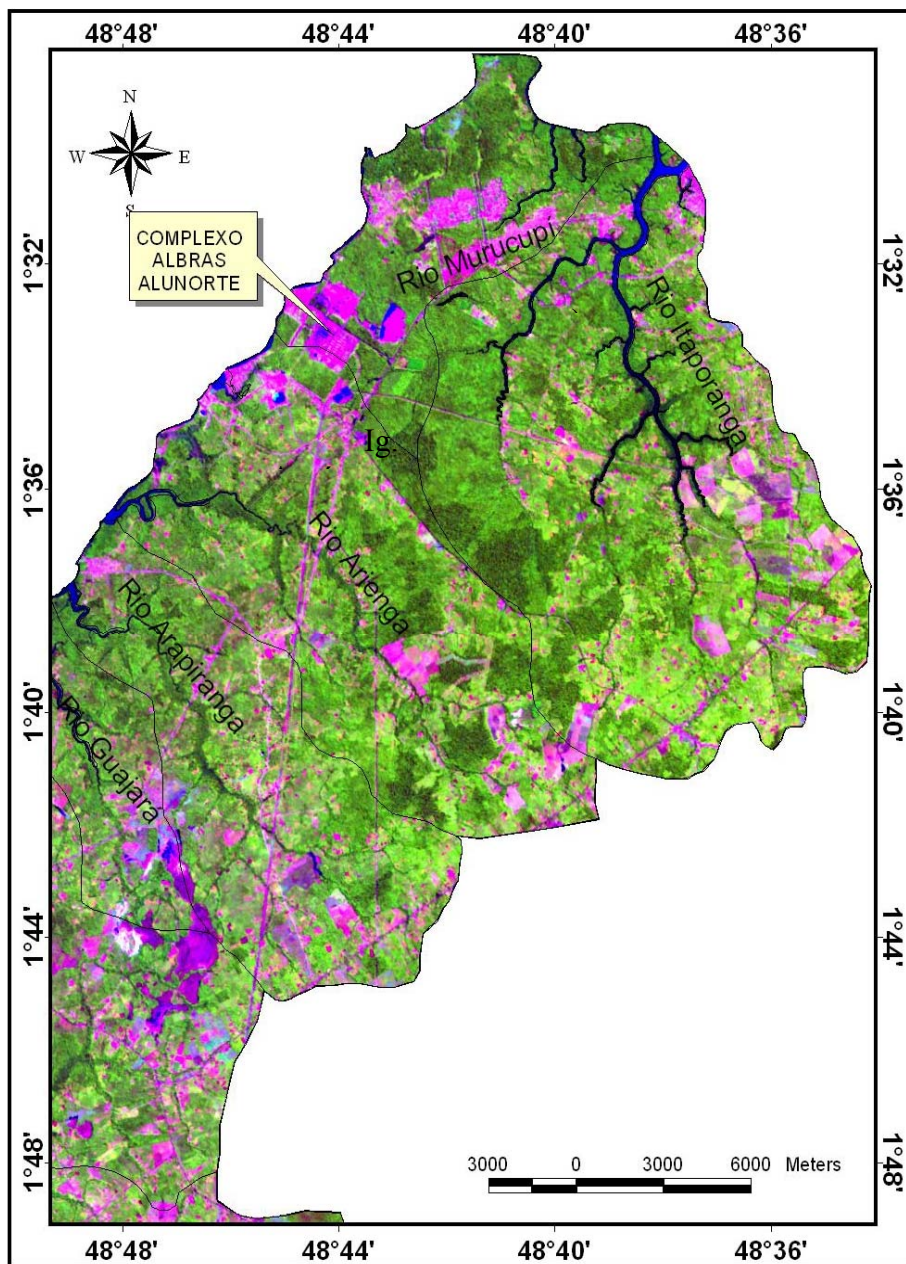


Figura 38 - Sistemas de drenagens compostas por parte da Bacia do rio Pará apresentando orientações das drenagens principais NW-SE, e algumas para NE-SW. Notar a presença de anomalias de drenagens ao longo dos principais Rios, onde é possível observar em, a), anomalias em “S”, em b) anomalias em “Z”, e formas em cotovelo em c) além de drenagem retilínea como no caso do Igarapé Acuí, que tem sua nascente na área do Complexo ALBRAS ALUNORTE.

### 4.3.1 Análise da Drenagem da RMB

A drenagem da RMB (Figura 26) compreende um conjunto de rios e igarapés que deságuam nas baías do Guajará e do Marajó, conjuntamente aqui denominada de Bacia Litorânea, e pela bacia do Rio Guamá e seus tributários cujos padrões de drenagens foram anteriormente descritos.

Em escala macro, o comportamento da rede de drenagem com seus padrões angular, subdendrítico, subparalelo e anostomótico e suas feições anômalas destacadas, são indicativos da existência de controle estrutural encontrados nos segmentos de drenagem, tanto de mais alta ordem quanto em tributários.

As principais formas anômalas encontradas são:

1. Feições em cotovelo e áreas controladas por alinhamentos dispostos, NE/SW e NW/SE e, com menor frequência, WNW/ESSE e N/S (Figuras 29; 31 e 32), congruentes com as orientações dos principais alinhamentos de drenagem mostrados na rosácea da Figura 39;

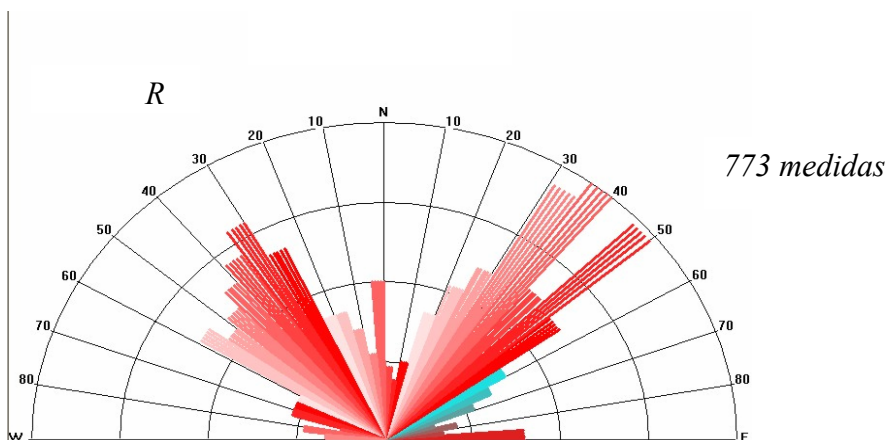
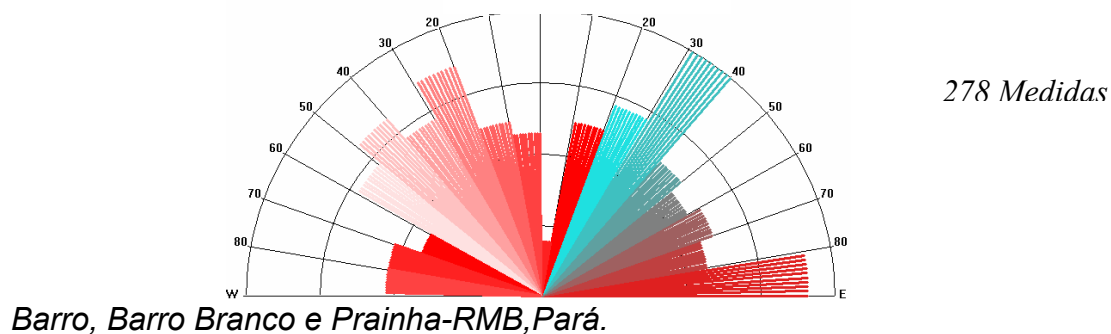


Figura 39 - Rosácea das medidas de lineamentos das drenagens na RMB.

2. Trechos de rios retilíneos que se tornam sinuosos com bruscas mudanças de orientação, o que pode corresponder à passagem de drenagem para uma área em que a taxa de subsidência sofra mudanças, possivelmente sobre uma falha ou um bloco abatido

- (Deffontaines & Choroviwicz, 1991). Estas feições são encontradas, comumente, nos rios de planície flúvio marinha e, localmente, nos terraços baixos;
3. Feições de drenagem meandrante que lembram desenhos em “S” e “Z”, controlados, provavelmente, por intersecção e deslocamento de superfícies estruturais;
  4. Presença de assimetrias em inúmeras micro bacias, o que pode revelar a existência de descontinuidades e basculamento de blocos;
  5. Ilhas que mostram formatos grosseiramente romboedrais, ressaltados pela rede de drenagem, as quais seriam resultantes, possivelmente, de intersecção de lineamentos com direção geral NE/SW e N/S (Figura 49);
  6. Vales abertos situados nas proximidades da junção de rios tributários com os rios de mais alta ordem podem ser resultantes de soerguimento dos blocos adjacentes a estas drenagens;
  7. Interação de planos estruturais que se manifestam por alinhamentos, vistos em planta, formam blocos grosseiramente romboédricos presentes nas praias Ponta do Barro, Barro Branco e Prainha; esses alinhamentos mostram direções compatíveis com aqueles lotados na rosácea dos alinhamentos da rede de drenagem da RMB (Figura 40).

*Figura 40 - Diagrama de rosetas das feições lineares das Praias da Ponta do*



A presença de anomalias de drenagem (diversos padrões geométricos, cursos deslocados lateralmente, assimetria, capturas, etc.) encontrados na área de investigação são características importantes do relevo que demonstram a atuação da Neotectônica.

#### **4.4 ANÁLISE DE LINEAMENTOS**

O estudo e a observação dos segmentos retilíneos em sistemas de drenagens possibilitaram a individualização e a caracterização dos lineamentos de drenagens, provavelmente correspondente a importantes estruturas neotectônicas.

O lineamento é por conceito uma morfoestrutura: *é uma feição linear mapeável simples ou composta, contínua ou suavemente curva, que diferem distintamente dos padrões de feições que lhes são adjacentes e, presumivelmente, refletem um fenômeno de subsuperfície* (O'Leary *et al*, 1976). Os referidos autores citam a importância de lineamentos como fonte de numerosas informações de caráter estrutural.

Para a área em estudo foram construídos mapas de lineamentos de drenagem para as cinco bacias citadas no capítulo anterior (Figura 25). Foi também realizada a análise estatística das medidas de direção de lineação e de lineamentos de drenagens, para cada bacia, compondo um total de 4.491 medidas (Tabela 5), conforme mostrado nas figuras 41 a 45.

O tratamento integrado das medidas nas cinco bacias mostrou que regionalmente os mais destacados lineamentos de drenagem orientam-se segundo NE-SW, NW-SE e NNE-SSW. Outros lineamentos de drenagem de menor expressão são ESE-WNW e E-W. (Figura 46)

Essas direções refletem, em termos gerais, a orientação na qual acontece o escoamento da drenagem nos diversos sistemas estudados. A direção N 30°-40° E que é uma das dominantes, corresponde a direção das principais drenagens da área, a exemplo do rio Pará e da Baía do Marajó, e das principais drenagens que cortam a RMB, representadas pelas Igarapés São Joaquim, Mata Fome, Maguarí e Mocajatuba. A outra direção dominante (N 40°-50° W), se relaciona as drenagens também importantes no contexto regional, a exemplo dos igarapés Sassunema e Benfica. Estas duas direções representam os principais *trends* de drenagem na área.



Tabela 5 – Resumo das medidas de lineamentos nas cinco bacias de drenagens da área

<b>BACIA</b>	<b>DIREÇÕES PRINCIPAIS</b>	<b>DIREÇÕES SECUNDÁRIAS</b>	<b>OUTRAS DIREÇÕES</b>	<b>NUMERO DE MEDIDAS</b>
<b>Litorânea</b>	N 30°-55° E N 25° - 40° E	N 5°-25° W N 80°-90° W N-0°-15° E, N 55°-65° E	N 65°-70° W, N 20°-25°E N 10°-20° E N 65°-80° E	1161
<b>Rio Marapanim</b>	N 30°-60° W N 30°-55° E	N 0°-25° W N 0°-15° E N 15°-30° E N 55°-70° E	N 65°-75° W N 20°-30° W N 70°-75°E N 80°-85°E	356
<b>Rio Guamá</b>	N 20° -35° W E-W N 0°-5° E N 15°-40°E	N-40°-45° W N 50°-65° W N20°-40°E N55°-70°E	N 70°-75° W N 40°-55° E N 70°-80° E N 60°-70° E	1468
<b>Rio Acará e Mojú</b>	N 25°-60° W	N 0°-25° W N 15°- 40° W N 50°-60° W N 0°-10° E	N 65°-70° W N 85°-90° W N 45°-55° E N 60°-70° E	768
<b>Rio Pará</b>	N 25°-60° W N 0°-10° E	N 65° -75° W N 80° -90° W N 40°-50° E N 60°-70° E	N70°-85°E	738
<b>Composto</b>	NE-SW NW-SE NNE-SSW	ESE-WNW E-W	-	4491

Os lineamentos NNE-SSW e NNW-SSE ocorrem por toda a área, sendo no entanto mais encontradas na área da Bacia do Rio Guamá. Nessa bacia e o eixo central Rio Guamá, e outras drenagens importantes como o furo do Maguari, orientam-se conforme lineamentos E-W, também pronunciados.

O Rio Guamá sofre importantes inflexões, associadas à presença de anomalias de drenagem tanto nos tributários quanto no próprio rio. Formas em arcos e lagos isolados são encontradas (Figura 34).

Essas anomalias são marcadamente indicadoras de movimentação dextral, podendo ser responsáveis pelas formações dos lagos presentes nessa rede de drenagem, os quais estariam associados a falhas transcorrentes, exemplificado pelos fortes indicadores de movimentação neotectônica que ocorrem no Rio Caraparú (Figura 35).

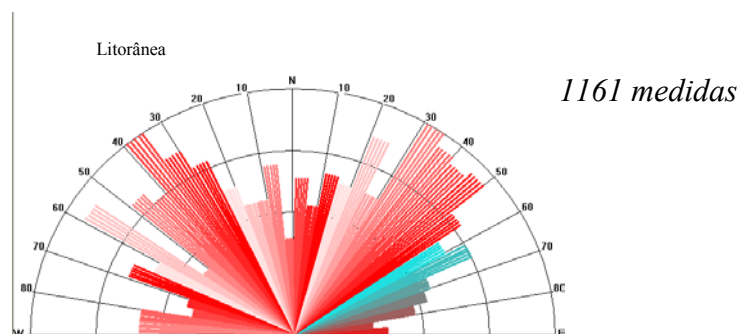


Figura 41 - Rosácea dos Lineamentos de drenagem das micro-bacias da Bacia Litorânea-RMB/Pará.

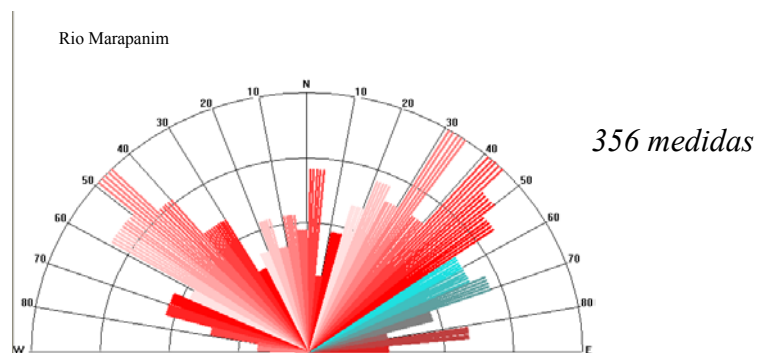


Figura 42 - Rosácea dos Lineamentos de drenagem das micro-bacias da Bacia do Rio Marapanim.

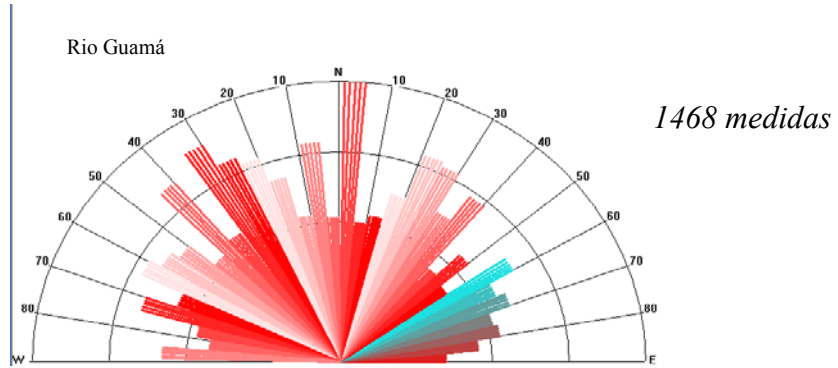


Figura 43 - Rosácea dos Lineamentos de drenagem das micro-bacias da Bacia do Rio Guamá.

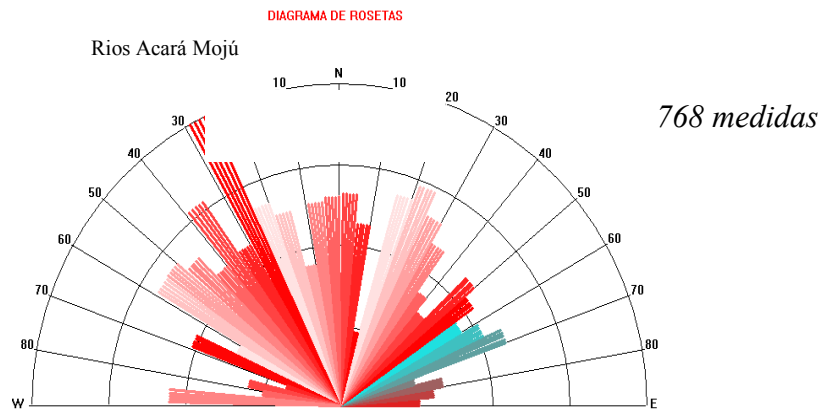


Figura 44 - Rosácea dos Lineamentos de drenagem das micro-bacias das Bacias dos Rios Acará e Mojú.

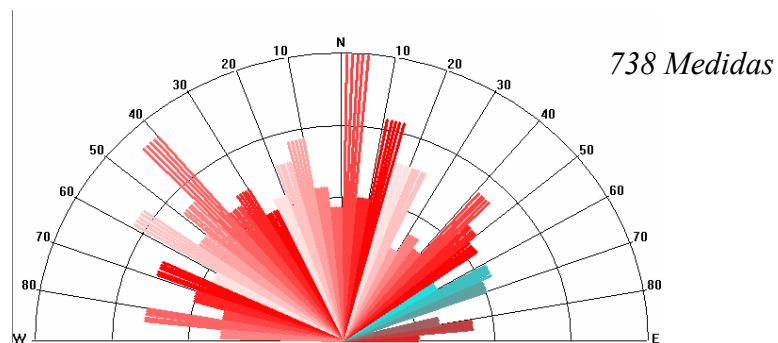
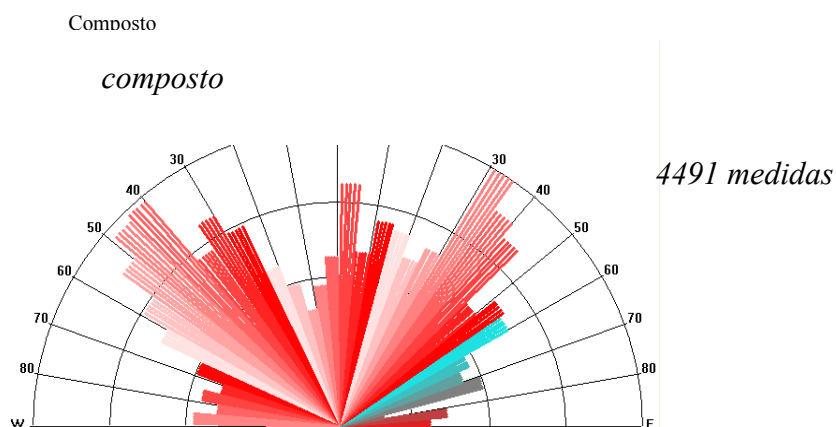


Figura 45 - Rosácea dos Lineamentos de drenagem das micro-bacias da Bacia do Rio Pará.



**Figura 46 - Rosácea composta das medidas de lineamentos das cinco bacias de drenagens estudadas.**

Nos rios Acará e Mojú estão presentes importantes feições anômalas, no geral formadas pelas interseções das principais direções de lineamentos, apresentados na rosácea da figura 44. Estas anomalias são indicativas de movimentação neotectônica e são representadas por longos segmentos retos NE-SW e NW-SE que se alternam bruscamente, interpretadas como falhas transcorrentes dextrais e sinistrais respectivamente, reconhecidas tanto através da análise da rede de drenagem quanto pelos elementos morfológicos da paisagem (Figura 47).

Nos tributários da Bacia do Rio Pará, quatro drenagens importantes possuem orientação N 40° W, três N 40° E, o que faz com que haja muita variação nas direções das mesmas (Figura 38).

Os rios apresentam também anomalias em cotovelo como é o caso do Rio Murucupi, Arapiranga e Rio Guajará, e também segmentos meandantes nos rios Arapiranga, Guajará e Arienga e segmentos retilíneos no caso do igarapé Acuí e do rio Murucupi (Figura 38).

Outras anomalias também são observadas nos igarapés afluentes do Rio Itaporanga, como a presença de meandros no Rio Barcarena, e nos igarapés Tauá e Bacuri. Meandros comprimidos entre trechos retilíneos no Rio Itaporanga e arqueamentos são visíveis em toda a bacia.

A presença constante de anomalias de drenagens encontradas nos afluentes do Rio Pará sugere um contexto neotectônico para a área.

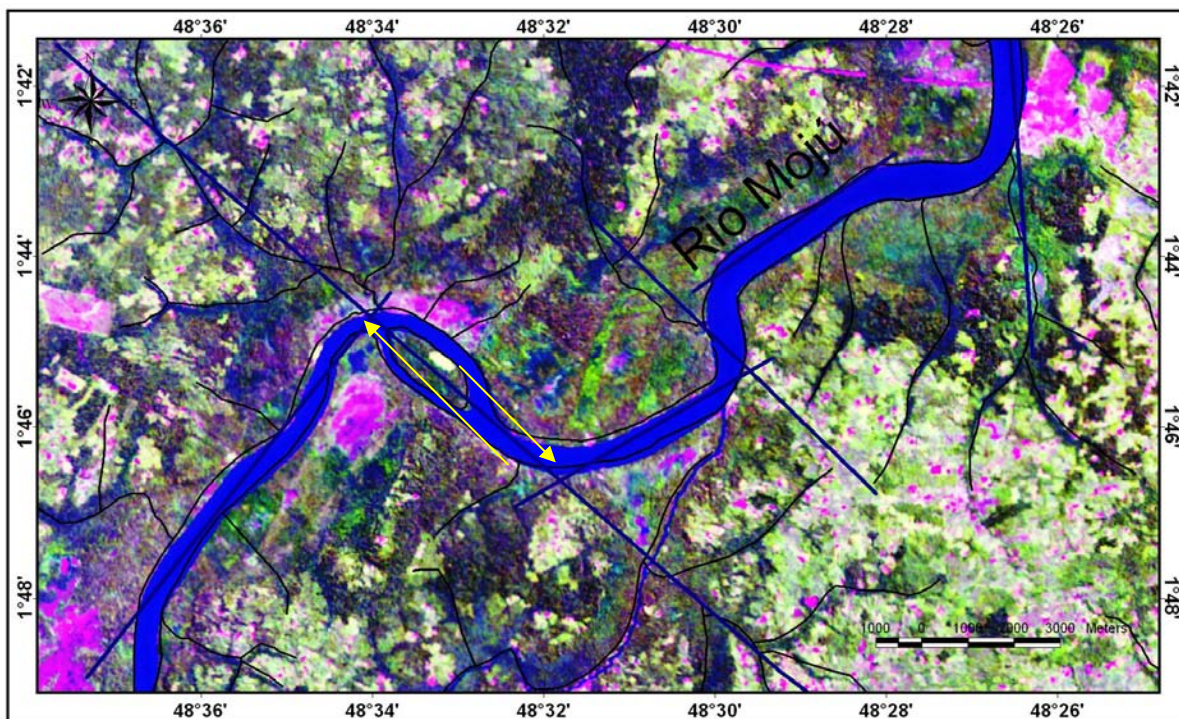
Os tributários que deságuam nas baías do Guajará e Marajó, agrupadas neste trabalho sob a denominação de Bacia Litorânea, e furos importantes como o das Marinhas, da Bela Vista e do Cotovelo, apresentam importantes inflexões associadas à presença de anomalias de drenagem. Exemplo destas são as formas em arcos, cotovelos, meandros isolados e segmentos retilíneos amplamente encontrados nesta bacia.

As micro-bacias dos rios Mocajutuba, Maguarí, Benfica, Paricatuba e Araci, apresentam anomalias em arcos, cotovelos e meandros isolados entre trechos retilíneos, conforme mostrado nas figuras 30 a 32.

Uma feição importante é o alinhamento das nascentes do rio Maguariaçú e do igarapé Água Preta, o qual pode ter uma influência neotectônica, visto que o lago Água Preta apresenta direção principal N-S, sofrendo inflexão para NE próximo a sua nascente, e o Igarapé Maguariaçú, e outros igarapés tem orientação NE coincidentes com uma direção de movimentação, correspondente no modelo proposto por Igreja (1990) onde as falhas normais NW-SE são interceptadas pelas falhas de transferência NW-SE, indicativos de movimentação dextral do sistema (Figura 48).

Segundo Igreja (*op cit*) as ilhas guajarinas são porções aflorantes de *ridgers* relacionados ao processo de extensão litosférica, ainda hoje ativos, aonde os prismas sedimentares terciários vem sendo soerguidos em função da rotação de “cunhas” que acontece com a progressão da deformação, ou seja, a formação de tais ilhas tem origem predominantemente tectônica. Estas são notavelmente retangulares ou losangulares. tendo sempre a maior aresta orientada segundo NE-SW (Figura 49).

Na parte norte da ilha de Cotijuba, vários navios e embarcações de pequeno e médio porte já afundaram por colidirem com rochas submersas do Grupo Barreiras, cobertas por fina lâmina d'água como pode ser visto na carta náutica dessa região; esse fato reforça a idéia de que essas ilhas não são formadas somente por sedimentos quaternários mais também, por rochas do Terciário (Figura 50).



*Figura 47 - Falhas transcorrentes dextrais, reconhecidas através da análise da rede de drenagem e de elementos morfológicos da paisagem nos Rios Mojú e Acará.*

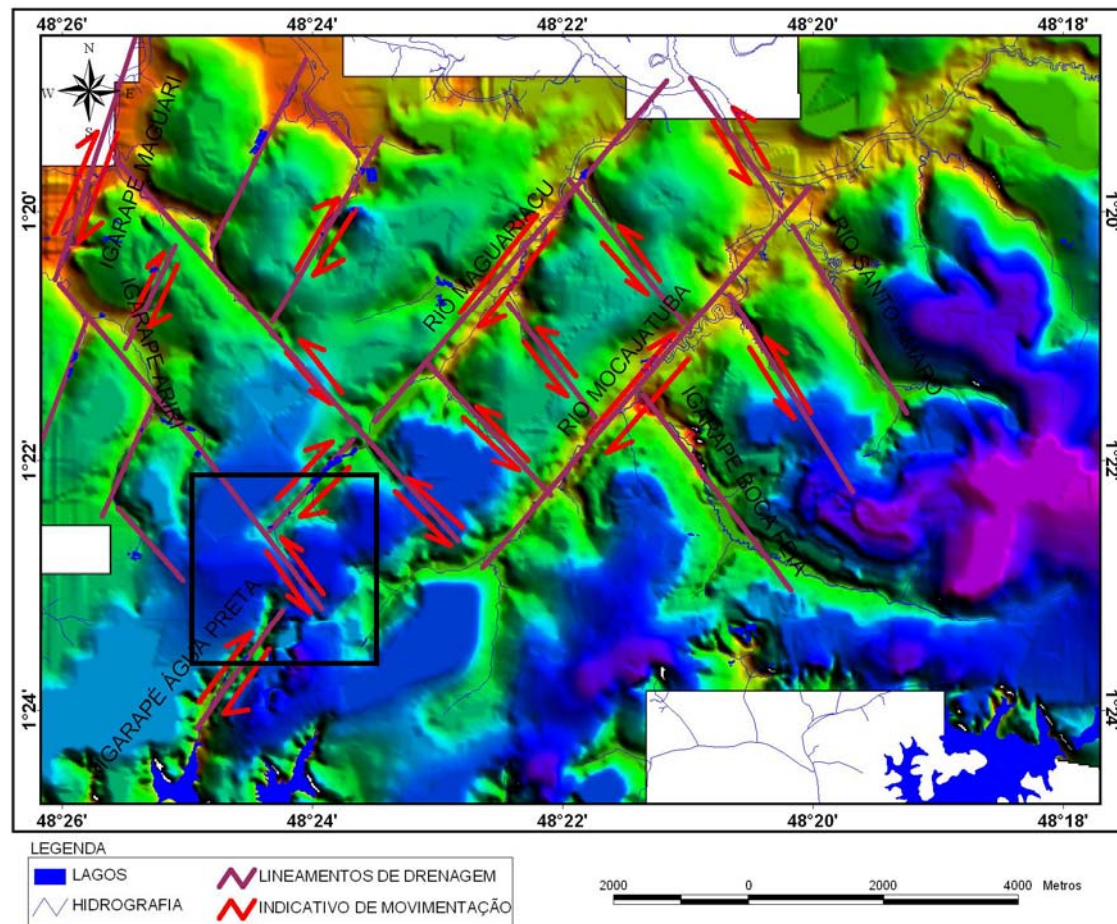


Figura 48 - Feição importante e o alinhamento das nascentes do Rio Maguariçú e do igarapé Água Preta, mostrando haver uma interação dessas drenagens por movimentação neotectônica, ver no detalhe indicativo de movimentação-RMB/Pará..

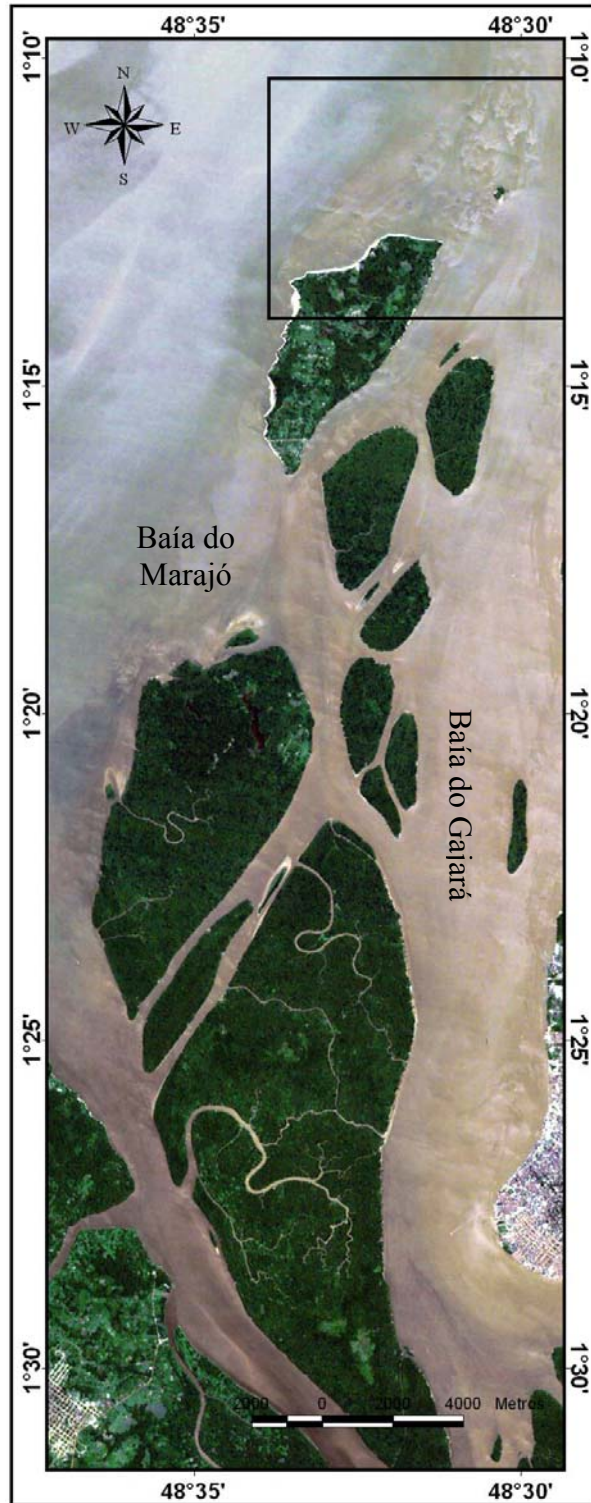


Figura 49 - Formato das ilhas Guajarinhas notavelmente retangulares ou losangulares, tendo a maior aresta orientação NE-SW.



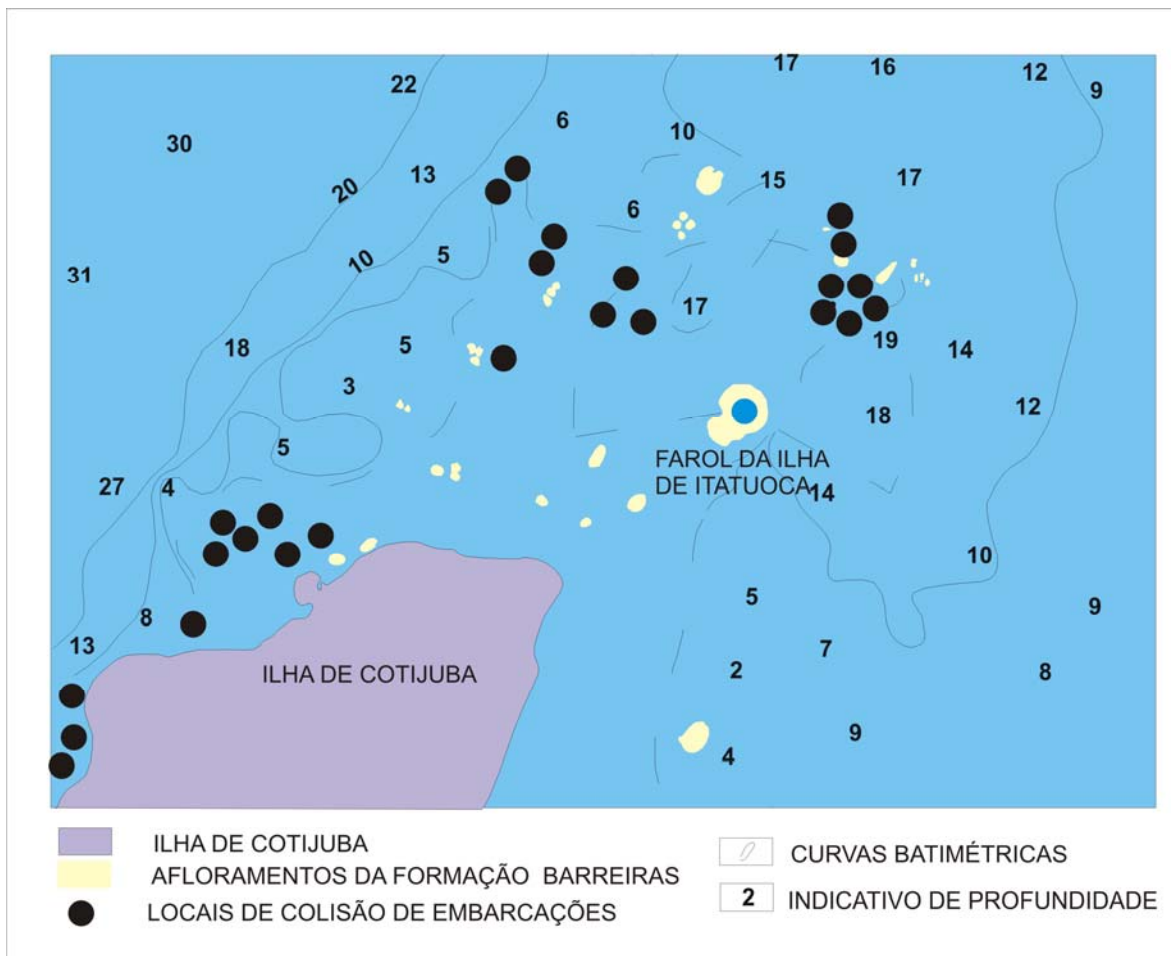


Figura 50 - Detalhe na parte norte das ilhas guajarinhas mostrando a baixa profundidade e a presença de rochas do Grupo Barreiras, fator que tem contribuído para a colisão de embarcações nessa área (localização na figura 49). Fonte: Carta Náutica da Marinha.

## 4.5 GEOMORFOLOGIA

Para a análise do relevo, tanto regional como localmente, foi elaborado o mapa morfotectônico (Figura 51) e vinte e duas seções para mostrar a variação do relevo da área. Estas seções foram construídas a partir dos dados *SRTM*, em meio digital, utilizando o software *Global Mapper*

As vinte e duas seções confeccionadas englobaram todas as bacias estudadas, nestas foi possível estabelecer as relações entre as formas de relevo e as possíveis interações neotectônicas, mostradas em mapa.

O relevo da área está relacionado à unidade morfoestrutural Planície Amazônica e Planalto Rebaixado da Amazônia. São característicos relevos tabulares, com altitudes variando até 60 metros de altitude, recortados pelos principais rios que compõem a área de estudo, Acará, Mojú, Guamá, Pará e Marapanim, os quais, no geral, apresentam evidências de pedimentação (aplainamentos laterais) em seus vales. Através da análise geomorfológica constatou-se que a dissecação fluvial, condicionada a direções específicas, é um fator muito importante na elaboração do relevo, propiciando a formação de relevos degradacionais e agradacionais (Figura 51).

O relevo é sustentado pelo Grupo Barreiras, com suas coberturas lateríticas, além dos depósitos argilo-arenosos na Formação Pós-Barreiras. Corresponde à superfície de pediplanação pliocênica gerada pelo ciclo Sul-Americano de King (1956).

A sustentação dos níveis de topo por tipos litológicos particulares, a exemplo dos perfis lateríticos presentes na área, propiciam também a formação de relevos residuais, tais como morros residuais que gradam para uma superfície ondulada (colinosa) na base do relevo, constituindo o sistema de relevos de degradação da área.

As planícies fluviais formam áreas aplainadas ao longo das margens dos rios, constituindo o sistema de relevos de agradação da área.

Regionalmente a mesma subdivisão da área empregada para o estudo da drenagem foi mantida para o estudo morfotectônico, compreendendo, assim, 5 áreas distintas

### Sistemas de relevo

A partir da análise de fotografias aéreas, imagens *landsat* com fusão pancromática de 15 metros, assim como através de análise de cartas topográficas do IBGE na escala 1:100.000 e 1:50.000, e imagens de Radar SRTM, com grade de 90 metros, foram identificados no mapa morfotectônico os seguintes sistemas de relevo:

#### **1) Relevo de agradação**

##### **Planícies fluviais**

As áreas aplainadas ao longo das margens dos rios demonstram esse tipo de feição geomorfológica, presente por todo o perímetro estudado. A área de maior ocorrência desta feição geomorfológica está localizada na Bacia Litorânea, como pode ser visto em mapa na figura 51, e figura 52 seções 01, 02, 14, 15, 16, 21 e 22. Nestas seções é possível observar que em torno da cota de 20 metros há a quebra de relevo que limita esta unidade. Essas quebras em mapa apresentam direção NE-SW, interceptadas por quebras NW-SE, direção esta coincidente com as principais direções de lineamentos definidas na análise de lineamentos desta bacia Figura 41.

Outras importantes ocorrências desta feição ocorrem em outras bacias da área com direções principais de quebra sempre acompanhando a direção principal da drenagem e suas inflexões. Na bacia do rio Marapanim as direções de quebra de relevo seguem a direção NE-SW, interceptadas por direções E-W como na parte norte da Bacia Litorânea (Figura 51 e Figura 52 seção 20).

Na bacia do Rio Guamá esta unidade tem direção de quebra de relevo E-W interceptadas por direções N-S. É possível observar nesta bacia na parte sul da RMB, que a margem direita apresenta a planície de inundação muito maior do que a margem esquerda,

fazendo com que essa seja uma área de influência direta das marés estando estes terrenos sujeitos a inundações periódicas e, segundo Lima (*op cit*) a ocorrência de diversos níveis de terraços em uma margem contrastando com a ausência dos mesmos na outra margem pode ser indicadora de movimentação neotectônica (Figura 52 Seção 19). As seções sete e treze também apresentam as características que delimitam esta unidade, mostrando a quebra acentuada em torno de vinte metros.

Na bacia do Rio Acará – Mojú esta unidade está intimamente ligada às anomalias apresentadas nestes rios, onde é possível observar na figura 52, seções 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13 e 18 que assim como nas outras áreas de ocorrência anteriormente descritas, o limite desta unidade está em torno de 20 metros e que em alguns locais observa-se como nas seções 8 e 9 o contraste de área de ocorrência desta unidade em margens diferentes, que segundo Lima (*op cit*) pode ser indicadora de movimentação neotectônica, sendo que nestes locais ocorre uma anomalia importante no Rio Mojú, o que pode ser visto na figura 47.

Na bacia do Rio Pará esta unidade de relevo ocupa áreas que margeiam este rio e são limitadas por quebras de direção N-S, NE-SW e E-W, como pode ser visto na figura 51, essas direções de quebra são compatíveis com a rosácea dos lineamentos de drenagem deste sistema de drenagem (Figura 45).

As seções 12, 17 e 18 da figura 52, mostram que há vários patamares de quebra, provavelmente causados por interação da neotectônica ligados a importantes alinhamentos de drenagens presentes neste sistema de drenagem (Figura 38).

## **2 ) Relevo de degradação**

### **Relevo Colinoso**

Este sistema de relevo corresponde à base do relevo de degradação, mostrando-se levemente ondulado. É caracterizado por colinas pequenas e médias, com perfis convexo-côncavos, baixa declividade e vales abertos de fundo chato (Figura 52, Seções 13, 18, 20, 21 e 22).

Na RMB ocupa a parte sul e é um tanto restrito. Já no restante da área ocupa a parte leste, ocupando amplas áreas ao longo dos principais rios. Mostra, no geral, o alinhamento das colinas NE-SW e NW-SE. Este sistema está assim distribuído nas bacias: Guamá, Acará – Mojú, Litorânea, Marapanim e Pará.

A passagem deste sistema de relevo para o relevo de morros e morrotes é suave o que denota pouca diferença em termos da competência mecânica do material dissecado.

### **Relevo de morros e morrotes**

Este sistema de relevo funciona como o principal divisor de águas das bacias da área, onde a dissecção do relevo é mais alta e intensa e forma mesas e morrotes residuais como resultado desse processo.

As unidades de morros apresentam-se tanto extensas quanto restritas, mostram topos abaulados com encostas suavizadas ou agudas de média a alta declividade. Os perfis são convexo-côncavos, com vales abertos (Figura 52 Seções 13, 18 e 20) .

As unidades de morrotes são geralmente alongadas, têm topo abaulado ou agudo, com média a baixa declividade, formando vales abertos e perfis convexo-côncavos.

Ambas as unidades apresentam topos alinhados para NE-SW sendo esta a direção mais freqüente, NW-SE e subordinadamente N-S. Esse alinhamento coincide com a principal orientação de lineamentos de drenagens encontradas na área, sendo essa feição mais destacada na parte norte da área (Figura 51).

Na Bacia Litorânea, na qual se situa a maior parte da RMB, a intersecção dos planos estruturais com a superfície topográfica define lineamentos e forma escarpas onde se mantêm preservado o material laterítico do Grupo Barreiras. Estas estão presentes principalmente nas ilhas de Outeiro e Mosqueiro, na parte norte da RMB.

No geral, trata-se de escarpas de média a alta declividade, sugerindo que a atividade tectônica responsável por sua formação seja recente.

Essas escarpas são mostradas nas seções esquematizadas nas figuras anteriores, nas quais é possível observar a declividade alta a média, principalmente próximo às margens dos rios estudados.

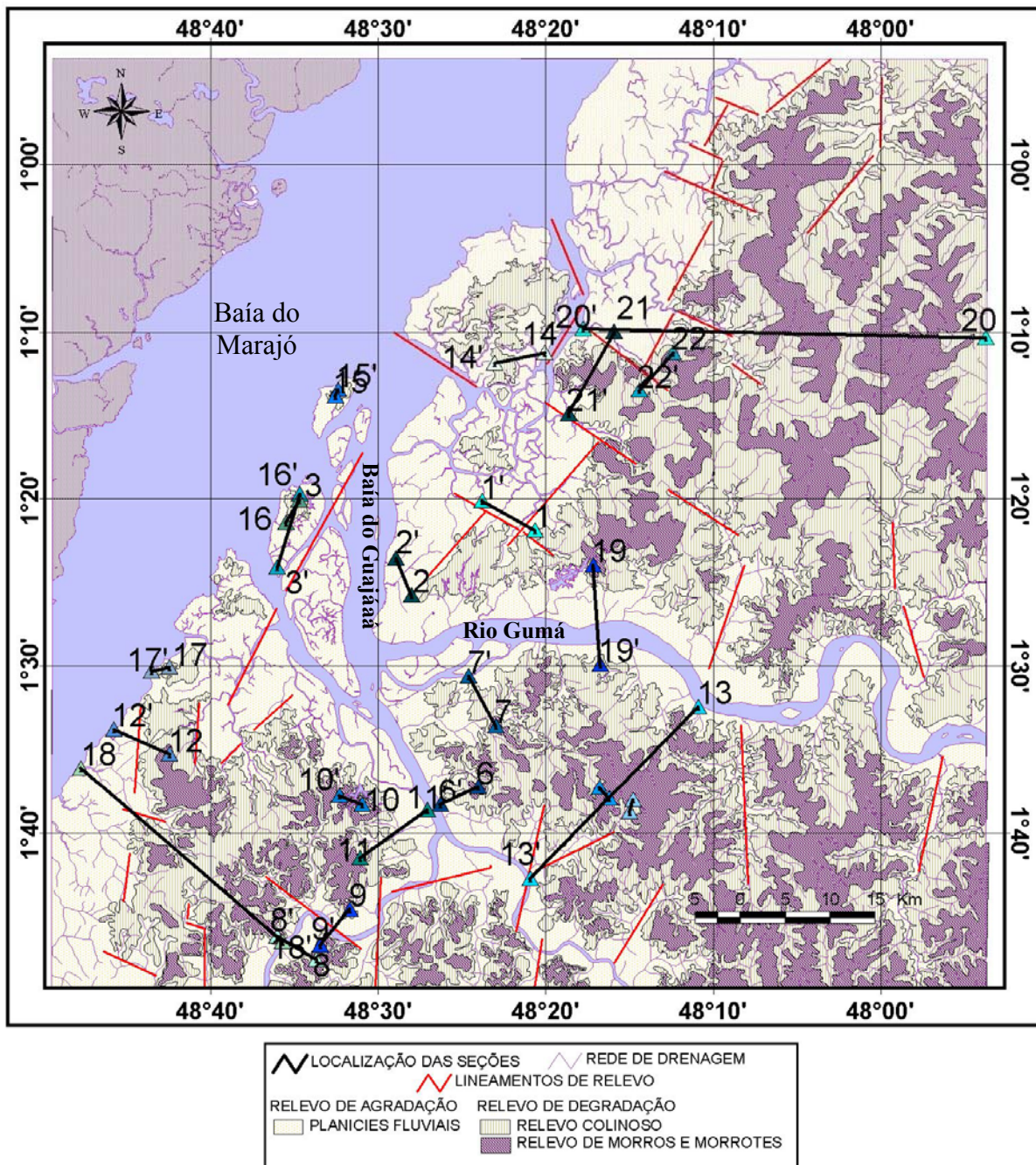


Figura 51 - Mapa morfotectônico Regional mostrando as principais variações do relevo e o posicionamento das seções acima descritas.

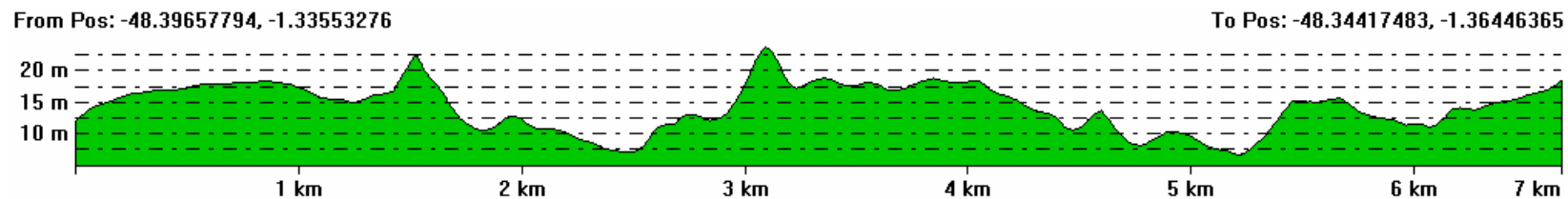


Figura – 52 - Seção 01 – Perfil mostrando as feições em vales abertos dos rios mocajatuba e maguari.

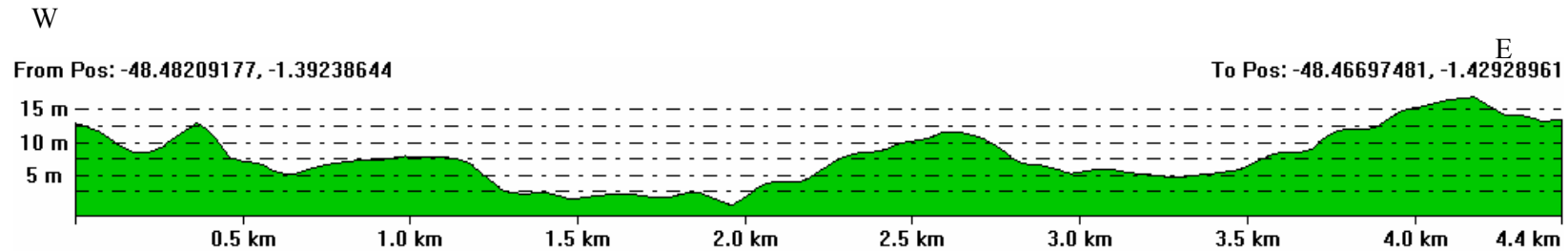


Figura – 52 - Seção 02 - Perfil mostrando as feições em vales abertos dos igarapés Val de Cans e Una. Observar o caimento do relevo mais suave para NW

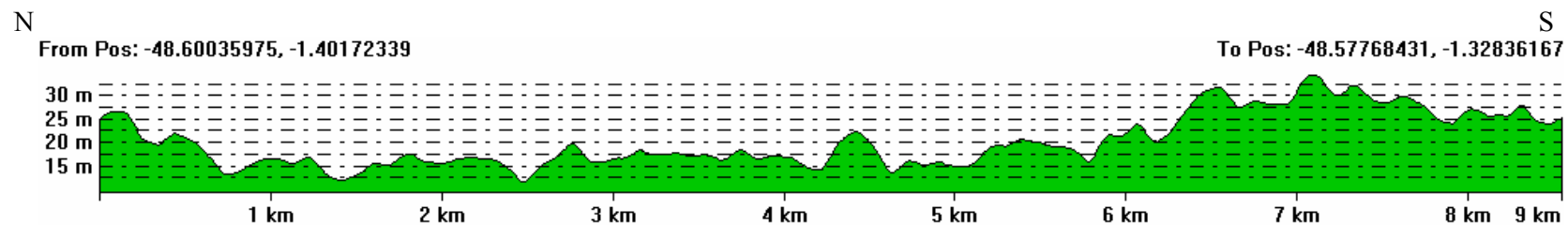


Figura – 52 - Seção 03 - Perfil mostrando as feições geomorfológicas na ilha de Arapiranga. Notar importante quebra de relevo

W

E

From Pos: -48.28005140, -1.62111700

To Pos: -48.27010187, -1.63236429

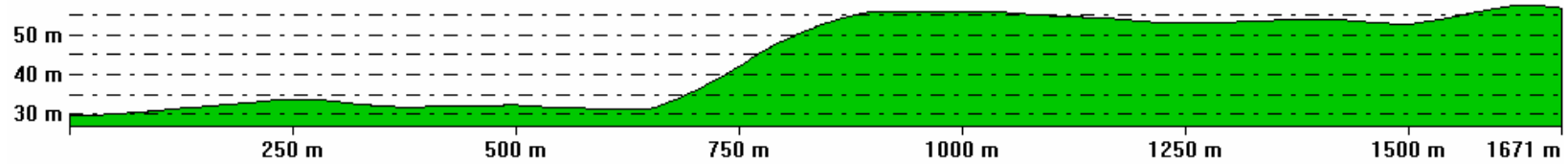


Figura – 52 - Seção 04- perfil mostrando a passagem do relevo colinoso para o relevo de morros e morrotes.

1

2

From Pos: -48.24977022, -1.64577453

To Pos: -48.24630951, -1.63366206

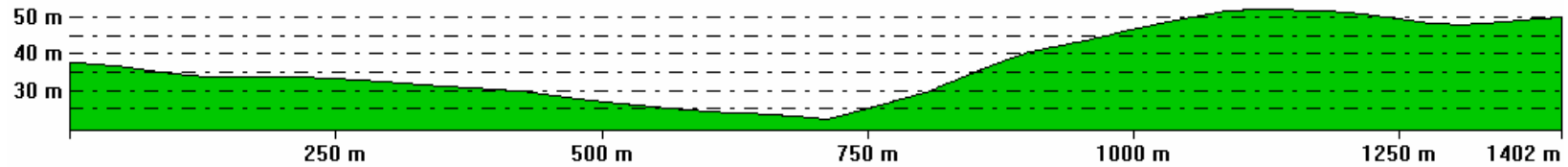


Figura – 52 - Seção 05 – perfil mostrando a passagem do relevo colinoso para o relevo de morros e morrotes.

W

E

From Pos: -48.43794611, -1.63842053

To Pos: -48.40074352, -1.62068441

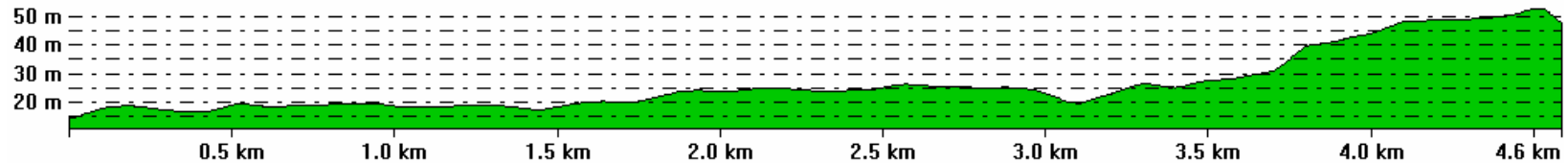


Figura – 52 - Seção 06 - perfil mostrando a passagem do relevo de planície para o relevo colinoso, as margens do rio mojú



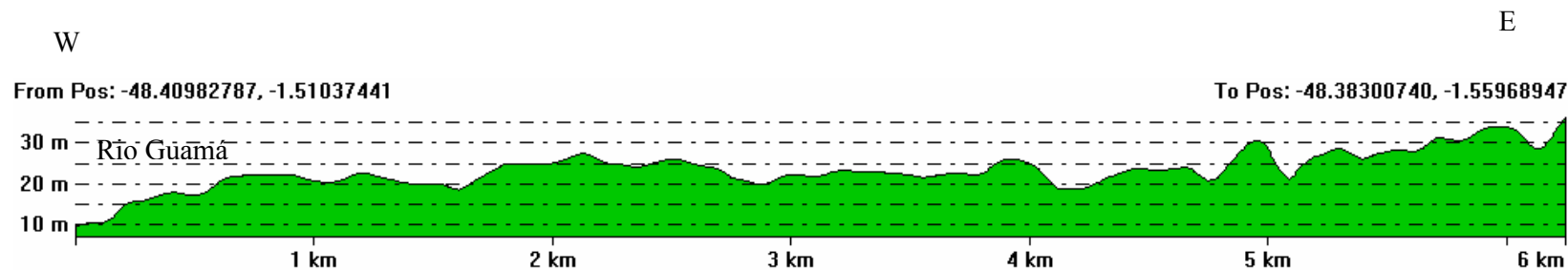


Figura – 52 - Seção 07 –perfil mostrando a passagem do relevo de planície para o relevo colinoso, as margens do rio Guamá

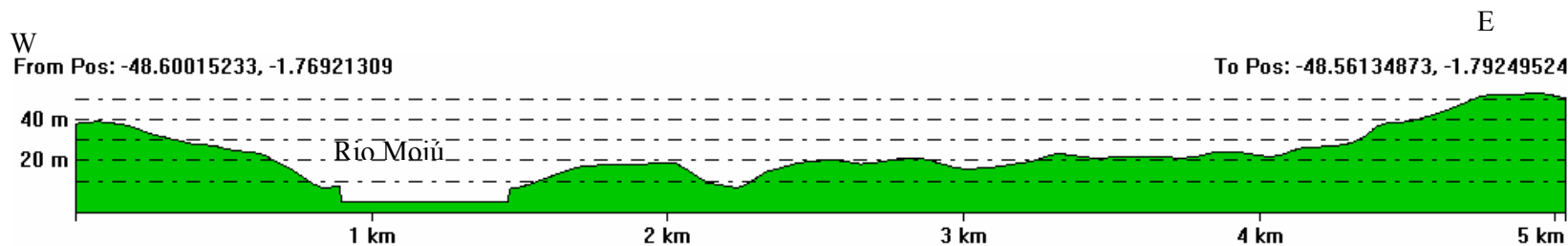


Figura – 52 - Seção 08 – perfil atravessando transversalmente o Rio Moju a montante de uma importante anomalia de drenagem. Notar importante diferença na relevo de uma margem a outro do rio.

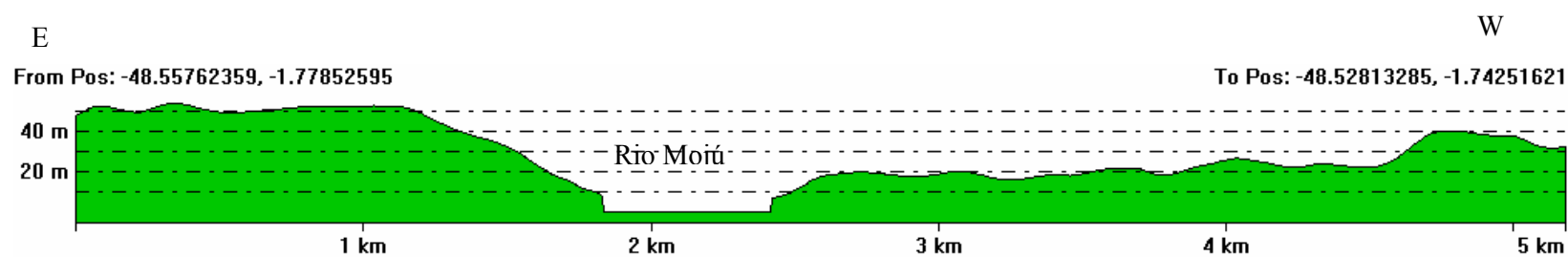


Figura – 52 - Seção 09 perfil atravessando transversalmente o Rio Moju a jusante de uma importante anomalia de drenagem. Notar importante diferença na relevo de uma margem em relação a outra..

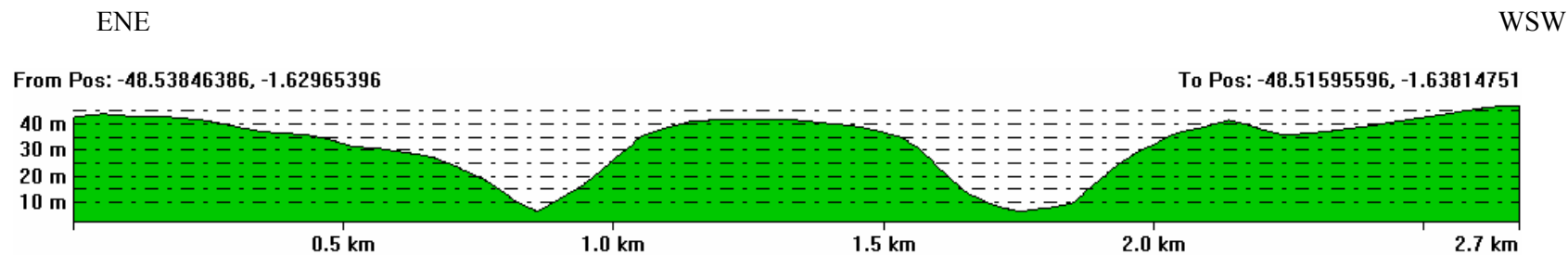


Figura – 52 -Seção 10 – perfil sobre anomalia de drenagem na bacia do Rio Acara - Mojú mostrando a brusca quebra de relevo nesta área.

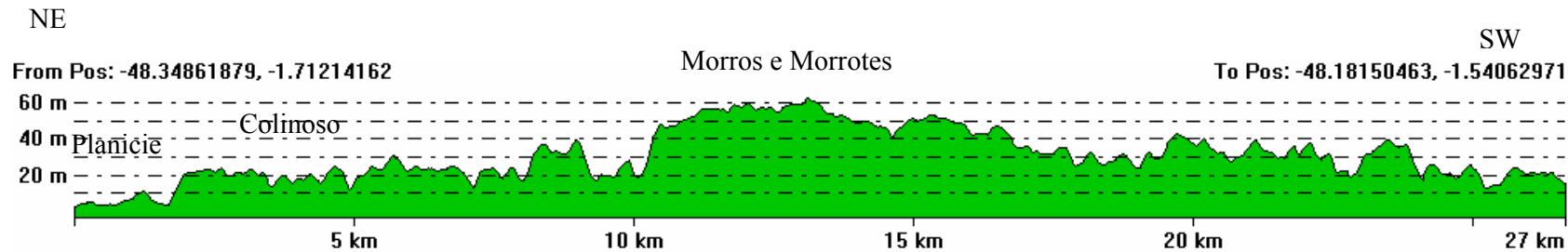


Figura – 52 - Seção 13 – perfil geral atravessando as bacias dos rios Guamá e Acara-Mojú – mostrando a variação dos sistemas de relevo de agradação de de degradação.

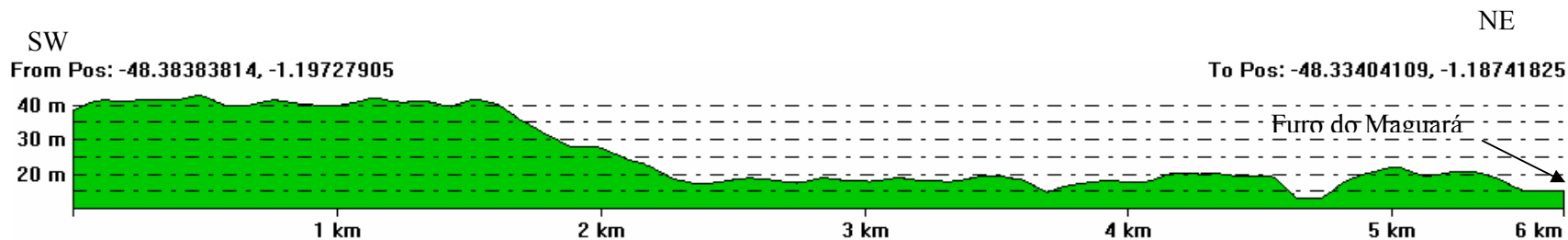


Figura – 52 -Seção 14 – Perfil mostrando a brusca variação do relevo colinoso para o relevo de planície na ilha de mosqueiro.

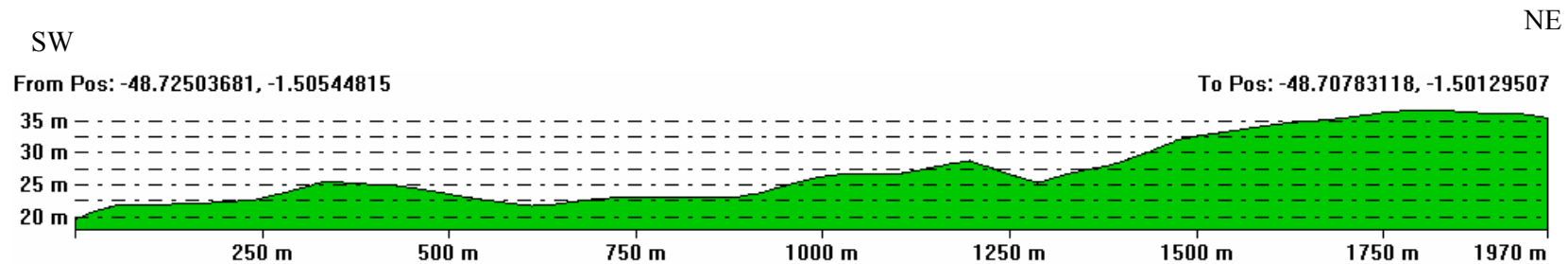


Figura – 52 - Seção 17 – Perfil mostrando a variação do relevo de planície ate o relevo colinoso na bacia do Rio Pará.

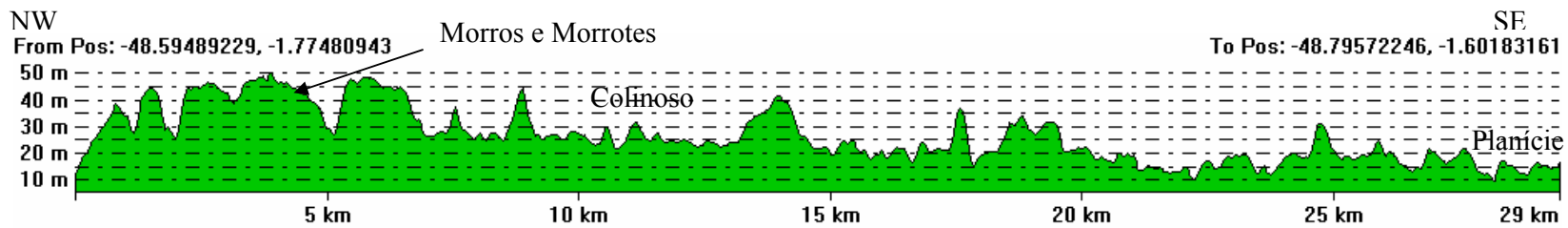


Figura – 52 -Seção 18 - perfil geral atravessando as bacias dos rios Pará e Acará-Mojú mostrando a variação dos sistemas de relevo de agradação e de degradação.

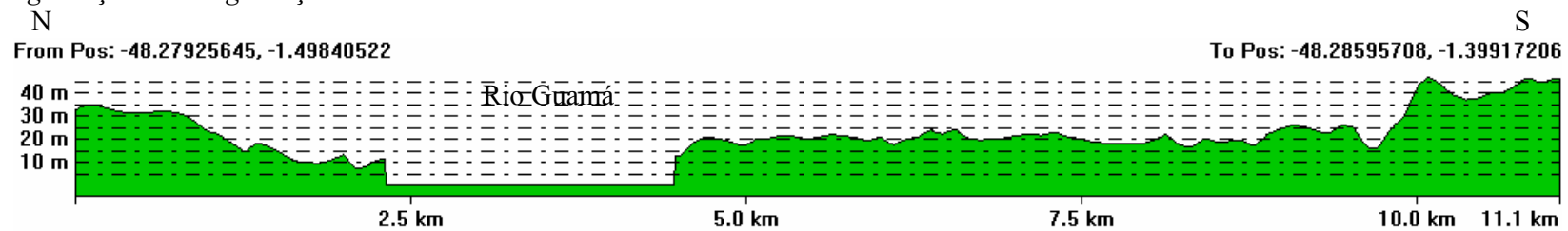


Figura – 52 -Seção 19 – Seção atravessando a rio Guamá mostrando o contraste de área ocupada pela planície em margens diferentes.

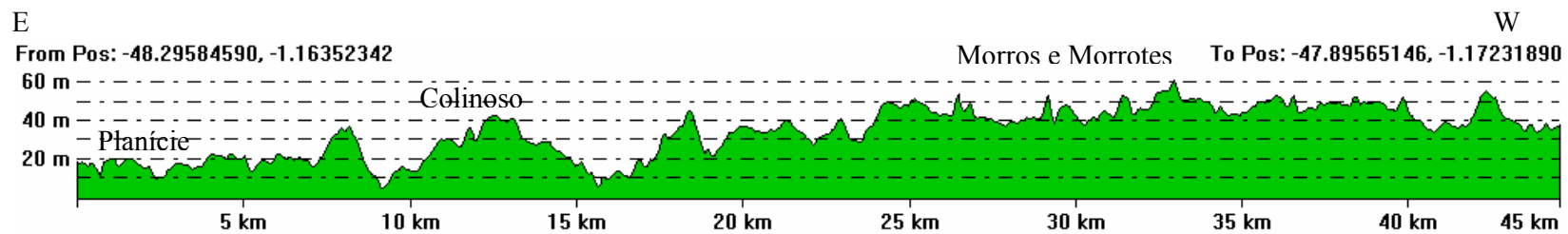


Figura – 52 - Seção 20 - perfil geral atravessando a bacia Litorânea e a Marapanim mostrando a variação dos sistemas de relevo de degradação de degradação.

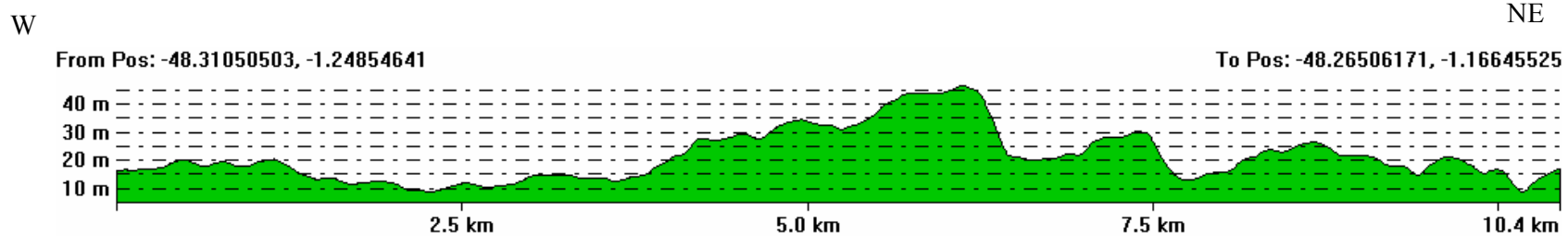


Figura – 52 - Seção 21 – perfil mostrando inclinação bastante pronunciada do relevo em um flanco contrastando com o outro flanco que mostra inclinação suave, podendo haver possível basculamento de blocos neste local.

Figura 52 - Seções esquemáticas do relevo da área (ver localização na figura 51).

E

## **4.6 ANÁLISE INTEGRADA**

A análise integrada da rede de drenagem e do relevo, associadas às informações da geologia de terreno, permite esboçar para a RMB um arranjo geométrico bidimensional onde se destacam polígonos, na sua grande maioria losangulares, desenhados por alinhamentos de drenagens e de relevo (Figura 53).

Os padrões de drenagem tais como treliça, retangular, paralelo e anostomótico e as anomalias de drenagens tais como: retilinearidade, aparecimento abrupto e localizado de meandros, meandros comprimidos, desenvolvimento abrupto e localizado do canal anostomótico, estreitamento anômalo de vales ou canais, diques marginais isolados (levées), e curvas anômalas e, ainda, a ausência de divisor de águas com o desenvolvimento de lagos, aparecimento brusco de canal do tipo entrelaçado, grande incidência de terraços, assimetrias distintas com relação ao comprimento dos seus afluentes, foram encontradas em diversos setores na área estudada. Estas reforçam a interpretação da existência de um controle estrutural que explicaria não apenas esses padrões e anomalias, bem como a configuração desse mosaico a qual associando-se uma terceira dimensão configurada pela propagação em subsuperfície de descontinuidades estruturais definem um conjunto de blocos tectônicos de várias dimensões.

A análise geométrica do padrão esboçado na figura 53 mostra que a RMB pode ser compartimentada, grosso modo, em dois setores distintos a saber: o primeiro setor a S e SE com blocos bem definidos; e o segundo a N e NW no qual os blocos não possuem uma forma geométrica regular, a seguir descritos.

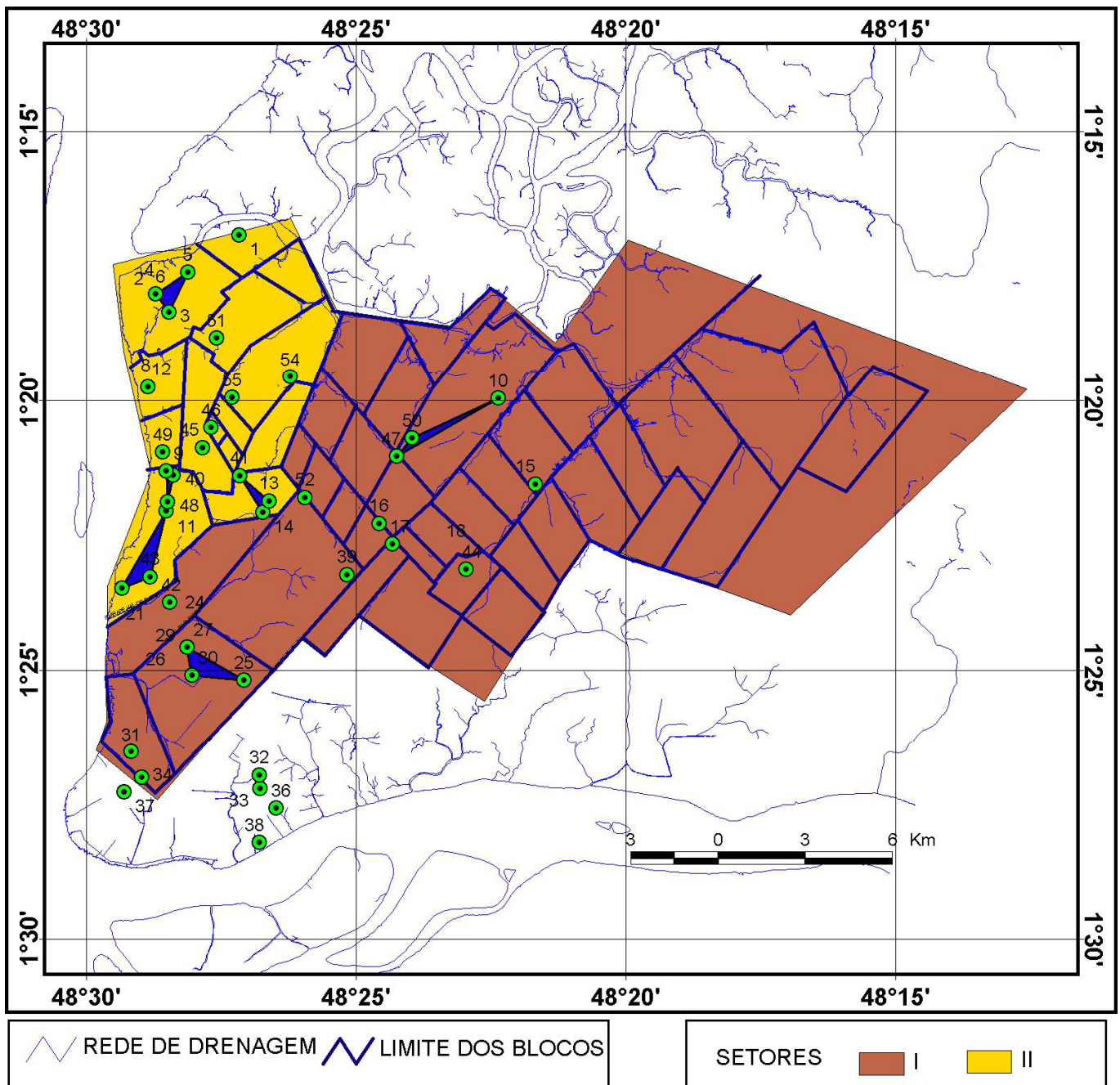
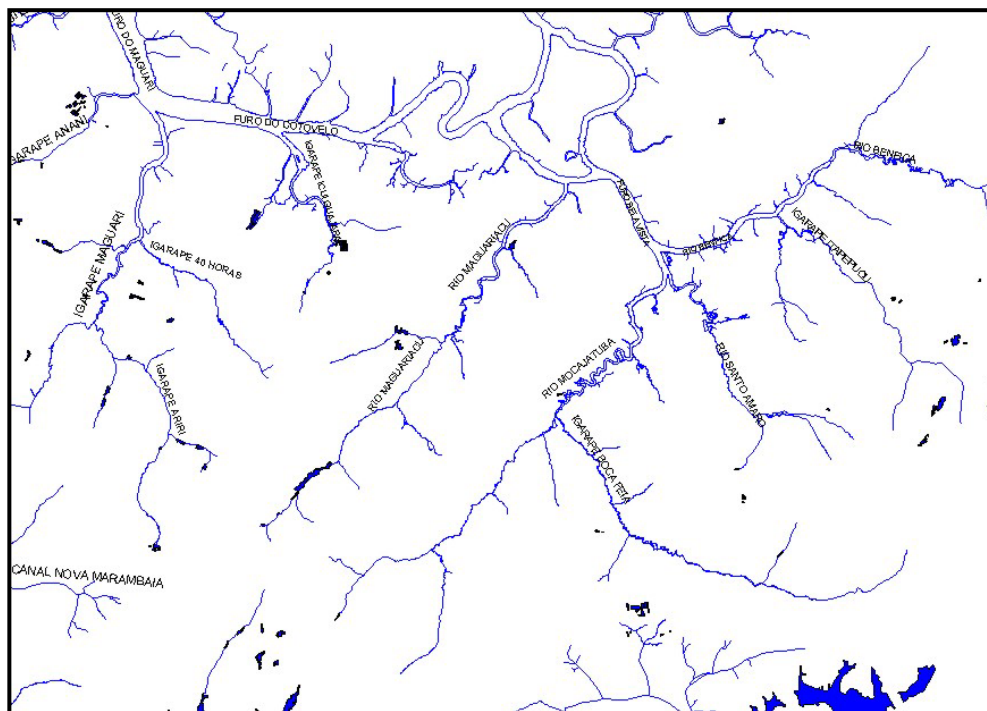


Figura 53 - Delimitação de setores e de poliedros tectônicos em grande parte losangulares em parte da RMB.



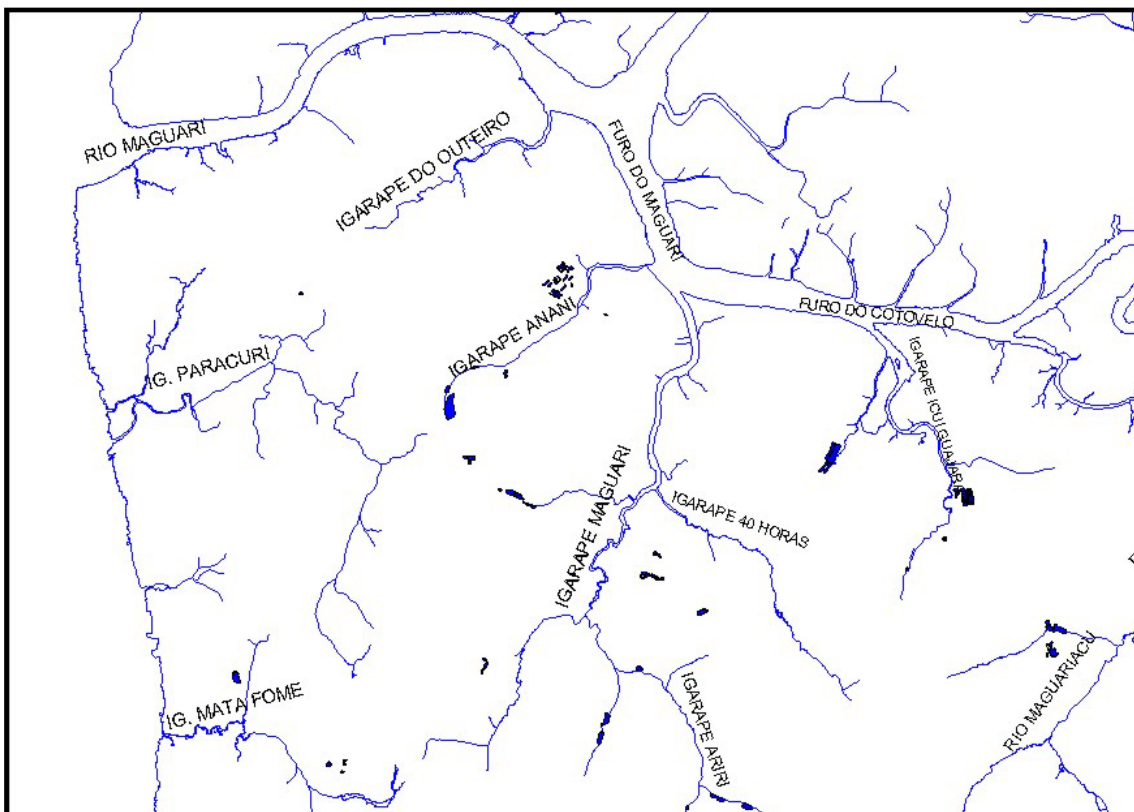
## 1. SETOR I

O setor I caracteriza-se por lineamentos maiores, de direção NE/SW seccionados por lineamentos menores de direção NW/SE, definindo blocos internos menores. Apresentam sentidos do vetor de caimento da topografia predominantemente para NW. Os blocos maiores apresentam dimensões da aresta maior em torno de 8-10 km e a aresta menor em torno de 3 km, e os menores apresentam dimensões de 3 por 3 km. Os blocos têm forma notadamente losangular, com direção do eixo principal NE-SW, e os blocos internos menores NNE-SSW. Os blocos maiores são limitados pelas drenagens de mais alta ordem, que na área são representados pelos Rios Maguariaçú, Mocajutuba e Benfica, e pelos igarapés São Joaquim e Val de Cans. Os blocos menores, por sua vez, são limitados pelos igarapés Boca Feia, Itpecurú e Santo Amaro, pelo furo da Bela Vista e também pelo rio Benfica quando este faz uma curva de aproximadamente 90° a altura da Vila de Benfica (Figuras 54).

*Figura 54 - Detalhe do setor I mostrando a disposição da rede de drenagem encaixadas em direções preferenciais que delimitam blocos-RMB/Pará*

## 2. SETOR II

São também encontrados lineamentos maiores de direção NE/SW seccionados por lineamentos menores de direção NW/SE. No entanto, não há um padrão de configuração geométrica homogênea como o existente no setor I. Os blocos não possuem uma forma geométrica específica e são encontrados na parte N e NW da área de estudo. A direção do vetor de caimento da topografia é bastante variada. Os blocos maiores apresentam dimensões variadas com as arestas maiores tendo de 2 a 6 km, e as arestas menores variando de 1 a 3 km, e os menores apresentam, também, dimensões variadas tendo suas arestas de 1 a 3 km. Os blocos maiores são limitados pelas drenagens de mais alta ordem, e na área são representados pelo Rio Maguari e pelos igarapés do Paracurí, Tapanã, Anani, Outeiro, Mata Fome e Maguari. Os blocos menores são delimitados pelos afluentes das drenagens anteriormente citadas, sem denominações conhecidas (Figura 55).



*Figura 55 - Detalhe do setor II mostrando a disposição da rede de drenagem apresentando um padrão de multiorientação.*

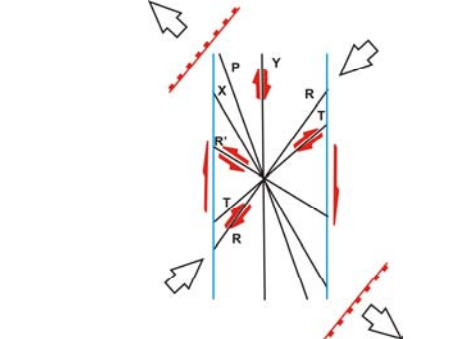
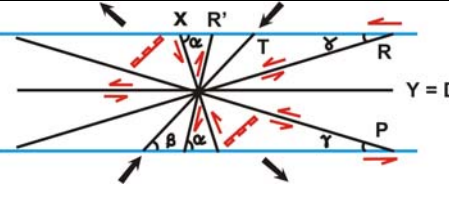


## 4.7 ASPECTOS CINEMÁTICOS

A integração e a análise das informações dos aspectos geométricos do relevo e da drenagem permite associar esses elementos a um controle de base tectônica expressando os mesmos aspectos estruturais impressos sobre os diversos litotipos presentes na área.

Esses elementos do meio físico representam em grande medida, a manifestação de descontinuidades mecânicas que podem ser relacionados a modelos de deformações.

Nesse caso o modelo que se baseou para compatibilizar e explicar esses elementos estruturais geométricos foi o de *Riedell* que trata da deformação rúptil não coaxial expressando assim uma interpretação aritmética dessas descontinuidades. Os dois setores mostram freqüência distinta das descontinuidades presentes e diferenças em termos das orientações destes. Compõem, dessa forma, domínios estruturais distintos que podem ser melhor enquadrados em dois contextos diversos em termos de esforços. O setor I tem suas estruturas compatibilizadas ao funcionamento de um binário dextral, enquanto o setor II melhor se encaixa na atuação de um binário sinistral, conforme já estabeleceu Pallheta (2004) em tratamento estrutural para a ilha de Mosqueiro. As duas situações em termos das descontinuidades presentes são mostradas na Figura 56

<p><b>Setor I</b></p>	<p>P = N 10° - 25° W  R = N 30° - 40° E  Y = N - S  X = N 25°-40° W  R' = N 40° - 55° W  *FN = N40°- 60°E</p>	
<p><b>Setor II</b></p>	<p>P = N50°- 70°W  R = N60°- 70°E;  Y = W - E  X = N20°- 40°W  R' = N-S;  *FN = N30°- 50°E</p>	

\* Falha Normal

Figura 56 - Compatibilização de elementos geométricos do meio físico (descontinuidades) ao modelo de Riedell proposto para os dois setores.

No setor I a movimentação principal acontece segundo os lineamentos NE/SW com indicação de deslocamento eminentemente dextral, o que pode ser comprovado pela geometria do bloco e pelas formas em “Z” nas drenagens de direção NW-SE, que são interceptadas por esses lineamentos. A movimentação dos blocos internos é eminentemente sinistral o que pode ser comprovado pelas formas em “S” nas drenagens de mais alta ordem de direção NE-SW (Figura 56).

No setor II o modelo cinemático encaixa-se no proposto por *Palheta (op cit)*, onde é possível observar que a movimentação principal é dada pelos lineamentos NE/SW com indicação de movimentação sinistral, o que pode ser comprovado pela geometria do bloco e pelas formas em “S” nas drenagens de direção NW-SE, que são interceptadas por esses lineamentos. A movimentação dos blocos internos é dextral, sendo caracterizados pelas formas em “Z” nas drenagens de mais alta ordem de direção NE-SW (Figura 56).

As drenagens do setor I compostas pelos rios Maguariaçú, Mocajatuba e Benfica, estariam encaixadas, segundo o modelo proposto, nos planos trativos onde se desenvolvem falhas normais de direção NE – SW. Nesta mesma situação estariam também, o rio Maguari e os igarapés do Paracurí, Tapanã, Anani, Outeiro, Mata Fome e Maguari, que compõem o setor II. Estes segmentos são áreas de prováveis deslocamentos verticais e apresentam maior favorabilidade à penetração vertical da água, podendo ser considerado como zonas de recarga dos aquíferos rasos e profundos.

Alguns pesquisadores (Monteiro *et al.* (1992), Costa & El Robrini (1992), Cavalcante (1997), Borges *et al.* (1997), Costa *et al.* (1991) e Igreja *et al.* 1990), definiram como sendo os dois principais feixes de discontinuidades presentes nessa região: o primeiro de direção NE-SW, como relacionando à falhas normais, como as citadas para os setores I e II, e o segundo a falhas de transferência de direção NW-SE.

As zonas normais N50°-60°E, com fortes mergulhos para NW, estão caracterizadas por rotações nas camadas sedimentares, impondo aos acamamentos e aos níveis lateríticos do Grupo Barreiras, inclinação em direção ao continente (SE) que alcançam até 30°. Posicionados na direção desta zona, em camadas argilo-arenosas, encontram-se feições como *diapiros* de constituição lamosa e pequenos grabens, que estão também instalados em lateritas de aspecto cavernoso. Os planos de falha definidos por *slickensides* hematíticos e os *rods* hidroplásticos, gerados a partir de *clay ball*, estão posicionados em torno de N40°E

e mergulham cerca de 60-70/NW. As fraturas estão preenchidas por óxidos e hidróxidos de ferro, sendo que às vezes podem ser confundidas com gretas de contração e estruturas biogênicas ( Igreja *et al*, 1990)

Associados as zonas de zonas transferentes, dispostas na direção N40°-55°W e com mergulhos subverticais, ocorrem nos litotipos, principalmente argilosos, estruturas hidrolásticas como cataclasitos foliados descontínuos, porções elipsoidais menos deformadas posicionadas ao longo de zonas transcorrentes e argilitos fragmentados pelas interseções das falhas. Destingue-se duplexes direcionais distensivos, formando conjugações de *Riedel*. Estas falhas transcorrentes, de caráter geralmente sinistral seccionam em posição inclinada ou perpendicular as falhas normais ( Igreja *et al*, 1990).

Essas zonas produzem nas unidades migrações laterais, e provocam adelgaçamento e espessamento diferenciais das camadas, arqueamento e desnivelamento. Observa-se então, uma componente normal que permite o abatimento dos blocos ao longo desta zona. Além disso, elas são os principais segmentos para a deposição de lama e formações de mangues enquanto que as falhas normais são responsáveis pela construção e formação das falésias e praias a partir de escarpas de falhas herdadas.

As informações levantadas são condizentes a descritas por Igreja *et al*, (1990) onde é possível, então, estabelecer que a direção NW-SE representa aquela de maior estiramento ( $\sigma^3$ ), sendo a direção de maior encurtamento NE-SW. Esta distensão gerou as falhas normais de direção NE-SW. O padrão geométrico-cinemático decorrente da atuação desse regime de esforço certamente tem influência sobre a recarga dos aquíferos, além de dificultar a correlação estratigráfica desses aquíferos anteriormente contínuos e agora seccionados e deslocados por essas discontinuidades, visto que associado a esse sistema de falhamentos ocorreu à rotação dos pacotes sedimentares.

#### **4.8 GEOMETRIA DOS AQUÍFEROS**

Conhecendo o quadro estrutural geométrico e cinemático da área de estudo pode-se avançar sobre o entendimento da geometria dos aquíferos e propor um modelo tridimensional para os mesmos. Como mencionado no capítulo anterior, o arranjo espacial dos pacotes sedimentares foi modificado pela atuação da neotectônica, refletindo-se em mudanças no caimento das camadas que agora encontram-se em posições diferentes daquelas que tinham quando da sua formação. Essas mudanças influem sobre as

características dos aquíferos quanto a continuidade lateral, vazão, recarga etc. essa última considerando principalmente a proximidade das zonas de falhamentos.

#### **– Construção do Modelo de Geometria dos Aquíferos.**

Para a construção de um modelo tridimensional dos aquíferos foram executados uma série de atividades conforme explicitado no diagrama da figura 57 e a seguir descritas

#### **- Confeção e digitalização das seções.**

Para a confecção das seções geológicas foram utilizadas 40 perfilagens geofísicas e 21 relatórios técnicos de poços, cujas profundidades variavam de 30 a 300 m. (Tabela 6). Tomou-se como base para a correlação a cota de cada poço, obtido a partir da construção de um modelo digital de terreno utilizando os dados de topografia 1:2000 da CODEM.

No processo de digitalização, inicialmente definiu-se a localização das seções obedecendo às definições da neotectônica reconhecidos com base no estudo morfotectônico e representados pelos blocos estruturais visto no capítulo 4.6 definindo-se os perfis a serem utilizados na correlação (Figura 51) e, posteriormente, foram plotados em seção os perfis dos poços a serem correlacionados, utilizando os softwares SPRING e *Corel Draw*, respectivamente.

#### **- Avaliação dos resultados**

Foram confeccionadas 10 seções, sempre fazendo a correlação entre poços que pertencessem ao mesmo bloco tectônico, visto que poços de blocos diferentes não podem ser correlacionados pelo fato de que cada bloco se comportou de maneira diferente quando da atuação da neotectônica. A localização das seções está na figura 58.

#### **- Seções**

As seções litológicas interpretadas da área são mostradas nas figuras 59 a 75, a seguintes além do sentido de caimento das camadas em cada bloco é indicado adicionalmente um valor mínimo para esse gradiente em número inteiro em metros para uma determinada distância.

O mergulho das camadas foi obtido a partir da aplicação do método dos três pontos, que consiste na confecção de um mapa de gradiente de mergulho das camadas a partir da obtenção da profundidade de uma camada guia previamente escolhida, que seja bastante espessa e que apresente uniformidade de espessura. Os dados utilizados por esse

procedimento estão relacionados na Tabela 7 onde se apresenta, também, um resumo dos dados obtidos nos vários blocos analisados, e a Tabela 8 apresenta os parâmetros utilizados para a construção de cada seção geológica.

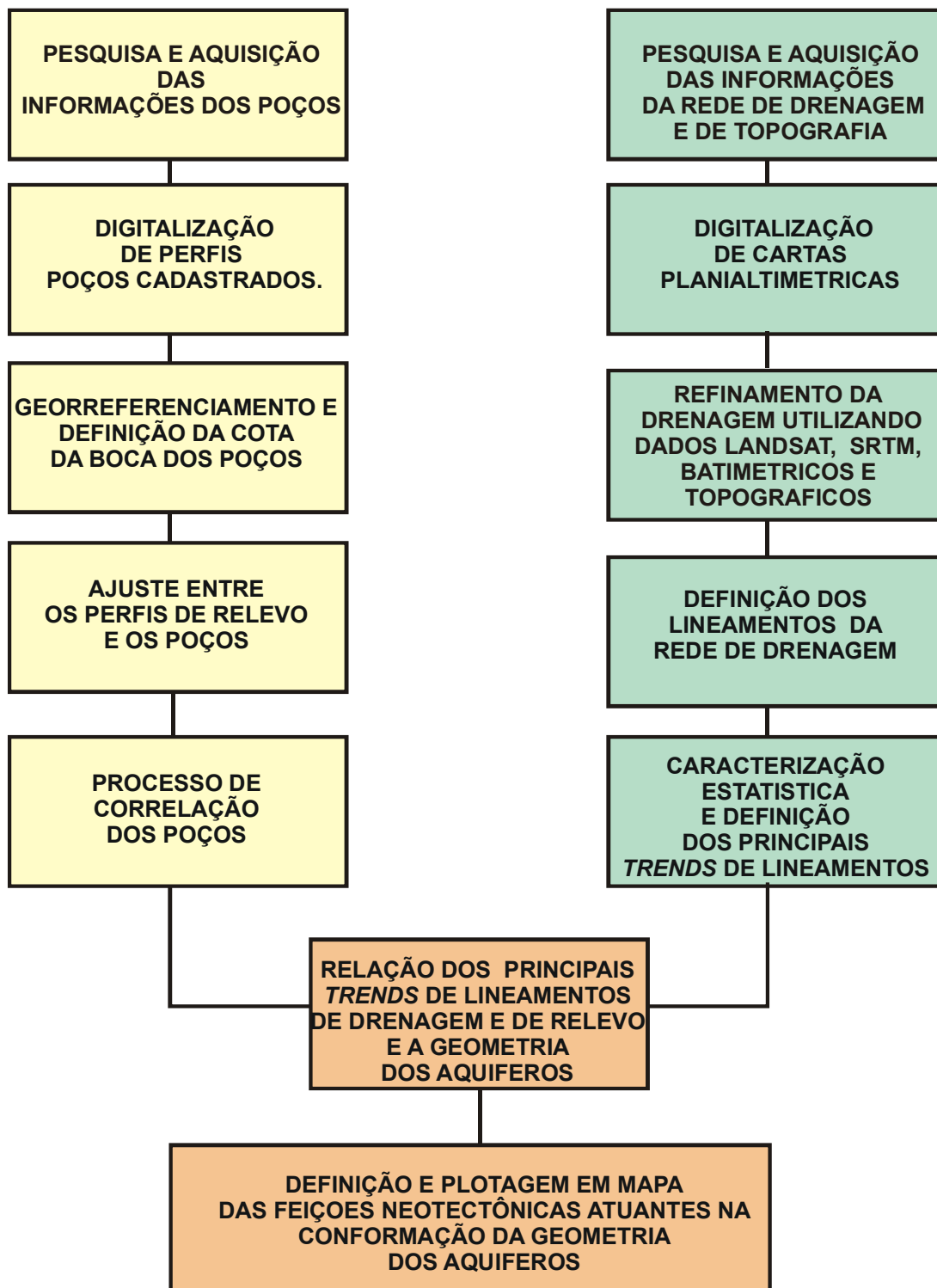


Figura 57 - Diagrama esquemático do processo de construção do modelo de geometria dos aquíferos da área estudada

Tabela 6 – Poços cadastrados e utilizados por diversos procedimentos empregado nesse trabalho

ID	POÇO	ENDEREÇO	PROFUNDIDA	LOCALIZAÇÃO	
				LONGITUDE	LATITUDE
1	38	augusto correa,s/n(ufpa-profissional)	250	-48 26 47	-1 28 12
2	36	terra firme	260	-48 26 29	-1 27 34
3	33	av. perimetral(NPI)	35	-48 26 47	-1 27 12
4	32	av. perimetral.	70	-48 26 48	-1 26 57
5	37	tv. Padre eutiqueo	60	-48 29 18	-1 27 16
6	35	tv.14 março, 1743,ed.alfredo de melo e	38	-48 28 59	-1 26 60
7	31	reduto	55	-48 29 10	-1 26 31
8	25	Dr. Freitas	75	-48 27 05	-1 25 11
9	30	marco	89	-48 28 03	-1 25 05
10	27	sacramenta	260	-48 28 08	-1 24 34
11	42	loteamento cdp-4, bairro providencia	275	-48 28 27	-1 23 45
12	43	aeroporto internacional de belem	160	-48 28 49	-1 23 16
13	20	base naval-01	105	-48 29 21	-1 23 29
14	11	rod. Arthur bernardes(pratinha)	290	-48 28 31	-1 22 03
15	48	rod.Arthur bernardes	131	-48 28 30	-1 21 52
16	40	pratinha	300	-48 28 23	-1 21 23
17	9	rod. Arthur bernardes (cerpasa)	300	-48 28 31	-1 21 19
18	49	rod.Arthur bernardes	105	-48 28 35	-1 20 58
19	45	praça do conj. Cordeiro de farias	285	-48 27 50	-1 20 53
20	41	rod. A montenegro, km-13, bengui	274	-48 27 09	-1 21 24
21	14	bengui(atras da Rodeio)A.montenegro	296	-48 26 44	-1 22 05
22	13	poço bengui nº 3(rod. A.montenegro)	270	-48 26 36	-1 21 52
23	52	rod. A montenegro-conj.res. A monteneg	51	-48 25 57	-1 21 48
24	16	rod.coqueiro,km-2, res. Bearritz	60	-48 24 35	-1 22 17
25	17	BR-316, km-19	200	-48 24 19	-1 22 39
26	39	jaderlandia	285	-48 25 10	-1 23 14
27	54	conj. Satellite	30	-48 26 13	-1 19 33
28	55	A montenegro	127	-48 27 18	-1 19 57
29	46	conj.res.Canarinho-A montenegro	272	-48 27 42	-1 20 30
30	12	rod. Arthur bernardes,2780, km-14	115	-48 28 52	-1 19 45
31	51	rod. A montenegro-conj. Eduardo angelim		-48 27 35	-1 18 50
32	3	icoaraci	286	-48 28 28	-1 18 21
33	6	icoaraci-Trav. Souza Franco com 7º rua	273	-48 28 43	-1 18 00
34	5	icoaraci (Pt-1/88)	267	-48 28 07	-1 17 36
35	1	Distrito industrial de icoaraci	81	-48 27 11	-1 16 55
36	10	PAAr(poço-003)	270	-48 22 22	-1 19 57
37	50	rod.40 Horas	87	-48 23 58	-1 20 42
38	47	40 Horas-Ananindeua	283	-48 24 15	-1 21 02
39	44	conj. Verdejantes -Aguas Lindas-	272	-48 22 58	-1 23 08
40	15	BR-316, km-7	96	-48 21 41	-1 21 33

Tabela 7 - Resumo das informações dos blocos tectônicos analisados.

<b>BLOCO S</b>	<b>FIGURA</b>	<b>POÇOS</b>	<b>BLOCO</b>	<b>GRADIENTE(m/m)</b>	<b>SENTIDO DO MERGULHO</b>
01	60	27; 30 e 25	Una	1/180	NW
02	63	20; 43 e 11	Val de Cans	1/54	ENE
03	66	41; 14 e 13	Mata Fome	1/27	NW
04	69	5; 6 e 3	Icoaraci	1/29,8	SW
05	72	50 e 10	Maguariaçú	1/383,9*	SW*

\* Direção e mergulhos aparentes.



Tabela 8 - Parâmetros utilizados para a construção de cada seção geológica

<b>POÇO Nº</b>	<b>COTA DA BOCA DO POÇO (m)</b>	<b>PROFUNDIDADE ENCONTRO DO TOPO DA CAMADA (m)</b>	<b>COTA DO TOPO DA CAMADA (m)</b>
27	4	41	37
30	7	39	32
25	14	40	26
5	12	95	83
6	9,5	137	127,5
3	5	131	126
41	15,5	155	139,5
14	15,3	100	84,7
13	15,5	110	94,5
11	10	110	100
20	2	71	69
43	12	98	86
47	10	91	81
50	17	65	48
10	15,5	56	40,5

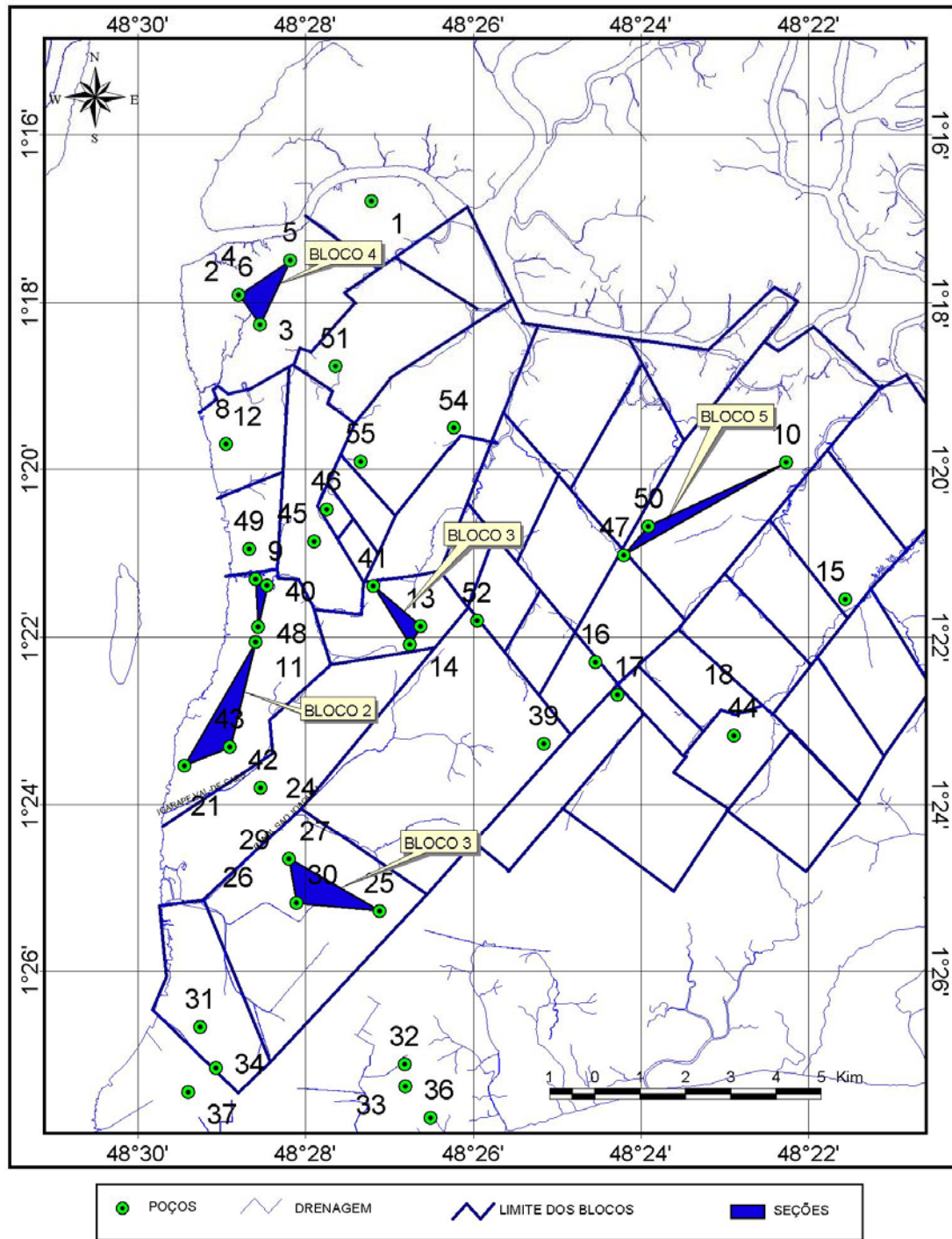


Figura 58 - Mapa de localização dos poços e das seções em cada um dos blocos definidos na compartimentação utilizada nesse trabalho.

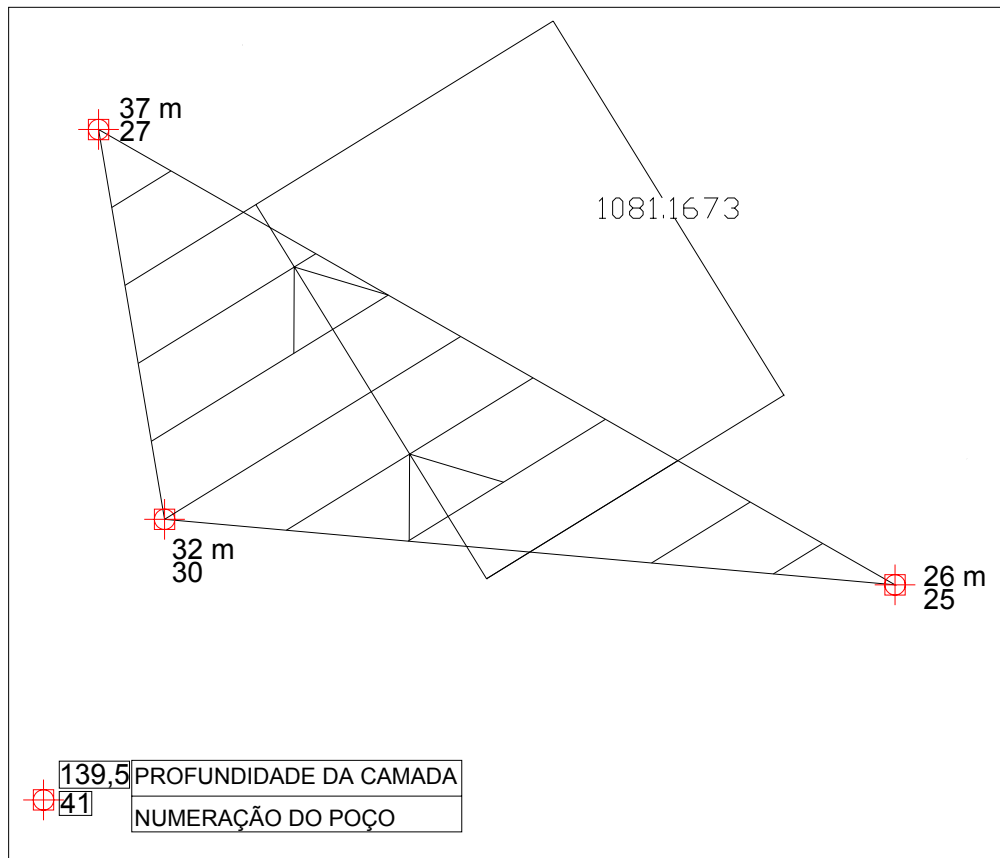


Figura 59 - Bloco Una, mostrando o fraco valor de gradiente. A numeração em metros é a profundidade da camada guia utilizada na construção do mapa de gradiente. a camada mergulha 10 metros a cada 1801,9 metros no sentido indicado pelas setas na figura.

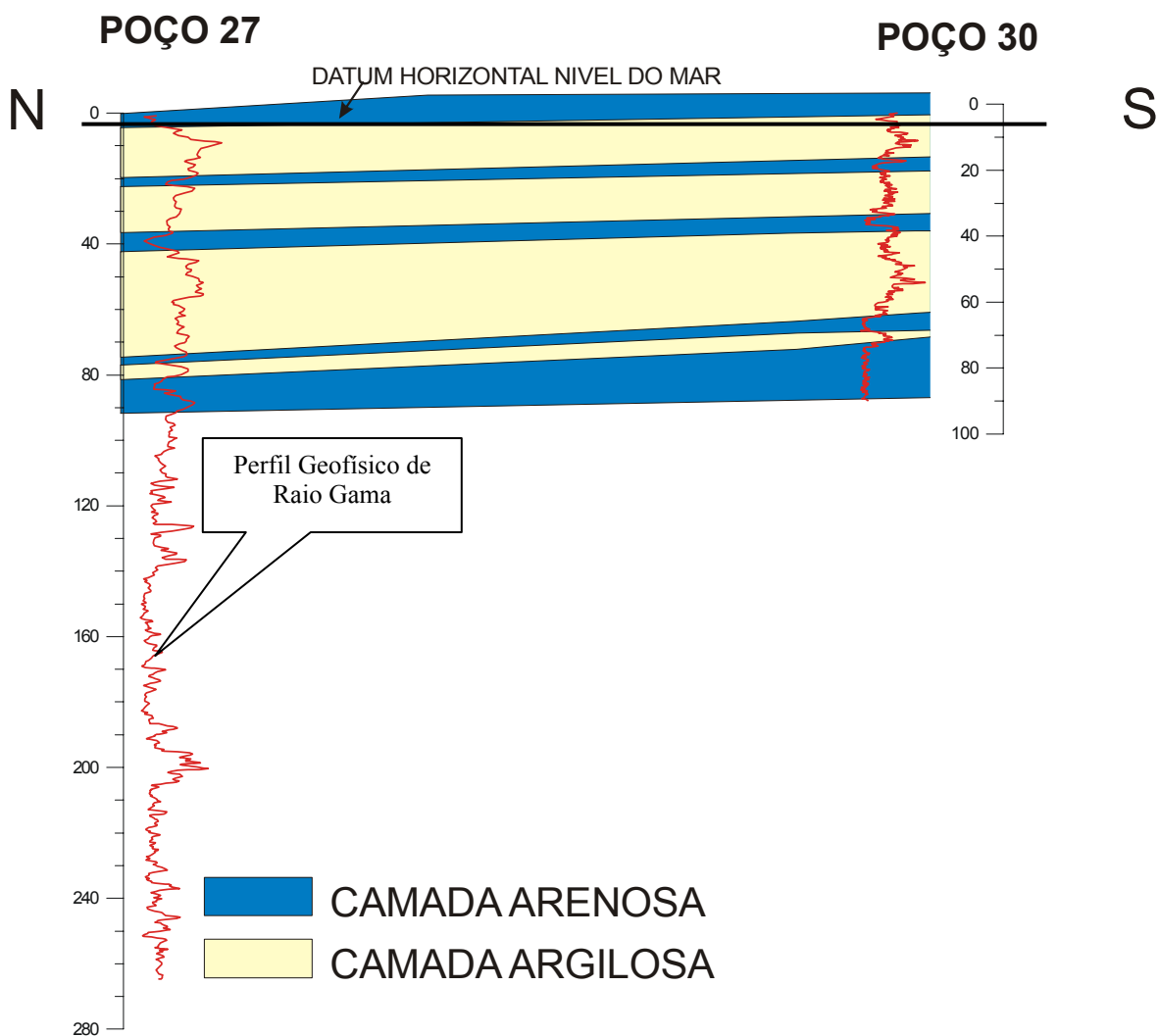
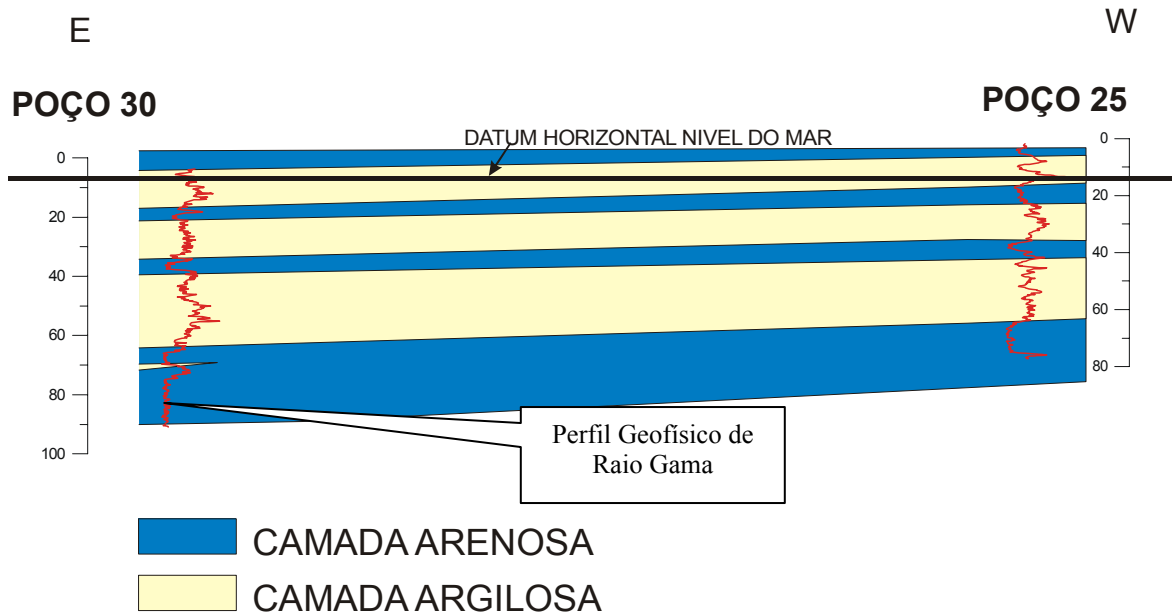


Figura 60 - Seção de correlação dos poços 27 e 30 localizada no bloco Una, apresenta mergulho suave, com gradiente de 1/180 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.

\*As cotas dos horizontes utilizados na correlação são assim negativos na sua quase totalidade



*Figura 61 - Seção de correlação dos poços 30 e 25, localizada no bloco Una, apresenta mergulho suave, com gradiente de 1/180 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.*

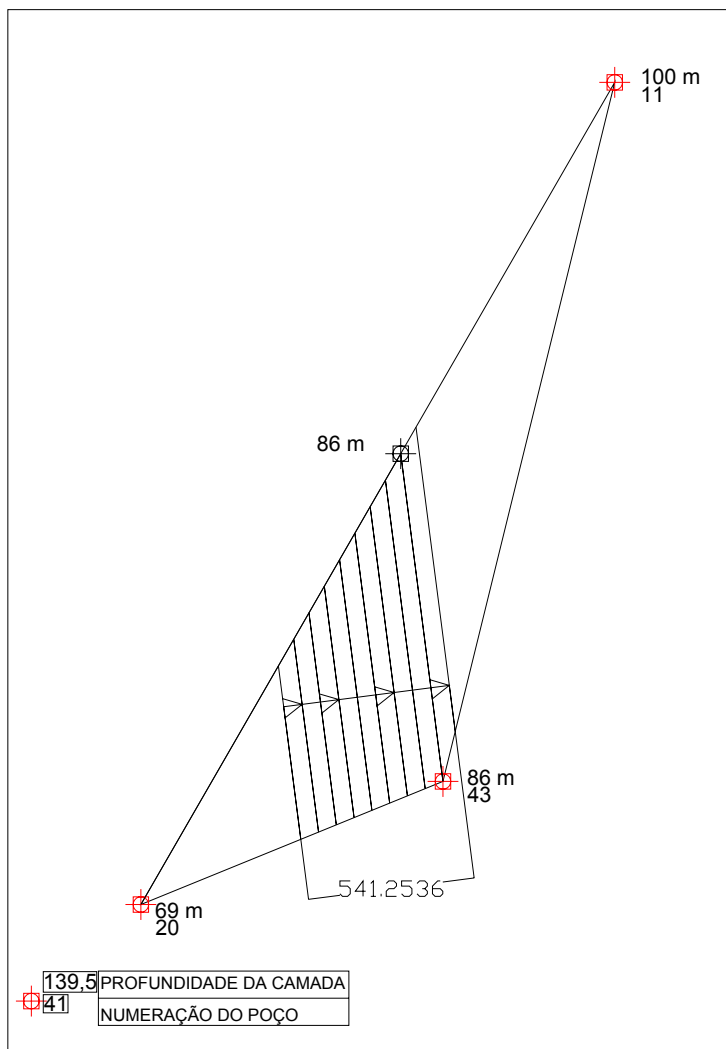


Figura 62 - Bloco Val de cans, mostrando o maior gradiente em relação ao setor I, a numeração em metros é a profundidade da camada guia utilizada na construção do mapa de gradiente. A camada mergulha 10 metros a cada 541.25 metros de distância.

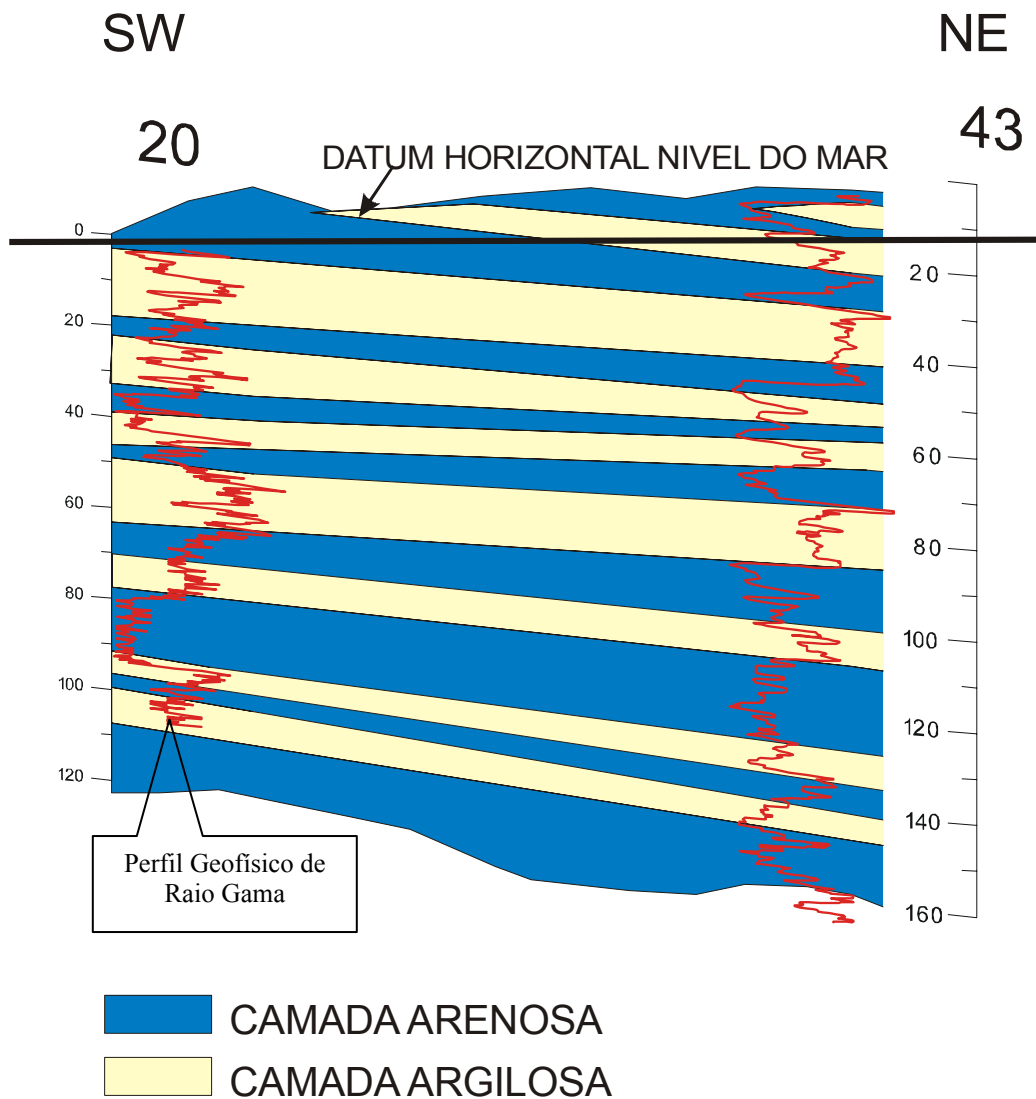


Figura 63 - Seção de correlação dos poços 20 e 43, pertencente ao bloco Val de Cans. Apresenta mergulho, com gradiente de 1/54,1 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.

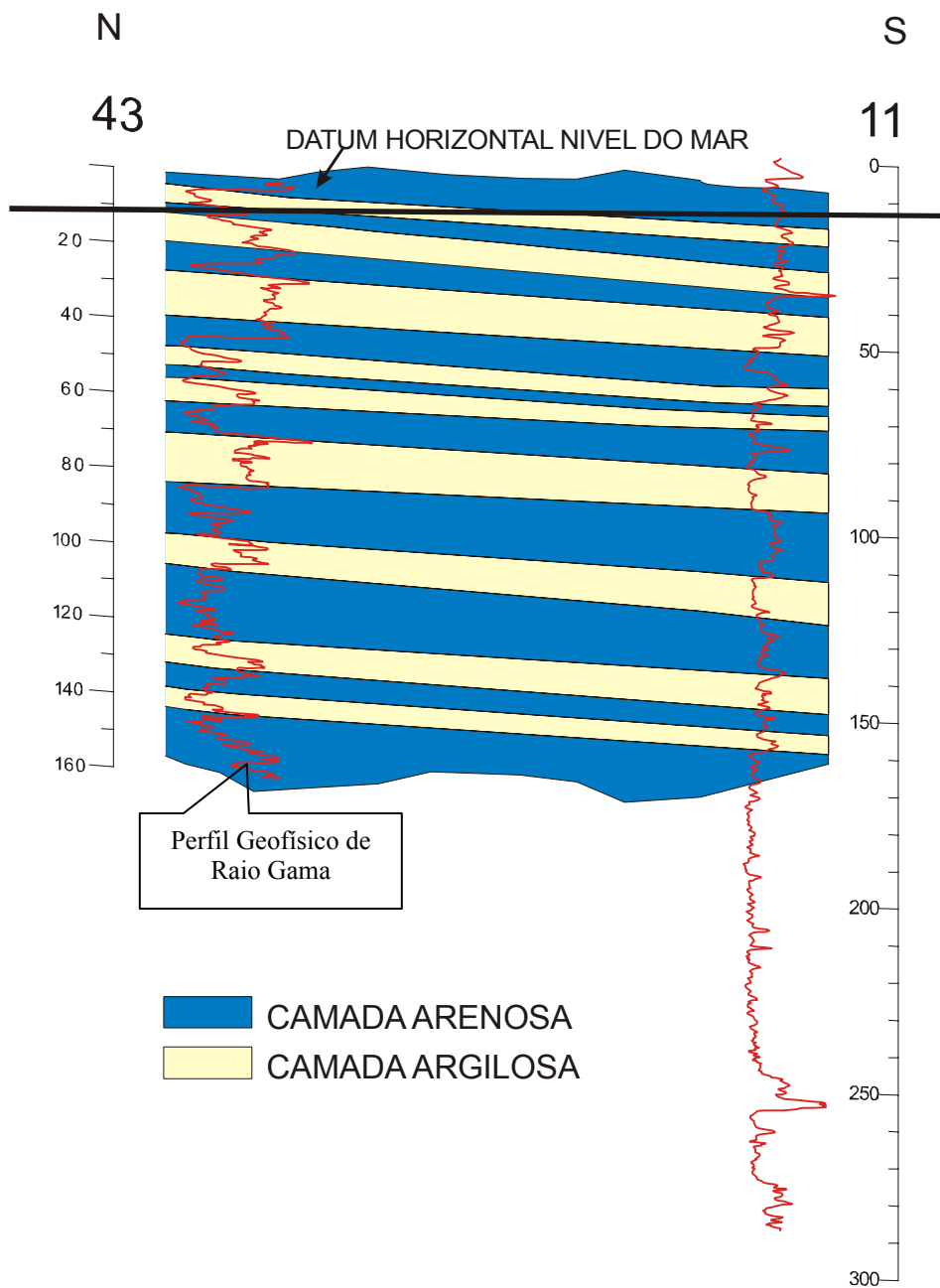


Figura 64 - Seção de correlação dos poços 43 e 11 pertencente ao bloco Val de Cans. Apresenta mergulho, com gradiente de 1/54,1 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.



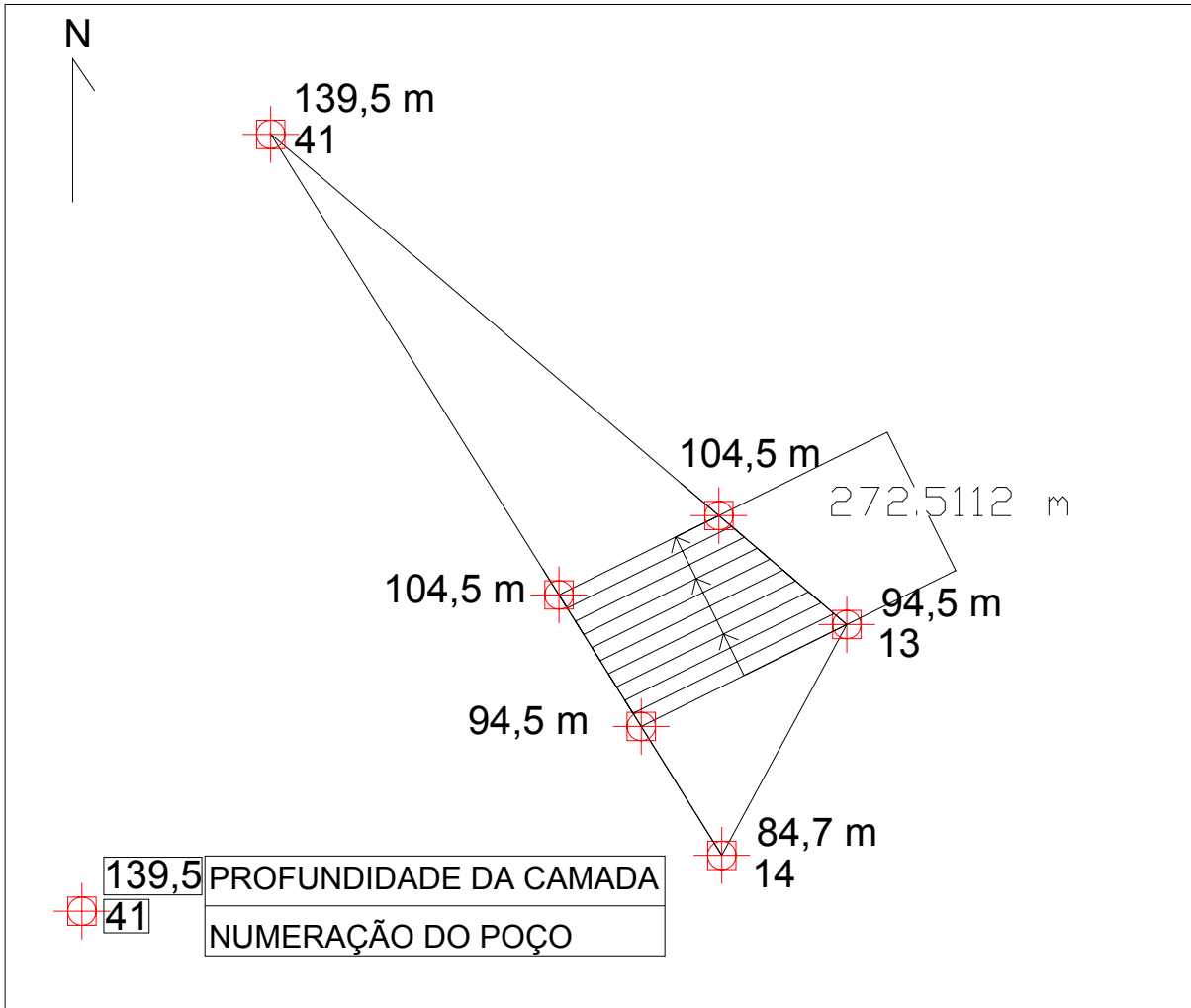


Figura 65 - Bloco Mata Fome, mostrando o forte gradiente em relação ao setor I, a numeração em metros é a profundidade da camada guia utilizada na construção do mapa de gradiente. A camada mergulha 10 metros a cada 272.5 metros.

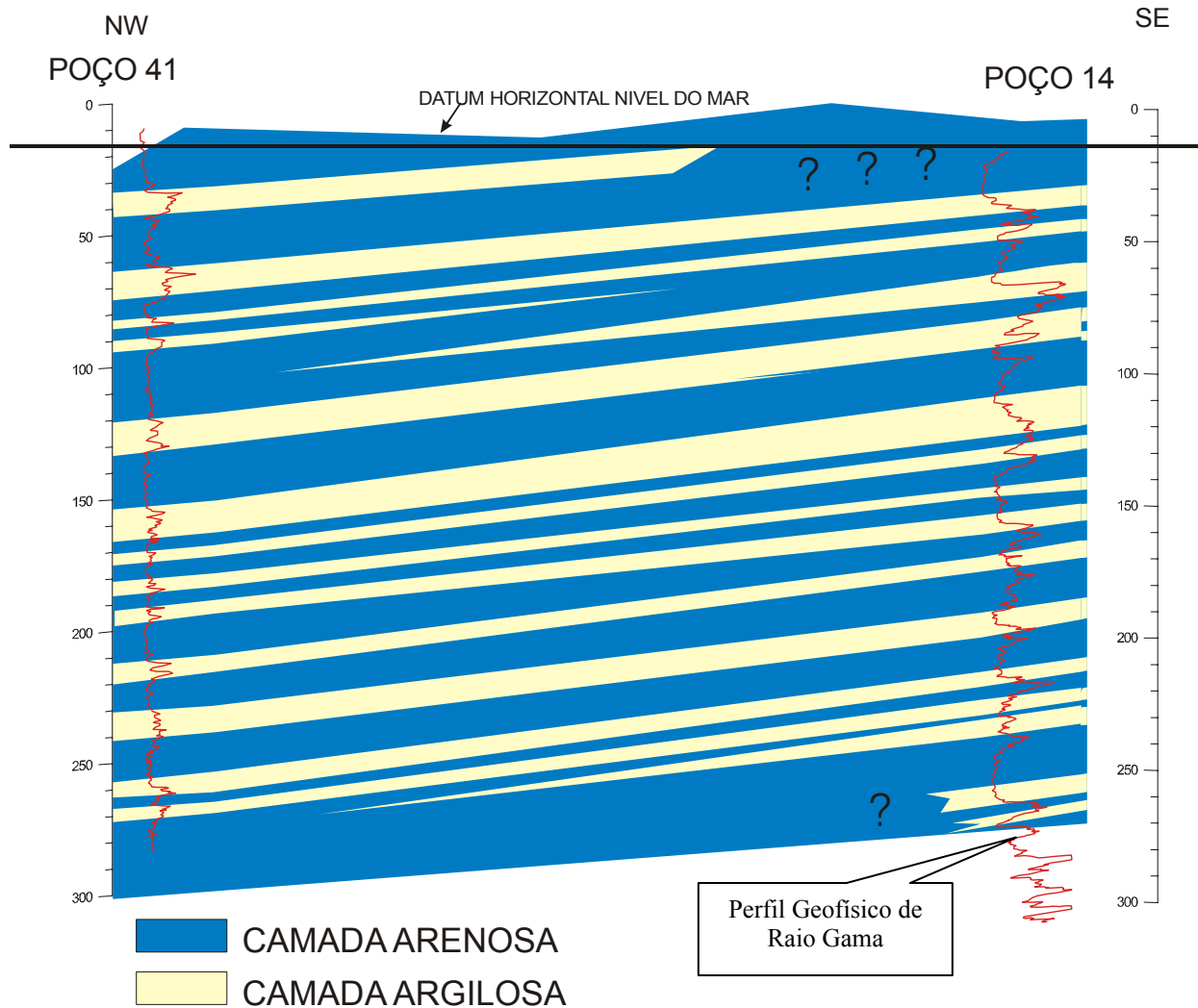
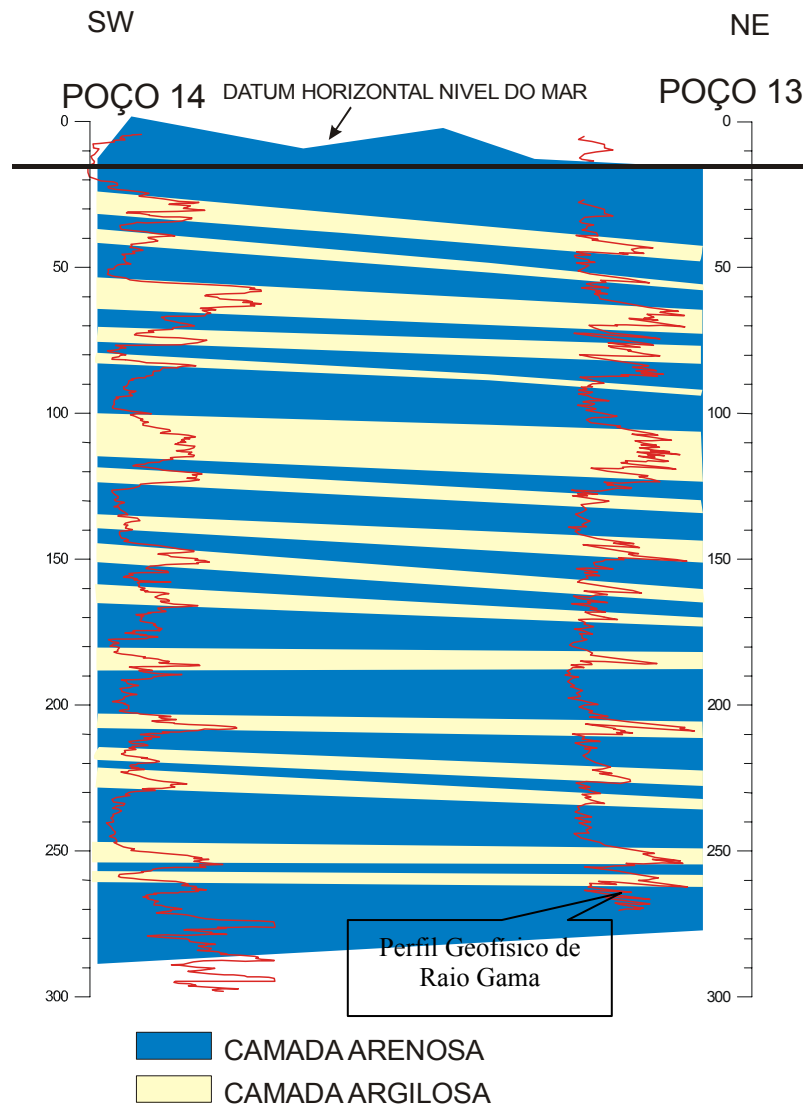


Figura 66 - Seção de correlação dos poços 41 e 14 pertencente ao bloco Mata Fome. Apresenta mergulho, com gradiente de 1/27,2 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.



*Figura 67 - Seção de correlação dos poços 14 e 13 pertencente ao bloco Mata Fome. Apresenta mergulho, com gradiente de 1/27,2 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.*

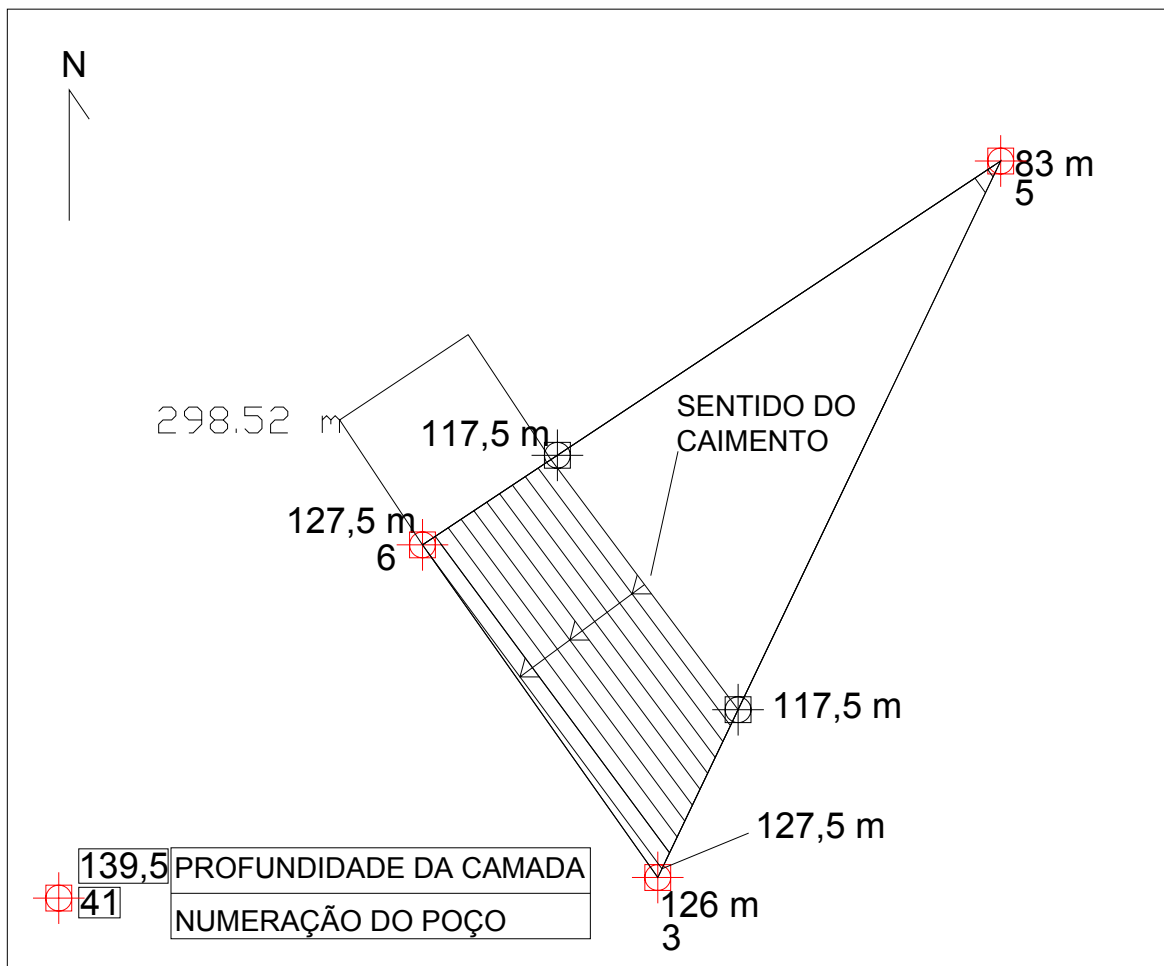


Figura 68 - Bloco Icoaraci, mostrando o forte gradiente em relação ao setor I, a numeração em metros é a profundidade da camada guia utilizada na construção do mapa de gradiente. A camada mergulha 10 metros a cada 298.5 metros

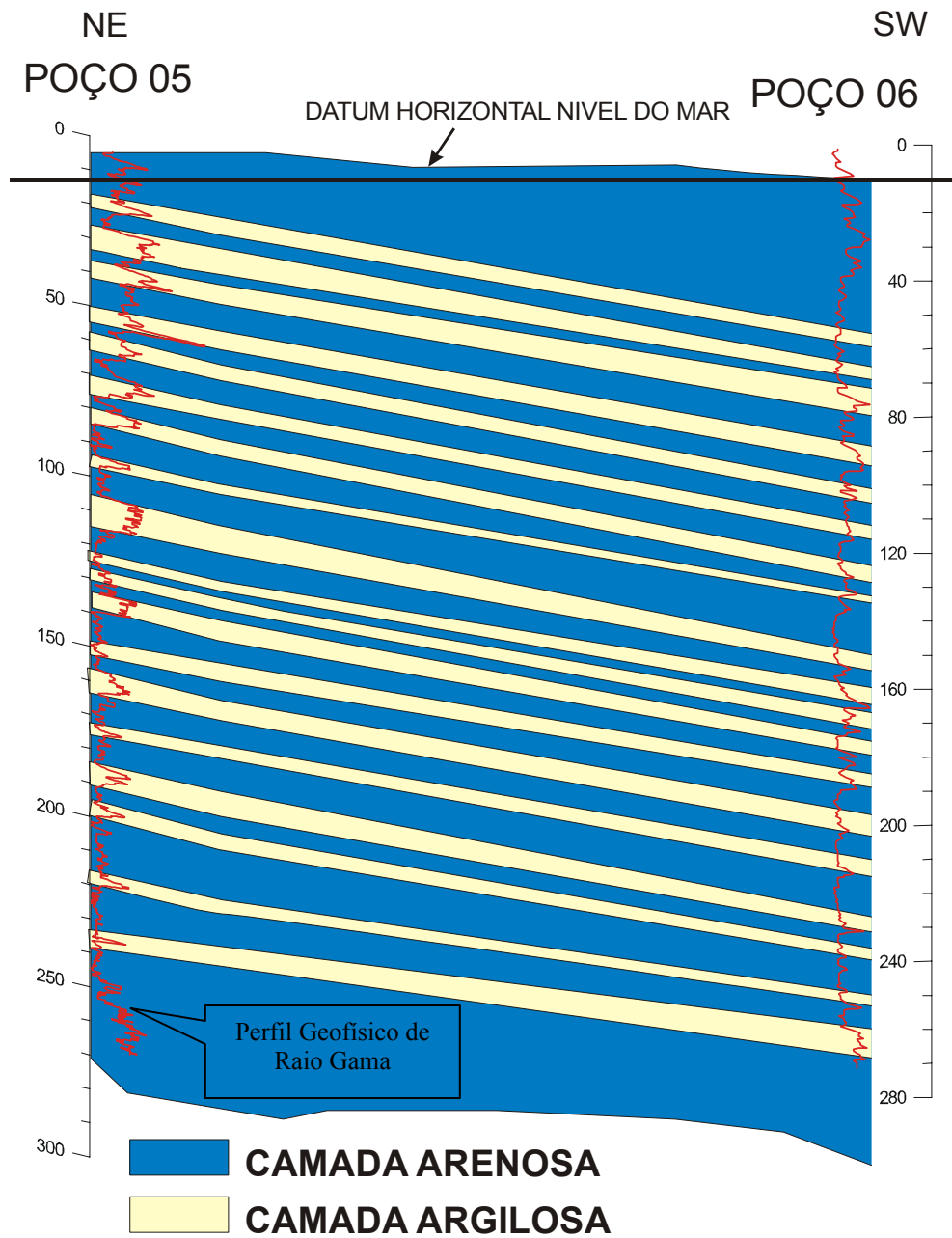


Figura 69 - Seção de correlação dos poços 5 e 6 pertencente ao bloco Icoaraci. Apresenta mergulho, com gradiente de  $1/29,8$  m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.

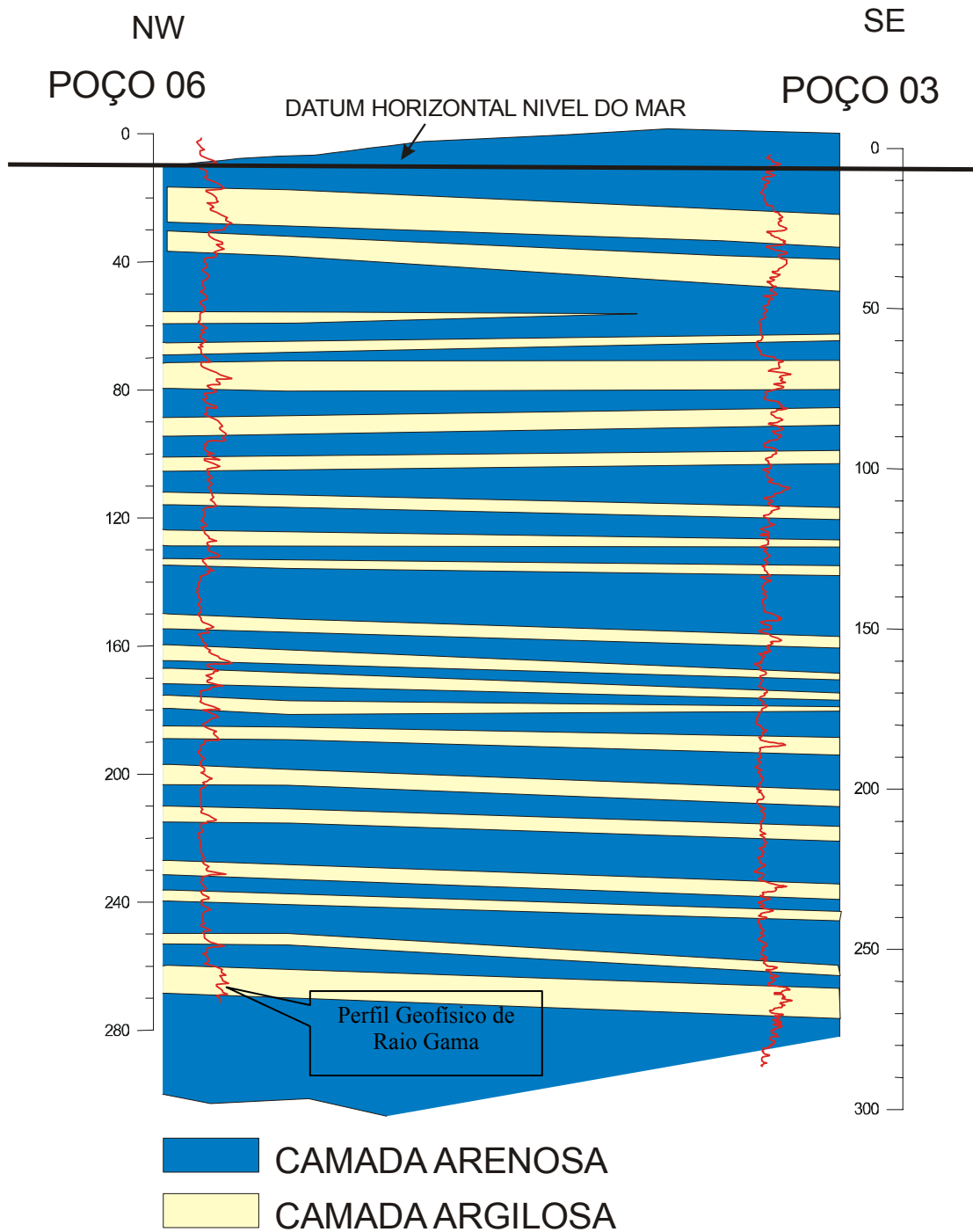


Figura 70 - Seção de correlação dos poços 6 e 3 pertencente ao bloco Icoaraci. Apresenta mergulho, com gradiente de 1/29,8 m/m. Nas seções as profundidades de encontro da camada de referencia estão relacionadas a um datum, neste caso o nível médio dos mares.

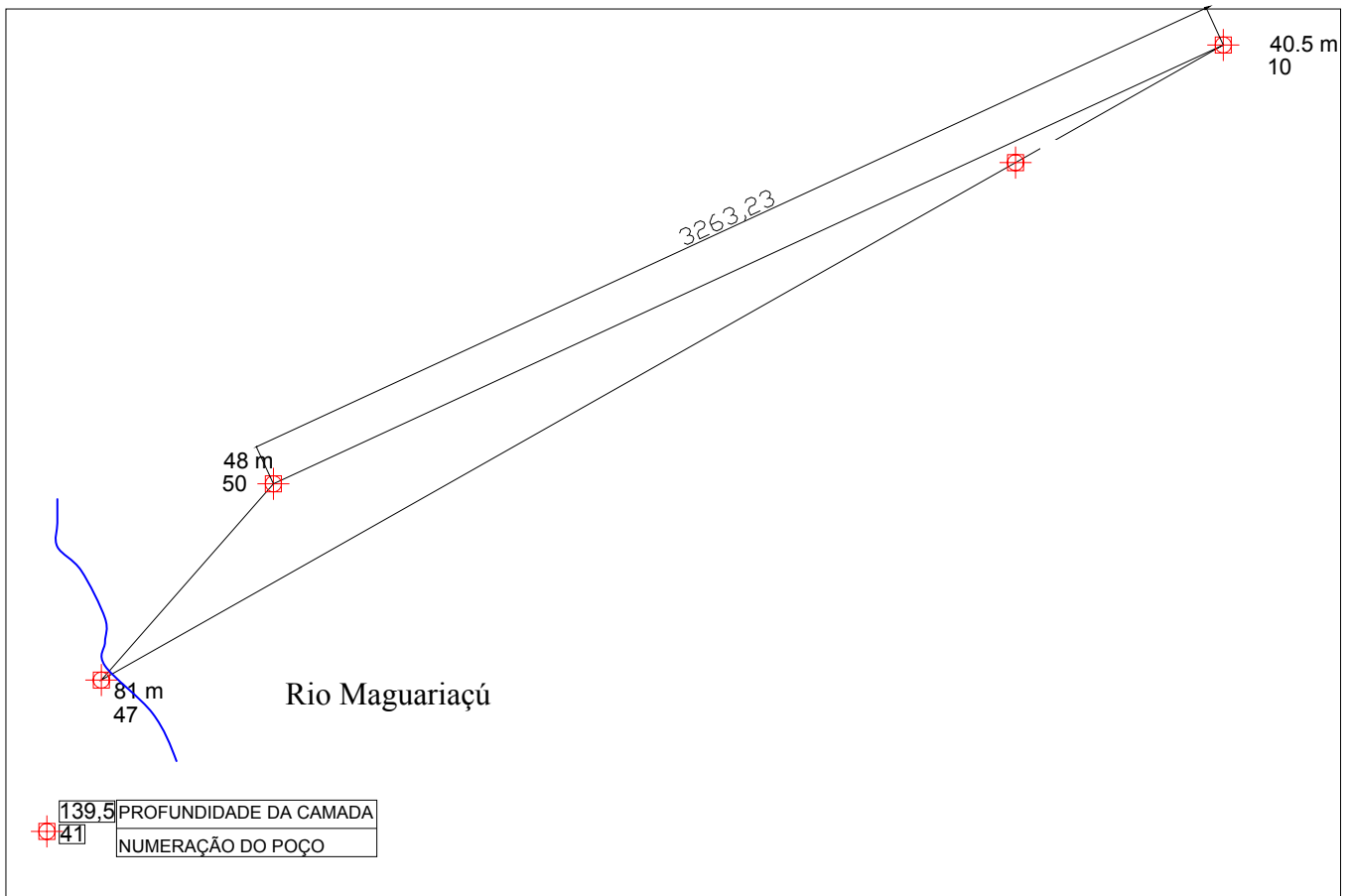
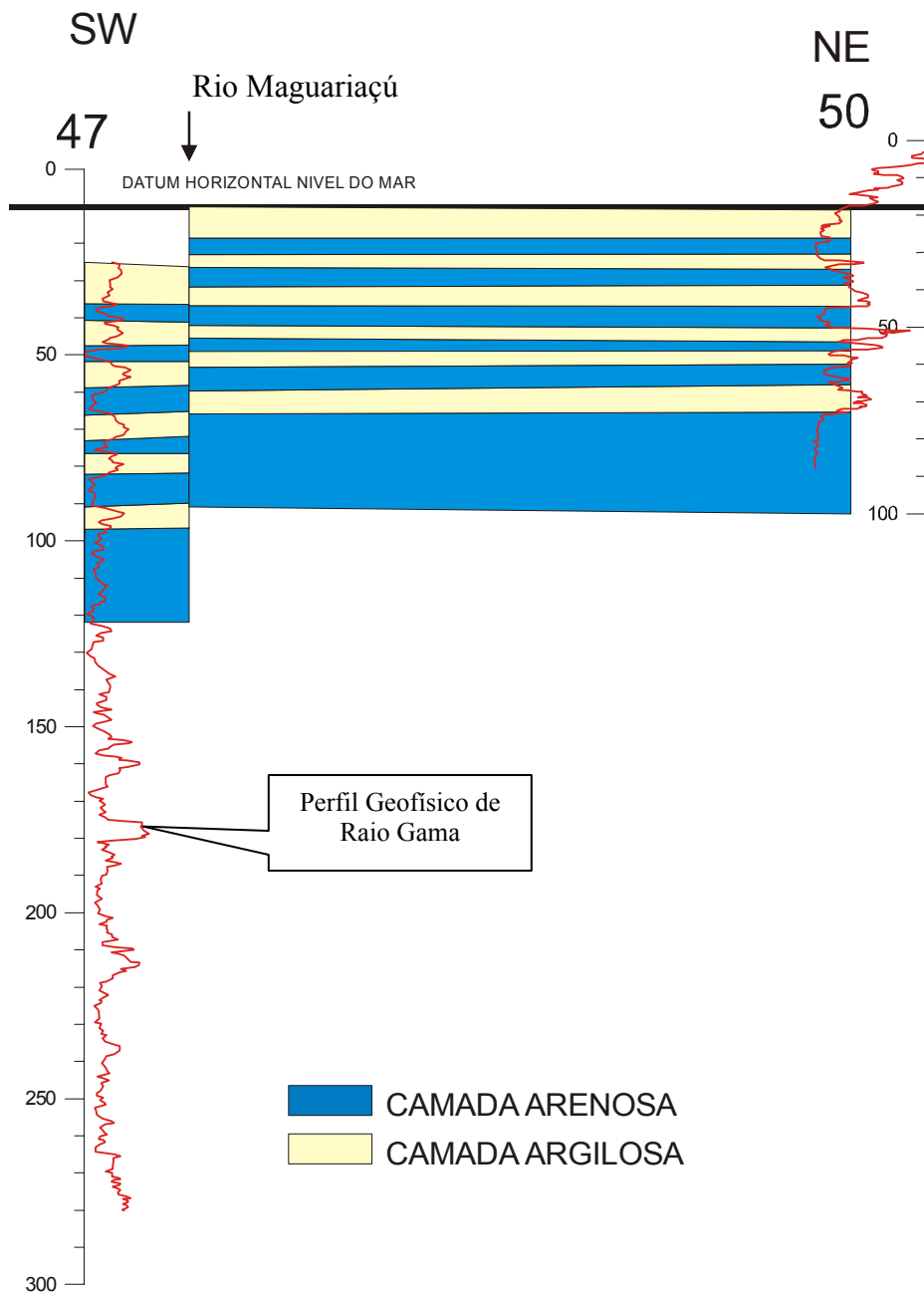


Figura 71 - Disposição dos poços pertencentes a blocos diferentes, separados pelo rio Maguariaçú. Neste caso não foi possível construir o mapa gradiente absoluto para esta seção, sendo o gradiente aparente entre os poços 10 e 50 de  $1/383,9 \text{ m/m}$ .



*Figura 72 - Seção formada pela correlação dos poços 47 e 50 pertencente a blocos diferentes, separados pelo rio Maguariacú mostrando a clara separação entre os diferentes blocos por falhamento normal. Neste caso não foi possível construir um gradiente para esta seção.*



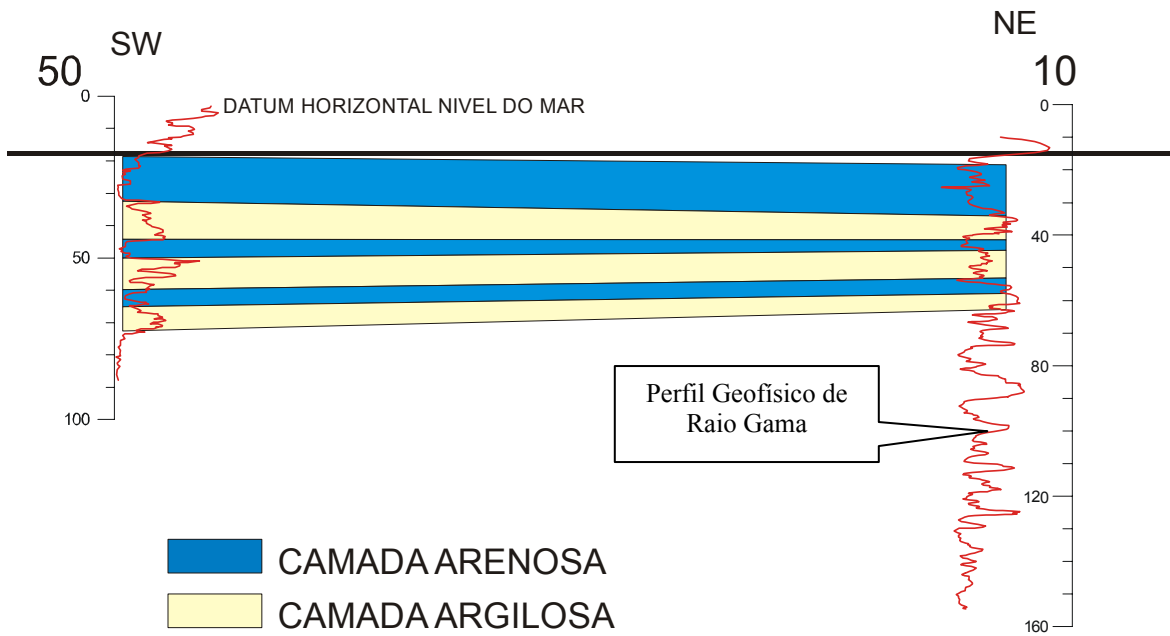


Figura 73 - Seção formada pela correlação dos poços 50 e 10 pertencente ao bloco Maguariáçú. O gradiente aparente entre os poços 10 e 50 é de 1/383,9 m/m.

Com base nas informações e análise das seções é possível tecer algumas considerações respeito do arranjo geométrico das camadas geológicas e por extensão dos aquíferos da área de estudo, e avançando no entendimento das tramas estabelecidas na interação entre os diversos blocos tectônicos a saber:

1. A atitude original das camadas sofreu modificação em razão da atuação dos processos tectônicos cujos efeitos e resultados foram caracterizados no estudo morfotectônico, visto que a movimentação dos blocos causou rotação das mesmas.
2. A individualização de dois grandes conjuntos de blocos foi possível a partir principalmente, da forma e mergulhos dos mesmos. Assim no setor I os blocos apresentam-se com mergulhos suaves para NW e forma losangular homogênea. Já no setor II o valor do mergulho dos blocos é em torno de cinco vezes maior que os do setor I. Além disso, estes blocos do setor II não apresentam um padrão de caimento único. Além do mais os blocos apresentam formas variadas. Uma das razões para que isso tenha ocorrido é a atuação distinta da neotectônica nesses dois setores. No setor I a atuação foi mais homogênea rotacionando os blocos uniformemente, ao passo que no setor II essa rotação foi muito mais forte e desordenada, provavelmente influenciada pela zona de transcorrência da baía do Marajó de COSTA *et al* (1996).
3. A correlação direta entre os poços deve ser feita com bastante cuidado. Poços situados em blocos distintos quando correlacionados diretamente pode induzir a erros de interpretação, seja em termos de continuidade lateral e, sobretudo, na indicação de mergulho das camadas. Isso pode ser entendido pelo fato de que cada bloco se comportou de maneira diferente quando da atuação dos elementos neotectônicos, o que foi demonstrado nas seções confeccionadas. Vários trabalhos que citam a forte lenticularização dos aquíferos da RMB deixaram de considerar nas suas interpretações de continuidade, o fato da existência dessa organização em blocos. Assim fizeram correlação entre níveis estratigráficos idênticos mas situados em

blocos diferentes, incorrendo em erro de interpretação sobretudo sobre o aspecto geométricos das mesmas.

4. Uma consequência importante para o arranjo estabelecido para os aquíferos diz respeito questão da recarga. A direção de estiramento da Bacia Pirabas - Barreiras é NW-SE e, conseqüentemente, as falhas normais se instalaram na direção perpendicular a esta. Considerando serem essas direções de falhas normais as superfícies potenciais de menor pressão elas constituem um dos locais de maior favorabilidade para recarga dos aquíferos por elas interceptadas (Figura 76). Daí decorre uma grande preocupação que diz respeito a possibilidade de contaminação por influência antropogênica desses aquíferos a partir dessas áreas de recarga, haja vista muita delas estarem completamente oneradas pela ocupação humana, seja urbanizações ou atividade agrícola, conforme pode ser visto na figura 77.
5. Quando se associara a questão de argilosidade dos pacotes sedimentares da área, mais pronunciados na parte superior dos perfis, o que dificulta a percolação vertical descendente de água; a interrupção lateral de continuidade dos aquíferos por efeitos de rejeitos verticais ao longo das superfícies das falhas; o pequeno desnível do terreno o que faz com que as zonas de recarga onde afloram as camadas aquíferas estejam situadas a grandes distâncias dos pontos de captação que são os poços, as zonas de falhas, sobretudo as normais, e fraturas ganham um papel ainda mais importante no que se refere a constituírem-se zonas marcantes de recarga, sobretudo para os aquíferos rasos situados acima de profundidades ao redor de 20-30 m.

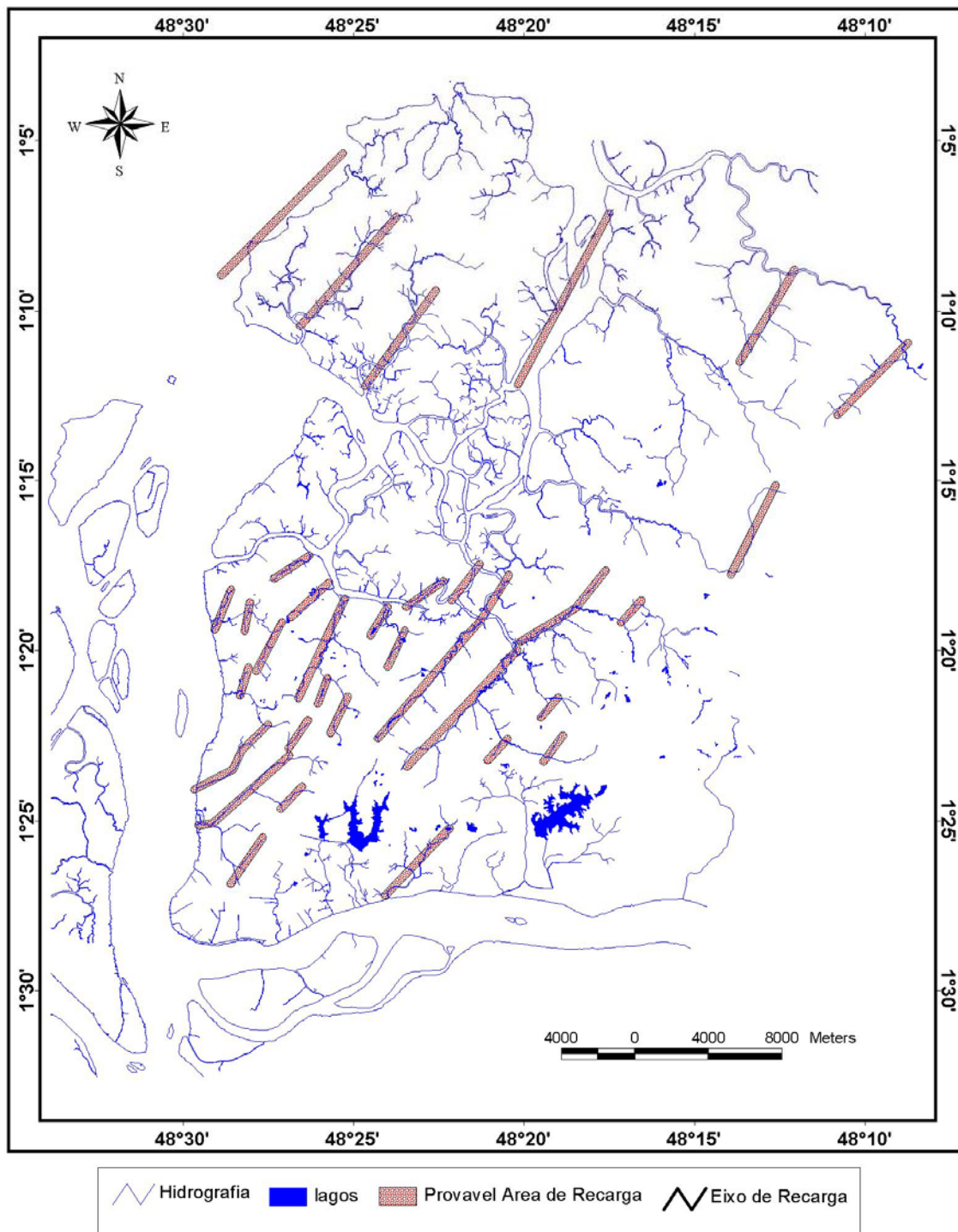


Figura 74 - Mapa de prováveis áreas principais de recarga na RMB, localizadas ao longo do traçado de falhas normais.

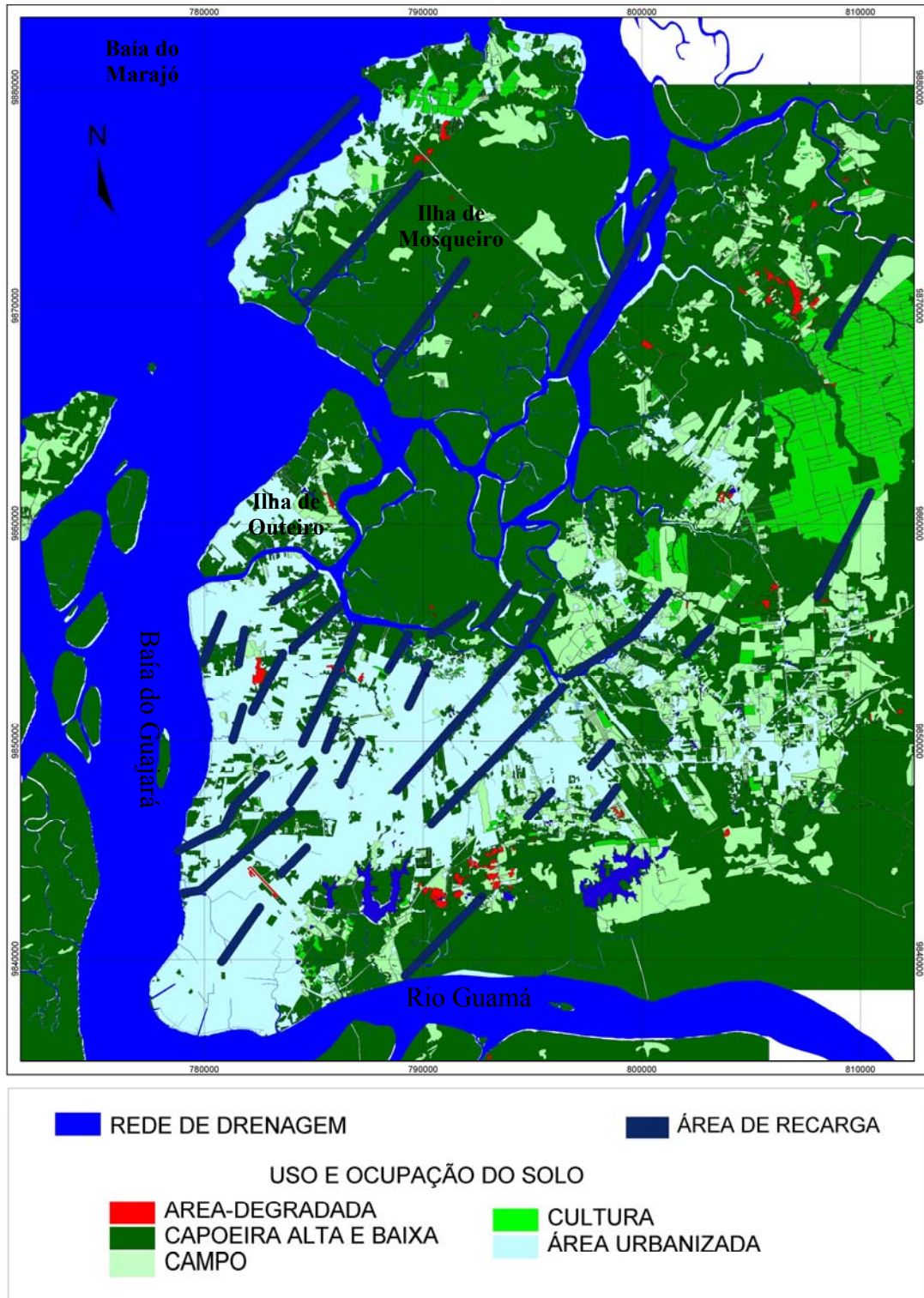


Figura 75 - Mapa de uso e ocupação do solo da Região Metropolitana de Belém, mostrando que a área já está bastante antropizada, e que as principais zonas de recarga, as falhas normais de direção NE-SW estão ocupadas.

## 5 GEOPROCESSAMENTO – SIG

Para a execução das diversas atividades relacionadas ao geoprocessamento foram utilizados os *softwares Global Mapper, Arc View e SPRING* . Cada um utilizado de acordo com os aspectos que melhor desempenhavam.

Durante os trabalhos foi gerado um total de 39 *layers* de informações estruturadas no SIG associados a um banco de dados, divididos em 8 grupos temáticos a saber:

- i) *Layers* do grupo temático imagem
  - 1.2. imagem *landsat* composição colorida RGB 543 regional
  - 1.3. imagem *landsat* composição colorida RGB 543 recorte Bacia Litorânea.
  - 1.4. imagem *landsat* composição colorida RGB 543 recorte Bacia de Marapanim
  - 1.5. imagem *landsat* composição colorida RGB 543 recorte Bacia do Rio guamá
  - 1.6. imagem *landsat* composição colorida RGB 543 recorte Bacia do Rio Acará Mojú.
  - 1.7. imagem *landsat* composição colorida RGB 543 recorte Bacia do rio Pará
  - 1.8. ortofoto da RMB
- ii) *Layers* do grupo temático análise de drenagem
  - 1.9. rede de drenagem regional
  - 1.10. micro-bacias regional
  - 1.11. rede de drenagem RMB
  - 1.12. micro-bacias da RMB
  - 1.13. rede de drenagem recorte Bacia Litorânea.
  - 1.14. rede de drenagem recorte Bacia de Marapanim
  - 1.15. rede de drenagem recorte Bacia do Rio guamá
  - 1.16. rede de drenagem recorte Bacia do Rio Acará Mojú.
  - 1.17. rede de drenagem recorte Bacia do rio Pará

- iii) *Layers* do grupo temático análise de lineamentos
  - 1.18. lineamentos regional
  - 1.19. lineamentos RMB
  - 1.20. lineamentos recorte Bacia Litorânea.
  - 1.21. lineamentos recorte Bacia de Marapanim
  - 1.22. lineamentos recorte Bacia do Rio Guamá
  - 1.23. lineamentos recorte Bacia do Rio Acará Mojú.
  - 1.24. lineamentos recorte Bacia do rio Pará
- iv) *Layers* do grupo temático geomorfológico e geológico
  - 1.25. mapa geológico
  - 1.26. mapa geomorfológico
  - 1.27. elementos tectônicos
  - 1.28. blocos tectônicos
  - 1.29. localização das seções geomorfológicas
- v) *Layers* do grupo temático Modelamento Digital de Terreno
  - 1.30. Radar SRTM
  - 1.31. batimetria baía do Guajará e Marajó
  - 1.32. MDT baía do Guajará e Marajó
  - 1.33. Topografia RMB
  - 1.34. MDT RMB
  - 1.35. MDT integrado baía do Guajará - Marajó e RMB.
- vi) *Layers* do grupo temático hidrogeologia
  - 1.36. localização dos poços profundos na RMB
  - 1.37. localização das seções de correlação dos poços
- vii) *Layers* do grupo temático uso e ocupação do solo
  - 1.38. uso e ocupação do solo na RMB

viii) *Layers* do grupo temático localização

1.39. Estado do Pará

1.40. zoom área de trabalho

A principal utilidade desse sistema é o de possibilitar a correlação, a qualquer momento, das informações contidas nos *layers*, organizadas em diversas escalas, possibilitando a extração de elementos resultantes de combinações variáveis das informações contidas nos *layers*. Isso é, sem dúvida, um poderoso instrumento e suporte para tomada de decisões que possibilitam a avaliação de cenários com rapidez.



## 6 CONCLUSÕES

As análises e interpretações constantes neste trabalho permitiram traçar as seguintes conclusões quanto a.

### **1 – Técnicas utilizadas:**

1. As técnicas e procedimentos computacionais compreendidos nos softwares SPRING, Arc-View e Global Mapper permitiram gerar informações e conclusões sobre a rede de drenagem e as expressões do relevo, as quais integradas levam a uma melhor compreensão da Geometria dos Aquíferos, bem como foram úteis para a agregação e cruzamento das diversas informações tratadas.

### **2 – A integração das informações permitiu:**

2. Definir regionalmente, utilizando imagens de radar SRTM, cinco bacias hidrográficas a saber: Litorânea, Rio Marapanim, Guamá, Bacias, Rios Acará-Mojú e Rio Pará;
3. Definir separações em domínios geomorfológicos, na consideração do relevo, de três grupos de unidades a saber: Planícies Fluviais, Colinoso e Morros e Morrotes;
4. Definir regionalmente os principais lineamentos individualizando-os por Bacia Hidrográfica, os quais apresentam direções gerais NE-SW, NW-SE e NNE-SSW; e em semidetalhe, na RMB como sendo NE-SW e NW-SE e, com menor frequência, WNW-ESE e N-S;
5. Na RMB através da projeção e prolongamento desses lineamentos, se compusesse um arranjo bidimensional de polígonos, que tridimensionalmente definem blocos, compreendendo dois setores distintos. O Setor I localizado na parte sudeste, caracterizado por blocos retangulares com dimensões regulares e vetor de caimento da topografia para NW. O Setor II localizado na parte nordeste da área, caracterizado por não apresentar uma regularidade nas dimensões dos blocos e nem um padrão único de caimento da topografia;

6. Estabelecer cinematicamente que no Setor I a movimentação é dextral, tendo o maior estiramento ( $\sigma^3$ ) orientação NW-SE e falhamentos normais NE-SW. Enquanto que no Setor II ela encaixa-se em um arranjo sinistral cuja direção de maior estiramento é NW-SE e falhamentos normais também NE-SW;
7. Verificar utilizando-se correlações entre os poços que tridimensionalmente esses blocos representam altos e baixos estruturais;
8. Estabelecer que no Setor II o basculamento desses blocos leva à formação de gradientes de mergulho maiores que os do Setor I.

### **3- A reunião de todas as informações permitiu definir que:**

9. A atitude original das camadas geológicas sofreu modificação do quadro inicial pelos efeitos tectônicos caracterizados no estudo morfotectônico;
10. A individualização de dois grandes conjuntos de blocos foi possível a partir principalmente da forma e mergulhos dos mesmos;
11. A correlação direta entre os poços deve ser feita com bastante cuidado visto que poços situados em blocos distintos quando correlacionados diretamente pode induzir a erros de interpretação, seja em termos de continuidade lateral e sobretudo na indicação de mergulho das camadas;
12. A direção de estiramento da Bacia Pirabas - Barreiras é NW-SE e, conseqüentemente, a das falhas normais associadas é NE-SW;
13. Sendo as falhas normais as superfícies potenciais de menor pressão elas se constituem um dos locais de maior favorabilidade para a recarga dos aquíferos por elas interceptadas;
14. Disso decorre uma grande preocupação no que diz respeito à possibilidade de contaminação desses aquíferos por influência antrópica, a partir dessas áreas de recarga, haja vista muita delas estarem completamente oneradas pela ocupação humana, seja pela urbanização ou por atividade agrícola;
15. A constatação de que a argilosidade dos pacotes sedimentares da área, mais pronunciados na parte superior, o que dificulta a percolação vertical descendente de água; a interrupção lateral de continuidade dos aquíferos por efeitos de rejeitos verticais ao longo das superfícies das falhas; o pequeno desnível do terreno o que faz com que as

zonas de recarga onde afloram as camadas aquíferas estejam situadas a grandes distâncias dos pontos de captação que são os poços emprestam às zonas de falhas e fraturas um papel ainda mais importante para a manutenção da recarga, sobretudo para os aquíferos de baixa profundidade (acima de 20 m);

16. Os eventos neotectônicos são os principais controladores desse arranjo geométrico e precisam ser melhor estudados em escala de detalhe.

#### **4- Importância e utilidade de se gerar um SIG**

17. O SIG desenvolvido permitiu unificar em uma única base de dados todas as informações cartográficas e alfanuméricas utilizadas neste trabalho dando maior agilidade na geração das informações e na extração a partir do sistema de relatórios temáticos;
18. A estruturação do SIG reunindo todas as informações disponíveis das características do meio físico, destacando-se as de caráter hidrogeológico, possibilitou um melhor entendimento da estrutura desses aquíferos e a formação de uma memória técnica, em formato digital que pode auxiliar os tomadores de decisão no estabelecimento de propostas alternativas de abastecimento de água, a partir dos mananciais subterrâneos e, também facilitar o monitoramento da qualidade das águas desses aquíferos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAI, M.; UESUGUI, N.; ROSSETTI, D.S.; GÓES, A.M. 1988. Considerações Sobre a Idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 35. Belém. *Anais*. SBG.v.2, p. 738-752.
- ARONOFF, S. 1989 *Geographical Information Systems: A Management Perspective*. Ottawa., WDI Publications.
- BORGES, M.S.; COSTA, J.B.S.; HASUI, Y. FERNANDES, J.M.G.; BEMERGUY, R.L. 1997. Instalação e inversão da Bacia do Capim In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 6. Pirenópolis. *Anais*. Brasília: SBG/UNB. p 134-135
- BURROUGH, P. A. 1986 *Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford, Oxford University Press.
- CÂMARA, G. & MEDEIROS, S., 1998 - *Geoprocessamento para Projetos Ambientais* Curitiba – PR. (Curso Pré – Evento GIS Brasil).
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.; PAIVA, J.; GOMES, J.; VELHO, L.; 2000 - Towards a unified framework for spatial data models. *Journal of the Brazilian Computing Society*, 7(1).
- CAVALCANTE, L.M. 1997. *Contribuição a Geologia da Margem NW da Ilha do Mosqueiro, Nordeste do estado do Pará*. Belém. UFPA. Centro Geociências. 49P. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- CAVALCANTE, L.M. 2000. *Neotectônica na área do Tiracambú (NE do Estado do Pará, NW do Estado do Maranhão)*. Belém Universidade Federal do Pará Centro Geociências (Dissertação de Mestrado).
- CHISTIE-BLICK, N; & BIDDLE, K. T 1985. Deformation and basin formation along strike-slip faults. In BIDDLE, K. T. & CHRISTIE- BLICK, N (Ed). *Strike-slip deformation , basin formation and sedimentation*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogistas, p 1-34 (Special publication, 37).

- CHRISTOFOLETTI, A. 1974 - *Geomorfologia*. São Paulo, Ed. Universidade de São Paulo. 149p.
- CODEM – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM. 1975. *Plano de Desenvolvimento da Grande Belém: metodologia, estudos básicos, prognósticos, desenvolvimento e sistema*. Belém, DNPM-CPRM. v.1.
- COSTA, DE J. P. R. & MARTINS, M. 1996 – Determinação das alterações microclimáticas causadas por processo de ocupação urbana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 9. Campos do Jordão SP, *Anais*. Campos do Jordão SP, SBMet. p. 1182-1184.
- COSTA, J. B. S. 1996. A Neotectônica na Amazônia In SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5. Belém, *Boletim de Resumos Expandidos...* Belém: SBG, v.1, P. 35-38
- COSTA, JBS; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; JUNIOR, C.R.P.F.; BEZERRA, P. E. L.; COSTA, M. L.; FERNANDES, J. M. G. 1996. Neotectônica da Região Amazônica: Aspectos Tectônicos, Geomorfológicos e deposicionais. *Geonomos* 4: 23-44.
- COSTA, J. B. S.; IGREJA, H. L. S., BORGES, M.S., HASUI, Y. 1991. Tectônica mesozóico- cenozóico da região norte do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 3 Rio Claro. *Boletim...* Rio Claro: UNESP, p.108-110.
- COSTA, T. C. D. da, 2001 *Análise crítica das metodologias gerais de mapeamento geotécnico visando formulação de diretrizes para a cartografia geotécnica no Trópico e aplicação na Região Metropolitana de Belém, Escala 1:50.000*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências,. 2V. (Tese de Doutorado)
- COSTA, W.J.P. & EL – ROBRINI, M. 1992. Evolução Morfo-Estrutural de uma Ilha Estuarina: Ilha do Mosqueiro. Baía do Marajó. Norte-Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., São Paulo. *Anais*. V.1, p.197.
- COWEN, D. J. 1988 GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences. *Photogrammetric. Engineering and Remote Sensing*, 54:1551-4,.

- CROWELL, J.C 1974. Origin of late Cenozoic basins in southern California. In: DICKENSON, W. R. (Ed) *Tectonics and sedimentation*. New York Soc. Econ. Paleont. AND mineralogy, p. 190-204 (Special Publication, 22).
- DEFFONTAINES,B.& CHORWICZ,J. 1991- Principles of drainage basin analysis from multsource data: application of the structural analysis of the Zaire Basin. *Tectonophysics*, Amsterdam, 194: 237-267,.
- DUTOR, A. & FERRANDINI, J. 1985 Nouvelles Observations néotectoniques dans le Atlas de Marrakesh et le Haouz Central (Maroc). Appots sur l' evolution recent d' un segmento du bâti atlasique. *Revue de Géologie Dynamique et de Geiographie Physique*, 26(5):285-297.
- EBINGER, C. J. 1989. Geometric and kinematic developmente of border faults and accommodation zones, zones, kivu-rift, Africa *Tectonics*, 8 (1): 117-133.
- EIRAS, J. F & KINOSHITA, E. M. 1988. Evidências de movimentos transcorrentes na Bacia do Tacutu. *Boletim de Geociências da Petrobrás Rio de janeiro*, 2 (2/4): 193-208.
- FARIAS, E. S.; NASCIMENTO, F. S; FERREIRA, M. A. A. 1992. *Estágio de Campo III: Relatório Final. Área Belém/Outeiro*. UFPA. 247 p.
- FERNANDES, J. M. G. 1988. Bioestratigrafia da Formação Pirabas, Estado do Pará. In: . CONGRESSO BRÁSILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Natal. *Anais*, v 6 p 2376-2382.
- FERNANDES, J. M. G. & TÁVORA V.A. 1990 – estudo dos foraminíferos da Formação Pirabas procedentes do furo CB-UFPa-PI (85), município de Capanema, Estado do Pará. In. CONGRESSO BRÁSILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal. *Anais*, v 1 p. 470-475.
- FERREIRA, C.S. 1966. Características Lito-paleontológicas da Formação Pirabas, Estado do Pará . In: CONF. GEOL. GUIANAS, 6, Belém. *Anais...* Rio de Janeiro, DNPM., da Divisão de Geologia e Mineralogia p. 101-111. (avulsos 41)

- FERREIRA, C.S. 1967 – Contribuição a paleontologia do Estado do Pará. O gênero *Orthaulax* Gabb, 1872 na Fazenda Pirabas. In: SIMP. BIOTA AMAZ., 1, Belém. 1966 *Atas*, Rio de Janeiro, CNPq v.1 p. 169-181.
- FERREIRA, C.S. 1980 – Correlação da Formação Pirabas (Mioceno Inferior). N e NE do Brasil, com as Formações Chipola e Tampa da Península da Florida, USA. In: LATINOAMER. PALEONT., 1., Buenos Aires. *Atas*. Buenos Aires, APA. p3:49-55.
- FERREIRA, C.S. 1982. Notas Estratigráficas sobre o Cenozóico Marinho do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1. Belém. *Anais*, p. 84-88.
- FERREIRA, C.S. & CASSAB R.C.T. 1985 – Implicações faciológicas da família Pectinidae (Mollusca-Bivalvia) da Formação Pirabas. Oligo Mioceno do norte e nordeste do Brasil. In. CAMPOS, Diógenes de Almeida et al. (Org.). *Coletânea de Trabalhos Paleontológicos*. Brasília. MME-DNPM. p. 205-209. (Série Geológica 27. Seção Paleontologia e Estratigrafia v2),
- FERREIRA, C.S. & CUNHA O. R. 1957 – Contribuição à paleontologia do Estado do Pará. Notas sobre a Formação Pirabas com a descrição de novos invertebrados fósseis. 1. (Mollusca – Gastropoda). *Bol. Museu Paraense Emilio Goeldi*, nova série Geológica. 2:1-61
- FERREIRA JÚNIOR, C. P.R. 1996. *Neotectônica na área da Bacia de São Luis*. Belém Universidade Federal do Pará Centro Geociências (Dissertação de Mestrado).
- FERREIRA, C.S., & FRANCISCO, B.H.R. 1988. As Relações da Formação Pirabas (Oligoceno-Mioceno) com as Formações Continentais do Nordeste do Pará. In: CONGRESSOS BRASILEIROS DE GEOLOGIA, 35, Belém, *Anais*. SBG, v.6.
- FRANCISCO, B. H. R., LOEWENSTEIN P., SILVA O. F. SILVA G. G. 1971. Contribuição à Geologia da Folha São Luis - no Estado do Pará – III – Estratigrafia. IV – Recursos Minerais. *Bol. Museu Paraense Emilio Goeldi*, nova série geológica. 17:1-40.

- FRANZINELLI, E & IGREJA, H. L. S. 1990 Utilização do sensoriamento Remoto na investigação da área do baixo rio Negro e Grande Manaus. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,6; Rio de Janeiro *Anais...* v.3,p 641-648.
- FRANZINELLI, E & PIUCI, J. 1988. Evidências de neotectonismo na Bacia Amazônica.In: CONGRESSO LATINO – AMERICANO DA GEOLOGIA, 7., Belém. *Anais...* Belém/SBG, p.80-90.
- GARDINER,V. 1974 Drainage basin morphometry.Techinal *Bulletin Britanic. Geomorphological Research Group*,London. 48 p.
- GÓES & TRUCKENBRODT, W. 1980. Caracterização faciológica e interpretação ambiental dos sedimentos Barreiras na Região Bragantina, nordeste do Pará. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31 Camburiú, *Anais.*, SBG. v. 2, p. 766-771.
- GÓES A. M., ROSSETTI, D. F.; NOGUEIRA A. C. R., TOLEDO P. M. 1990 Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Pará. *Bol. Museu Paraense Emilio Goeldi. Serie Ciências da Terra* 2:3-15.
- GOMES, J.M.& VELHO, L. 1995 *Computação Visual: Imagens*. Rio de Janeiro, SBM,
- GUERRA, A. T. 1993. *Dicionário Geológico Geomorfológico*. 8ª ed. Rio de Janeiro. Fundação IBGE. 446 p.
- HASUI, Y.1990.Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In:WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO, 1 Belo Horizonte. *Anais...* SBG. Núcleo de Minas Gerais. p 1-31 (Boletim,11).
- HASUI, Y. & COSTA, J.BS. 1991. *Zonas e Cinturões de Cisalhamento*. Belém: Ed. Universitária. UFPA, 144p.



- HASUI, Y. & COSTA, J.B.S. 1996 – Neotectônica: Fundamentos, métodos e técnicas de análise. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5, Belém *Notas de curso* Belém. SBG, 15p
- HORTON, R.E. 1945 Erosional development of streams and their drainage basin: hidrographical approach to quantitative morphology. *Geological Society of American Bulletin*, Colorado, 56 (3) :275-370.
- HOWARD, A.D. 1967. Drainage analysis in geologic interpretation: summatio. *Bull. Amer. Assoc. Petr. Geol.* Chicago, 51(11):2246-2259.
- IGREJA, H. L. S de; BORGES, M. S.; ALVES, R. J.; COSTA JÚNIOR, P. S. da & COSTA, J. B. S. 1990. Estudo Neotectônico nas Ilhas de Outeiro e Mosqueiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36 Natal *Anais.* , SBG – Núcleo Nordeste, v 5 p. 2110-2123.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 1998 – *Normais Climatológicas (1931 a 1997)* - Brasília – DF.
- KING, L.C. 1956. A Geomorfologia do Brasil Oriental. *Revistas Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro. (1892): 147-265.
- LEEDER, M. R. & ALEXANDER, J. 1987. The origem and significance of Asymmetry Meander Belts, *Sedimentology*, 34, (24): 217-226).
- LIMA; M. I. C de. 2002 - *Análise de drenagem seu significado Geológico - Geomorfológico* (Apostila Digital – CD Rom)
- LUEDER, D.R. 1959 *Aerial Photographic Interpretation*. New York: Mcgraw-Hill,.
- MACHETTE, M. N PERSONIUS, S. F NELSON, A R.; SCHWARTZ, D.P., LUND, W.R. 1991. The Wasatch fault zone, Utah – segmentation and history of Holocene earthquakes. *Journal of Structural Geology* 13,(2): 137-150

- MATTA, M. A. da S. 2002, *Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Região de Belém/Ananindeua* – Pará, Brasil. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 292p. (Tese de Doutorado).
- MAURY, C.J. 1925. *Fósseis terciários do Brasil com novas descrições de Formas Cretáceas*. Rio de Janeiro. Serviço Geológico e mineralógico do Brasil. 665p. (Monografia 4).
- MERCIER, J.L.; CAREY- GAILHARDIS, E MOUYARIS, N SIMEAKIS K.; ROUNDYOYNNIS, T.; ANGHELIDHIS, C 1987. Structural analysis of recent and active faults and regional state of stress in the epicentral area of the 1978 Thessaloniki earthquake (northern Indian). *Tectonics*, 2:577-600.
- MONTEIRO, E.C.; LUCZYNSKI, E.; SOUZA, P.G.N. 1992. *Estágio de Campo III – Ilha de Mosqueiro/PA (Projeto Nordeste do Pará)*. Belém. Universidade Federal do Pará/Centro de Geociências. 116 p. (Relatório Final).
- MONTEIRO, M.F.; & SILVA, T.C. 1979. *Aspectos fluviais importantes para a fotointerpretação*. 2.ed. Salvador: Centro Editorial e Didático da Universidade Federal,. 44p.
- MONTENAT, C.; BARRIER.; P DESTEVOU P. O. 1991. Somente aspects of the recent tectonics in the estuary of Messina, Italy *Tectonophysics*, 194,(3):203-215.
- MORAES, M. C. da S. 1999. *Avaliação do Regime de Precipitação na Região de Belém (RMB) e sua Relação Hidrologia Subterrânea*. CG/DMET/UFGA. 45p.(Trabalho de Conclusão de Curso)
- MOREL, J. L ZOUINE, EI M POISSON, A 1993. Relations entre la subsidence des bassins moulouyns et la creation des reliefs atlasiques (Maroc): un exemple d'inversion tectonique depuis le Néogène. *Bull. Soc. Géol. De France*. 164,(1)79-91.
- MORNER, N.A 1990. Neotectonics and Structural Geology; general introduction. *Bull. Int. Quat. Ass. Neotect. Comm.* 13,87.
- MUIR WOOD, R. & MALLARD, D.J. 1992. When is a fault extinct? *J. Geol. Soc. Lond.* 149, 251-255.

- NECHET, D. 1984. Variabilidade Diurna da Precipitação em Belém - Pará; In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 3., *Anais...* Belo Horizonte - MG; p. 204-211.
- NILSEN, T.H. H & SYLVESTER, A. G. 1996. Strike slip basins. In: NILSEN, T. H. & SYVETER, A. G. (eds.) *Sedimentary Basins.National press*. P. 425-457.
- O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. 1976. Lineament, linear limination: some proposed new standards for old terms. *Geological Society of American Bulletin*, New York, .87, (10) 1463-1469.
- OLIVEIRA, J. R. 2003. (Coord.). PHRMB – *Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências*. Belém, CRPM. CD ROM (Relatório Final)
- OLIVEIRA, J.R. DE; MELO, A. F. DE; PINTO, J. A.; SOUZA, A. N. 2002 – Controle de vazamentos em postos de combustíveis na região metropolitana de belém e seus aspectos legais In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. 12., *Anais*. Florianópolis – SC ABAS CD ROM
- OLIVEIRA, M. C. F. de & SOUZA, P. F. S. 1997. Estudo de Possíveis Variações e Mudanças Climáticas em Belém. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., *Anais...* Piracicaba – SP. p. 410-412.
- OLIVEIRA, M. C. F. de; ROCHA, E. J. P. da; RIBEIRO, J. B. M.; MOTA, G. V. 1995. Estudo das Alterações Meteorológicas Associadas à Urbanização Belém – Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9, *Anais...* Campina Grande – PB. p. 177-179.
- OUCHI, S. 1985. Response of Alluvial Rivers to Slow Active Tectonic Movement. *Geological Society of Amariucan Bulletin*, 96 504-5115.
- PALHETA, E. S. de M. 2004. *Recursos Hídricos Subterrâneos da Ilha de Mosqueiro (PA)*. Belém. Universidade Federal do Pará Centro Geociências (Exame de Qualificação de Doutorado).

- PETRI, S. 1957. Foraminíferos Miocênicos da Formação Pirabas. *Boletim da Faculdade da Filosofia Ciências Letras (geologia)* – Universidade de São Paulo, 216: 79 p.
- REBOUÇAS, A. C. 1994. *Fundamentos de Gestão de Aquíferos*. 35p (Curso Pré Congresso Latino Americano de Hidrologia Subterrânea, 2., Santiago ALSUD / Chile).
- ROSSETTI, D. F. 1990 – *Caracterização fediológica e diagenética da formação barro duro – Bacia de barrerinhas Belém, CG/UFPA, 1990* 191p. (Dissertação de Mestrado)
- ROSSETTI, D.F.; TRUKENBRODT, W.; GÓES, A.M. 1989. Estudo Paleambiental e Estratigráfico dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi* (Série Ciências da Terra), 1 (1): 25-74.
- SAADI, A 1991. *Ensaio sobre morfotectônica Minas Gerais: mapas morfotectônicos*. IGC/UFMG, 300p,06. (Tese para admissão a cargo de professor Titular)
- SCHEIDEGGER, A.E. 1965. *The algebra of stream order numbers*. U.S. Geological Survey Professional Paper, Washington, D.C., v.525B, p.187-189,.
- SCHUMM, S. A. 1986. *Alluvial River Response to Active Tectonics*. *Active Tectonics, Studies in Geophysics*. National Academy Press. p. 80-94.
- SETRANS – 2000 - SECRETARIA EXECUTIVA DE TRANSPORTES, – *SIGIEP – Sistema de Informações Geográficas do Estado do Pará*. CD ROM.
- SILVA, C.L da. 1997 *Aspectos neotectônicos do médio vale do Rio Moji- Guaçu: região de Piraçununga*. Ro Claro. Instituto de Geociências e Ciências Exatas- Universidade Estadual Paulista , 196p. (Dissertação de Mestrado).
- SLEMMONS, D.B. 1991. Introduction the Geology of North America, Decade Map, Neotectonics of North America. *Geological Society of America, Bulletin*, Colorado, 1 (1); 1-20.

- SMITH, T.; PEUQUET, D.; MENON, S.; AGARWAL, P. KBGIS-II, 1987. A Knowledge-Based Geographical Information System. *International Journal of Geographical Information Systems*. 1. (2); 149-172.
- STERNBERG, H. O'R. 1950. Vales Tectônicos da Planície Amazônica. *Revista Brasileira Geográfica*, Rio de Janeiro, (11): 95-106.
- STERNBERG, H. O'R. 1953. Sismicidade e morfologia da Amazônia brasileira. *Anais da Academia de Ciências Brasileira*. Rio de Janeiro.(25): 443-453.
- STEWART, L.S. & HANCOCK, P.L. 1994. Neotectonics. In: HANCOCK, P.L (Ed). *Continental Deformation*. Pergamon Press, p. 370 – 409.
- SUMERFILED, M. A. 1993. *Global Geomorphology: In introduction to the study of landforms*. New York, Longman Scientific & Technical 537p.
- SYLVESTER, W. 1988. Strike- slip faults. *Geological Society of America Bulletin*, (100):1666-1703.
- TÁVORA V.A. & FERNANDES J. M. G. 1999. Estúdio de los foraminíferos de la correlacion com faunas Del Caribe. *Revista Geol. America Central*. 22:63-74.
- THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. 1955. The water balance. *Climatology* 8 (1).
- VELOSO, J.A.V.; ASSUMPÇÃO, M GONÇALVES, E. S REIS, J.C DUARTE, V.M.&MOTA, C.G.B. 1987. Registro de sismicidade induzida em reservatórios da CEMIG e FURNAS. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA,5. São Paulo (SP). *Anais...v.1*,p.135-146.
- WOODCOCK, N.H & SCHUBERT, C 1994. Continetal strike-slip tectonics. In STEWART, I.S & HANCOCK, P. L. *Neotectonics*. New York: Pergamon Press. P. 370-409.