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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

NEOTECTÔNICA E ESTRUTURAÇÃO DOS SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS DA REGIÃO DE CASTANHAL / PA

Dissertação apresentada por:

ÍRIS CELESTE NASCIMENTO BANDEIRA

BELÉM – PA
2008

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

Bandeira, Íris Celeste Nascimento

B214n Neotectônica e estruturação dos sistemas hidrogeológicos da região de Castanhal/Pa / Íris Celeste Nascimento Bandeira. – 2008
xvii, 144 f. : il.
Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.
Orientador, Francisco de Assis Matos de Abreu.

1. Hidrogeologia. 2. Neotectônica. 3. Castanhal (Pa). I.Universidade Federal do Pará II. Abreu, Francisco de Assis Matos de, Orient. III. Título.

CDD 20º ed.:551.49098115

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

INFLUÊNCIA DA NEOTECTÔNICA NA ESTRUTURAÇÃO DOS SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS DA REGIÃO DE CASTANHAL/PA E DETERMINAÇÃO DE POSSÍVEIS ÁREAS DE RECARGA.

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

IRIS CELESTE NASCIMENTO BANDEIRA

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

Data de Aprovação: **13/05/2008**

Comitê de Dissertação:

Dr. FRANCISCO DE ASSIS MATOS DE ABREU (Orientador)

Dr. ITABARACI NAZARENO CAVALCANTE

Dr. MAURÍCIO DA SILVA BORGES

Belém

Para Benedita Nascimento e

Cezar Bandeira (*in memorian*)*,*

Alicerces da vida .

Para Cauã e João Paulo,

meu amor e meu vício

AGRADECIMENTOS

A Universidade federal do Pará, instituição de respeito nacional, a qual possibilitou a infraestrutura para a minha formação.

Ao Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (CPGG) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

A CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu pela orientação e apoio.

Ao Prof. Dr. Maurício da Silva Borges pelos esclarecimentos e conhecimentos sobre neotectônica.

Ao Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante por auxilio no contexto hidrogeológico.

A Prof[a]. Mestre Ana Valéria Gama pelo apoio, discussões e contribuições em todos os tópicos desta dissertação.

Ao Prof. Dr. Luiz Gouvêa por conhecimentos relacionados à geofísica.

Ao técnico Afonso pela compreensão e ajuda no estudo geofísico de sondagem elétrica vertical.

Ao Geógrafo Wilson Rocha, Geóloga Elaine Martins, Geóloga Suzan Pequeno e Engenheiro Ambiental Ulisses pelas informações de geoprocessamento.

Às amigas e Geólogas Milena Andrade e Joyce Brabo, pelo incentivo, aprendizado, apoio e companheirismo no decorrer da vida e também desta dissertação.

Ao meu amigo José Maria, por ser tão prestativo e poder me ajudar em todas as viagens de campo.

A minha família pelo apoio em todos os momentos felizes e tristes.

Se as coisas são inatingíveis... ora!
Não é motivo para não querê-las...
Que tristes os caminhos, se não fora
A presença distante das estrelas!

Mário Quintana

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA……...iv
AGRADECIMENTOS ……..v
EPíGRAFE…….…....vi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES ……..….….x
LISTA DE TABELAS…….……...……...….xvi
LISTA DE SIGLAS …….……..... xvii
RESUMO.....1
ABSTRACT.....2
1 **INTRODUÇÃO**.....3
1.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....4
1.2 OBJETIVOS.....6
1.2.1 **Objetivo Geral**.....6
1.2.2 **Objetivos Específicos**.....6
1.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....6
2 **REVISÃO CONCEITUAL**.....11
2.1 GEOPROCESSAMENTO – SIG.....11
2.1.1 **Características dos SIGs**.....11
2.1.2 **Configuração de um SIG**.....11
2.1.3 **Tipos de Representação**.....12
2.1.4 **Tipos de Dados em Geoprocessamento**.....13
2.1.5 **Funções de Manipulação e Análise de Dados Geográficos**.....13
2.2 ANÁLISE MORFOESTRUTURAL.....13
2.2.1 **Caracterização do Relevo**.....15
2.2.1.1 Caracterização Morfológica.....15
2.2.1.2 Landforms Tectônicos.....17
2.2.1.2.1 *Landforms Tectônicos Primários*.....17
2.2.1.2.2 *Landforms Tectônicos Secundários*.....19
2.2.2 **Análise da rede de drenagem**.....20
2.2.2.1 Caracterização da Drenagem.....15
2.2.2.2 Interpretação Estrutural da Drenagem.....25
2.2.2.2.1 *Drenagem Controlada por Sistemas de Fraturas ou Juntas*.....25

2.2.2.2.2 *Drenagem Controlada por Estruturas com Movimento Vertical*.....26
2.2.2.2.3 *Drenagem Controlada por Estruturas com Movimento Horizontal ou Direcional*.....28
3 **ESTADO DA ARTE SOBRE A ÁREA DE ESTUDO**.....33
3.1 CLIMA.....33
3.1.1 **Classificação Climática**.....33
3.1.2 **Precipitação.**.....34
3.1.3 **Balanço Hídrico.**.....35
3.2 GEOMORFOLOGIA.....37
3.3 GEOLOGIA.....39
3.3.1 **Formação Pirabas**.....39
3.3.2 **Grupo Barreiras.**.....40
3.3.3 **Sedimentos Pós – Barreiras**.....40
3.3.4 **Sedimentos Recentes**.....41
3.4 NEOTECTÔNICA.....43
4 **ASPECTOS GEOTECTÔNICOS**.....43
4.1 PALEOTECTÔNICA.....45
4.1.1 **Quadro Arqueano / Proterozóico.**.....45
4.1.2 **Quadro Fanerozóico**.....47
4.2 NEOTECTÔNICA.....49
5 **ANÁLISE MORFOESTRUTURAL**.....53
5.1 ANÁLISE REGIONAL.....53
5.1.1 **Análise do Relevo**.....53
5.1.1.1 Unidades Geomorfológicas (Morfológicas).....55
5.1.1.1.1 *Planícies Fluviais*.....55
5.1.1.1.2 *Colinas Pediplanizadas*.....56
5.1.1.1.3 *Colinas de Topos Aplainados*.....57
5.1.1.2 Landforms Tectônicos.....59
5.1.2 **Análise da drenagem**.....66
5.1.2.1 Caracterização da Drenagem.....66
5.1.2.2 Análise das Lineações e dos Alinhamentos da Drenagem.....76
5.1.3 **Análise Integrada.....**.....81

5.1.3.1 Aspectos geométricos.....82
5.1.3.1 Aspectos Cinemáticos.....82
5.2 ANÁLISE EM ESCALA DE SEMIDETALHE.....85
5.2.1 **Análise do Relevo**.....85
5.2.1.1 Unidades Morfológicas.....85
5.2.1.2 Landforms Tectônicos.....88
5.2.2 **Análise da Drenagem**.....91
5.2.2.1 Caracterização da Drenagem.....91
5.2.2.2 Análise das Lineações e dos Alinhamentos da Drenagem.....93
5.2.2 **Análise Integrada.....**.....96
6 **HIDROGEOLOGIA.....**.....99
6.1 GEOMETRIA DOS SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS.....99
6.1.1 **Sondagem Elétrica Vertical**.....99
6.1.2 **Seções das camadas sedimentares**.....115
6.1.3 **Integração dos Dados.....**.....120
6.2 MAPEAMENTO DO FLUXO SUBTERRÂNEO.....121
6.2.1 **Comportamento do Nível Estático**.....124
6.2.1.1 Período mais chuvoso.....124
6.2.1.2 Período menos chuvoso.....124
6.2.2 **Comportamento do Fluxo Subterrâneo.**.....127
6.2.2.1 Período chuvoso.....127
6.2.2.2 Período menos chuvoso.....129
6.3 RECARGA DOS SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS.....132
7 **INTERRELAÇÃO NEOTECTÔNICA E HIDROGEOLOGIA**.....134
8 **GEOPROCESSAMENTO-SIG**.....136
9 **CONCLUSÕES**.....138
10 **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**.....140

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo.....5
Figura 1.3.1: Dispositivo de medida das sondagens elétricas através do arranjo Schlumberger.....9
Figura 2.1.1: Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica, mostrando a relação dos principais componentes ou subsistemas de um SIG. 12
Figura 2.2.1: Contraste entre escalas de tempo em relação aos tipos de abordagem de investigação em neotectônica.....14
Figura 2.2.2: Estrutura da Geomorfologia adotada pelo RADAM Brasil 15
Figura 2.2.3: Estágio evolutivo do relevo falhado 17
Figura 2.2.4: Evolução provável de uma escarpa de falha 18
Figura 2.2.5: Exibindo os diferentes mergulhos das cuestas 19
Figura 2.2.6: Esquema de ordenamento de canais 20
Figura 2.2.7: Padrões básicos de drenagem do tipo: A - dendrítico, B-paralelo, C-treliça, D - retangular E - radial, F-anelar.....21
Figura 2.2.8: Padrões modificados de drenagem do tipo: A - pinado, B – distributário , C - subdendrítico, D - anostomótico, E- treliça direcional, F-treliça de falha, G-treliça recurvada, H-treliça de junta, I-subparalelo, J-angulado, L-colinear,M - centrípeto 22
Figura 2.2.9: Propriedades de Drenagem 24
Figura 2.2.10: Sistemas de juntas neotectônicas. (a) Conjunto de juntas sistemáticas verticais de extensão ligado por juntas não sistemáticas. (b) Juntas verticais de extensão e juntas híbridas íngremes ligados por juntas não sistemáticas. (C) Juntas verticais de extensão e juntas híbridas ligado por juntas não sistemáticas. SH – Maior tensão horizontal, Sh – Menor tensão horizontal. 26
Figura 2.2.11: 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. A seta indica o local da deformação.....28
Figura 2.2.12: Fraturas em regime coaxial. Em (a), C e C' são as fraturas de cisalhamento conjugado, fazendo ângulo θ com σ 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.....29
Figura 2.2.13: Elipse de *Strain* relacionada a um sistema de falha transcorrente dextral.....30
Figura 2.2.14: Bloco Diagrama ilustrando as feições geomorfológicas associadas às falhas transcorrentes.....31
Figura 2.2.15: Tipos de estruturas, Visto em mapa, ao longo de falhas transcorrentes.....32
Figura 2.2.16: Blocos rotacionados por um binário dextral e as estruturas dominantes vistas em mapa. 32
Figura 3.1.1: A Região de Castanhal no Contexto da Classificação Climática Regional.....33
Figura 3.1.2: Gráfico mostrando a variação da precipitação média mensal. Período de 2003-2007.....35
Figura 3.1.3: Representação gráfica das linhas P, DEF, e EXC para a região de Castanhal (Período 2003 - 2007).. 37
Figura 3.1.4: Coluna Estratigráfica da Região de Castanhal.....41
Figura 3.1.5: Perfil composto da área de estudo.....46
Figura 4.1: Blocos Crustais da região Amazônica 65
Figura 4.2: Unidades Litológicas e feições principais do proterozóico Médio/ Superior. As setas indicam as orientações dos eixos de distensão nos dois compartimentos, separados pela Zona de Transferência Boa vista Caracaraí 47
Figura 4.3: Quadro tectônico Paleozóico 48
Figura 4.4: Quadro tectônico Mesozóico 49
Figura 4.5: Quadro estrutural do Terciário Superior (Mioceno / Plioceno).....52
Figura 4.6 - Abrangência do Mar de Pirabas na região nordeste do estado do Pará, e as prováveis estruturas que controlam a deposição dessa unidade litoestratigráfica.....52
Figura 4.7: Quadro Estrutural do Quaternário (Pleistoceno Médio – Holoceno).....52
Figura 5.1.1: Mapa de Elevação do Terreno.....54
Figura 5.1.2: Planície Fluvial da "Cabeceira" do rio Apeú 55
Figura 5.1.3: Colinas Pediplanizadas BR – 316 56
Figura 5.1.4: Colina de Topo Aplainado. (A) Com cobertura vegetal, (B) Sem vegetação 57
Figura 5.1.5: Mapa Morfológico Regional.....58

Figura 5.1.6: Modelo Digital do Terreno (MTD). Destacando um relevo suavemente ondulado nas porções mais elevadas (acima de 40m) e um relevo caracterizado por facetas triangulares nas áreas mais baixas (15 a 40m).....59
Figura 5.1.7: Mapa de alinhamentos do relevo, evidenciando as principais direções de escarpas de linha de falha.....61
Figura 5.1.8: Rosácea dos alinhamentos do relevo da região de Castanhal.....62
Figura 5.1.9: Seção 1- Perfil geral atravessando as sub-bacias dos rios Apeú-Inhangapi (SSW) e sub-bacia do rio Marapanim (NNE) – mostrando a variação dos sistemas de relevo de agradação de degradação. Além de mostrar que a porção NNE e SSW foram abatidas em relação a centro da área.....63
Figura 5.1.10: Seção 2 -Perfil da porção norte da microbacia do Braço Esquerdo do Rio Marapanim, mostrando a quebra de relevo e a presença de vales fechados.....63
Figura 5.1.11: Seção 3 - Perfil mostrando a passagem do relevo de colinas de topo aplainado para planícies fluviais.....63
Figura 5.1.12: Seção 4- Perfil mostrando a quebra do relevo na microbacia do Braço Esquerdo do Rio Marapanim e possível configuração de abatimentos de blocos.....64
Figura 5.1.13: Seção 5 - Perfil mostrando as feições geomorfológicas como colinas pediplanizadas na microbacia do Braço Esquerdo do Rio Marapanim.....64
Figura 5.1.14: Seção 6 - Perfil exibindo a quebra do relevo na microbacia do Braço Esquerdo do Rio Marapanim e abatimento de bloco no sentido NNE.....64
Figura 5.1.15: Seção 7 - No perfil que atravessa o Rio Marapanim, observa-se o contraste de altimetria das suas margens, indicativo de abatimento de blocos no sentido WNW 64
Figura 5.1.16: Seção 8 - No perfil que atravessa o Rio Marapanim, observa-se o contraste de altimetria das suas margens, indicativo de abatimento de blocos no sentido SSW.....65
Figura 5.1.17: Seção 9 - Feições geomorfológicas da microbacia do Rio Apeú.....65
Figura 5.1.18: Seção 10 - Seção na porção sul da microbacia do Rio Apeú. Perfil mostrando as feições em vale fechado do Rio Apeú.....65
Figura: 5.1.19 - Seção 11 – seção da microbacia do Rio Inhangapi. Exibindo a morfologia das planícies e colinas.....65
Figura 5.1.20: mapa das duas principais sub-bacias da área de estudo. A sub bacia 1, denominada de sub-bacia do rio Apeú e Inhangapi está inserido na Bacia Hidrográfica do rio

Guamá, ou seja, seus efluentes deságuam no Rio Guamá . A sub bacia 2 é formada por afluentes que deságuam no rio Marapanim.....67
Figura 5.1.21: Mapa das zonas homólogas da área de estudo regional.....68
Figura 5.1.22: Mapa da zona homóloga A, tem como rios principais o Braço Esquerdo do Rio Marapanim e o Rio Marapanim. Observa-se a orientação preferencial da drenagem na direção NE-SW e formas anômalas em arco (A), cotovelo (B) e anomalias em forma de Z (C).....70
Figura 5.1.23: Mapa da zona homóloga B tendo como o rio principal o Marapanim. Formas anômalas como meandros isolados (A) formas em arco (B) em cotovelo (C) e em S (D).....72
Figura 5.1.24: Mapa da zona homóloga C tendo como rio principal Inhangapi e Apeú. Formas anômalas como formas em cotovelo (A), am arco (B) e em Z (C).....73
Figura 5.1.25: Mapa da zona homóloga D tendo como o rio principal o Apeú e Inhangapi. Formas anômalas como formas em am arco (A) meandros (B) Formas anômalas em S.....74
Figura 5.1.26: Fotografias aéreas, mostrando uma área de inundação, que provavelmente sofreu basculamento.....75
Figura 5.1.27: Mapa de Ordem de Drenagem Regional.....76
Figura 5.1.28: Mapa de alinhamentos da drenagem da área de estudo regional.....78
Figura 5.1.29: Rosácea dos alinhamentos de 1º ordem (A), 2º ordem (B), 3º ordem (C), 4º ordem (D) e 5º ordem (E).....79
Figura 5.1.30: Rosácea composta por todos os alinhamentos de drenagem da área estudada.....80
Figura 5.1.31 Sismo de 12 de janeiro de 1970 em Belém – PA.....81
Figura 5.1.32: Diagrama de Riedel da área de estudo regional.....83
Figura 5.1.33: Mapa Morfoestrutural Regional, mostrando as principais unidades de relevo condicionadas a um arranjo geométrico estruturado.....84
Figura 5.2.1: Mapa morfológico da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.....86
Figura 5.2.2: Mapa de declividade da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO. Mostrando que as maiores declividades (verde) estão na mesma direção que as planícies fluviais e os principais alinhamentos de drenagem da área.....87
Figura 5.2.3 : Rosácea dos alinhamentos do relevo da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO, onde se destacam duas direções principais N40º-50ºW e N40º-50ºE.....88
Figura 5.2.4 : Mapa de Alinhamentos do Relevo da folha SA-23 – V - C - I -1-SO.....89

Figura 5.2.5: Seção 1- Perfil paralelo à porção norte do Braço Esquerdo do rio Marapanim e transversal às drenagens secundarias deste. Nesta seção pode ser observada a presença de colinas pediplanizadas.....90
Figura 5.2.6: Seção 2 - Perfil mostrando as feições geomorfológicas: colinas de topo aplainado e colinas pediplanizadas. Observa-se também abatimento de blocos no sentido SW.....90
Figura 5.2.7: Seção 3 - Perfil mostrando as quebras de relevo e o abatimento de blocos pra SE.....90
Figura 5.2.8: Seção 4 – Perfil ao sudeste da área, atravessando prováveis blocos, abatidos no sentido SE.....91
Figura 5.2.9: Seção 5 – Exibindo abatimento de bloco no sentido SE.....91
Figura 5.2.10: Mapa de drenagem da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO. Mostrando uma forte assimetria de drenagem, formas anômalas e um padrão retangular.....92
Figura 5.2.11: Mapa de Ordem de Drenagem (Folha SA-23 – V - C - I -1-SO).....93
Figura 5.2.12: Mapa de lineações da drenagem da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO. Mostra que os alinhamentos de quarta ordem tem direção preferencial NE-SW, os de terceira NW-SE, os de segunda N-S e os de primeira NW-SE e NE-SW.....94
Figura: 5.2.13: Rosácea dos alinhamentos de 1º ordem (A), 2º ordem (B) , 3º ordem (C) e 4º ordem (D).....95
Figura 5.2.14: Mapa morfoestrutural da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO. Mostrando a relação entre morfologia e os 16 blocos estruturais.....98
Figura 6.1.1: Mapa de localização das Sondagens Elétricas Verticais (SEVs).....100
Figura 6.1.2: Curva de Campo - mostrando a resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV1.....101
Figura 6.1.3: (A) Curva calculada - mostrando a Resistividade aparente e a profundidade em metros, (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº1.....102
Figura 6.1.4: Curva de Campo - mostrando a resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV2.....103
Figura 6.1.5: (A) Curva calculada - mostrando a Resistividade aparente e a profundidade em metros, (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº2, (C) Poço CPRM 104
Figura: 6.1.6: Curva de Campo - mostrando a resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV3.....105

Figura 6.1.7: (A) Curva calculada - mostrando a Resistividade aparente e a profundidade em metros, (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº3.....106
Figura 6.1.8: Curva de Campo - Resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV4.....107
Figura 6.1.9: (A) Curva calculada - mostrando a Resistividade aparente e a profundidade em metros, (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº4.....107
Figura 6.1.10: Curva de Campo - mostrando a resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV5.....108
Figura 6.1.11: (A) Curva calculada - mostrando a Resistividade aparente e a profundidade em metros, (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº5.....109
Figura 6.1.12: Curva de Campo – Resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV6.....110
Figura: 6.1.13: (A) Curva calculada - mostrando a Resistividade aparente e a profundidade em metros, (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº6.....110
Figura 5.1.14: Curva de Campo - mostrando a resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV7.....111
Figura 6.1.15: (A) Curva calculada - mostrando a Resistividade aparente e a profundidade em metros, (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº7.....112
Figura 6.1.16: Curva de Campo - mostrando a resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV8.....113
Figura 6.1.17: (A) Curva calculada - mostrando a resistividade aparente e a profundidade em metros, (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº8.....114
Figura 6.1.18: Seção W-E mostrando o deslocamento das camadas (areia com silte) e indicação de falha com mergulho no sentido leste.....115
Figura 6.1.19: Seção WNW-ESE mostrando o deslocamento das camadas, com prováveis falhas com mergulho para ESE.....116
Figura 6.1.20: Seção NW-SE mostrando as camadas deslocadas por prováveis falhas com mergulho no sentido SE.....117
Figura 6.1.21: Seção SW-NE – mostrando descontinuidades, falhas inferidas, com mergulho no sentido SW.....118
Figura 6.1.22: Seção NW-SE – mostrando mergulho das prováveis falhas no sentido SW e para NE.....119
Figura 6.1.23: Seção NW-SE – mostrando prováveis falhas mergulhando para SW.....120

Figura 6.2.1: Mapa de localização dos poços cadastrados na Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.....123
Figura 6.2.2: Mapa de profundidade do nível estático no período mais chuvoso da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.....125
Figura 6.2.3: Mapa de profundidade do nível estático no período menos chuvoso da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.....126
Figura 6.2.4: Mapa de Equipotencial Hidráulico do período mais chuvoso da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.....128
Figura 6.2.5: Mapa de Equipotencial Hidráulico do período menos chuvoso da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.....130
Figura 6.2.6: Bloco diagrama exibindo o fluxo subterrâneo e a topografia da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.....131
Figura 6.3.1 : Mapa das prováveis áreas de recarga na Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.....133

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.2.1: Técnicas de aquisição de dados neotectônico 14
Tabela 3.1.1: Estação Castanhal –Série Climatológica 2003-2007.....34
Tabela 3.1.2: Balanço Hídrico segundo Thornthwaite, região de Castanhal – período 2003-2007.....36
Tabela 5.1.1: Principais direções de alinhamentos de drenagem regional.....77
Tabela 6.2.1: Características dos poços utilizados para o mapa de fluxo subterrâneo.....122

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

CAD - Computer Aided Design

COSAMPA – Companhia de Saneamento do Pará

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DEF - Deficiência da água: no solo (mm)

DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineral

ETR - Evapotranspiração Real

ETP - Evapotranspiração Potencial

EXC - Excedente de água no solo (mm)

GIS - Geographic Information System

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INQUA - International Union for Quaternary

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

JLP - Jet Propulsion Laborator

NASA - National Aeronautics and Space Administration

P - Pluviometria

PA - Pará

P-ETP - Saldo entre Precipitação e Evapotranspiração

RGB – Red, Green, Blue

SEMA – Secretaria Executiva de Meio Ambiente

SEV – Sondagem Elétrica Vertical

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

UTM – Universal Transverse Mercator

RESUMO

O estudo morfoestrutural e hidrogeológico realizado no município de Castanhal - PA em duas escalas distintas, 1:100.000 e 1:25.000, permitiram avançar no entendimento das relações entre elementos geométricos dos sistemas hidrogeológicos e elementos estruturais relacionados aos eventos neotectônicos como base para determinar entre outros aspectos, áreas potenciais de recarga destes sistemas. O estudo morfoestrutural auxiliado pelos dados geofísicos levantados mostrou que a área tem um controle estrutural relacionado a um pulso neotectônico responsável pela reativação de falhas de direção NW-SE, NE-SW, E-W e N-S as quais provocaram anomalias e mudanças nos padrões de drenagem, assim como condicionou o estabelecimento de unidades de relevo onde se destacam planícies fluviais, colinas pediplanizadas e colinas de topo aplainado. Essas falhas podem ser compatibilizadas em um regime de esforço, que gerou um arranjo geométrico caracterizado por blocos tectônicos, limitados por tais falhas, bem como um quadro cinemático de configuração dextral, onde de forma destacada, se formaram falhas trativas na direção NW-SE, firmando importantes condutos para a recarga dos sistemas hidrogeológicos. A área é composta por três sistemas hidrogeológicos: Superior, caracterizado como livre e encontrado em profundidades de 2 a 8m; Barreiras variando entre livre e semiconfinado e encontrado a partir de 20m de profundidade; e Pirabas caracterizado como confinado e encontrado a partir 90 a 120m de profundidade. Estes sistemas apresentam profundidades variáveis relacionadas aos deslocamentos provocados por falhas neotectônicas. Os sistemas hidrogeológicos confinados (Pirabas) a semi-confinados (Barreiras) estão sendo recarregados em grande parte na área de Castanhal por condutos naturais que são as zonas de falhas e fraturas trativas de direção NW – SE . Já a recarga dos sistemas hidrogeológicos livres (Superior e Barreiras) se dá pela precipitação direta, a partir da água da chuva na porção centro-oeste da área de estudo, ou seja, nas proximidades do igarapé Couro do Curió e na porção nordeste próximo ao igarapé Defunto.

Palavras Chaves: Hidrogeologia. Neotectônica. Castanhal - PA

ABSTRACT

The morphstructural and hydrogeological studies done in two distinct scales, 1:100,000 and 1:25,000, in Castanhal City (PA), the advance on the understanding of the relation between geometric elements of hydrogeological systems and structural elements related to neotectonic events as a base to determine, among other aspects, potential recharge areas of these systems, was allowed. The morphstructural study supported by collected geophysical data showed that the area has a structural control related to a neotectonic pulse responsible for the reactivation of NW-SE-, NE-SW, NS and EW direction failures, which caused anomalies and changes in drainage patterns, and conditioned the establishment of terrain units where river plains, pediplanizadas hills and top-flattened hills jut out. These failures can become compatible in a system of efforts, which generated a geometric formation characterized by tectonic blocks limited by such failures, as well as a kinematic framework of dextral configuration, where in an explicit way extension failures were formed in the NW-SE direction, consolidating important flumes for the recharge of hydrogeological systems. The area is composed of three hydrogeological systems: Superior, characterized as free and found at depths from 2 to 8m; Barreiras varying from free and semi-confined and found from 20m depth, and Pirabas characterized as confined and found at depths from 90 to 120m. These systems present variable depths related to the displacement caused by neotectonics failures. From the confined hydrogeologics systems (Pirabas) to the semi-confined ones (Barreiras) are being largely recharged in the area of Castanhal by natural flumes which are the areas of extension failures and fractures of NW – SE direction. The recharging of the free hydrogeological systems (Superior and Barreiras) occurs by direct precipitation from the rain water in the central-west portion of the study area, in other words, near Couro do Curió river and in the northeast portion near Defunto river.

Keywords: Hydrogeology. Neotectonic. Castanhal - PA

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais consumidos pela sociedade moderna. Atualmente muito se fala em racionalização de sua utilização, pois se acredita que, apesar da abundância deste bem mineral em lugares como a Amazônia, havendo desperdício e um mau gerenciamento, o recurso pode sofrer um *déficit* em termos de quantidade e qualidade.

Para que tal cenário não venha acontecer é necessário um gerenciamento adequado, sustentado por conhecimentos científicos que priorizem a compreensão do comportamento e da interrelação que existe entre águas superficiais e subterrâneas. Com base em estudos dessa natureza se poderá avaliar mais rapidamente, por exemplo, impactos ambientais sobre as águas de uma determinada região. Assim, a preservação dos recursos hídricos está intimamente ligada à gestão dos mesmos.

Para se fazer manejo e gestão dos recursos hídricos subterrâneos é importante conhecer alguns condicionantes hidrogeológicos, tais como: a qualidade das águas, a vulnerabilidade dos sistemas hidrogeológicos, determinação das áreas de recarga, o fluxo da água subterrânea e as reservas, além da geometria dos sistemas hidrogeológicos.

O nordeste do Pará, onde ocorrem de forma principal os sistemas hidrogeológicos Barreiras e o Pirabas, encerra um dos maiores reservatórios de água subterrânea do Brasil (oliveira, 2003), o qual precisa de estudos mais detalhados, para que possam ser melhor utilizados.

Dentre os parâmetros hidrogeológicos que ainda carecem de estudos de detalhe, destaca-se o conhecimento dos mecanismos de recarga desses sistemas, aspecto que será enfocado nessa dissertação. O que hoje se estabelece, por exemplo, sobre recarga do Sistema Pirabas é que ela acontece em grande parte nos municípios do nordeste do estado do Pará, região onde aflora a Formação Pirabas. Uma outra possibilidade pouco ou nunca considerada é a de que o sistema pode ser recarregado a partir de zonas de falhas, principalmente se estas zonas estruturais encontram-se tectonicamente em posições de planos de baixas tensões dentro do quadro tectônico atual.

Neste trabalho discute-se, além da geometria e da cinemática dos blocos estruturais estabelecidos pela atuação de eventos neotectônicos no município de Castanhal, o fluxo subterrâneo e as possíveis áreas de recarga relacionadas a essa outra possibilidade.

1.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área estudada compreende dois recortes diferentes. No primeiro de cunho regional, foram realizados estudos morfoestruturais em escala 1:100.000 na porção nordeste do Estado do Pará, mais especificamente na porção oeste da folha SA-23 – V - C - I (Figura 1.1). Está área engloba a maior parte do município de Castanhal-PA, a porção oeste de São Francisco do Pará, norte de Inhangapi e São Miguel do Guamá, leste de Santa Izabel do Pará, leste de Santo Antônio do Tauá e Vigia, sul de Terra Alta, São Caetano de Odivelas e de Marapanim.

No segundo recorte foi feito um estudo morfoestrutural e hidrogeológico na escala 1:25.000. A área investigada corresponde a Folha SA-23 – V - C - I -1-SO, ou seja, recobre o centro oeste do município de Castanhal e sul do município de Santo Antônio do Tauá (Figura 1.1).

A área como um todo é recortada por diversas estradas como PA 242, 136 e BR 316, a qual liga Castanhal a Belém em uma distância aproximada de 60 km.

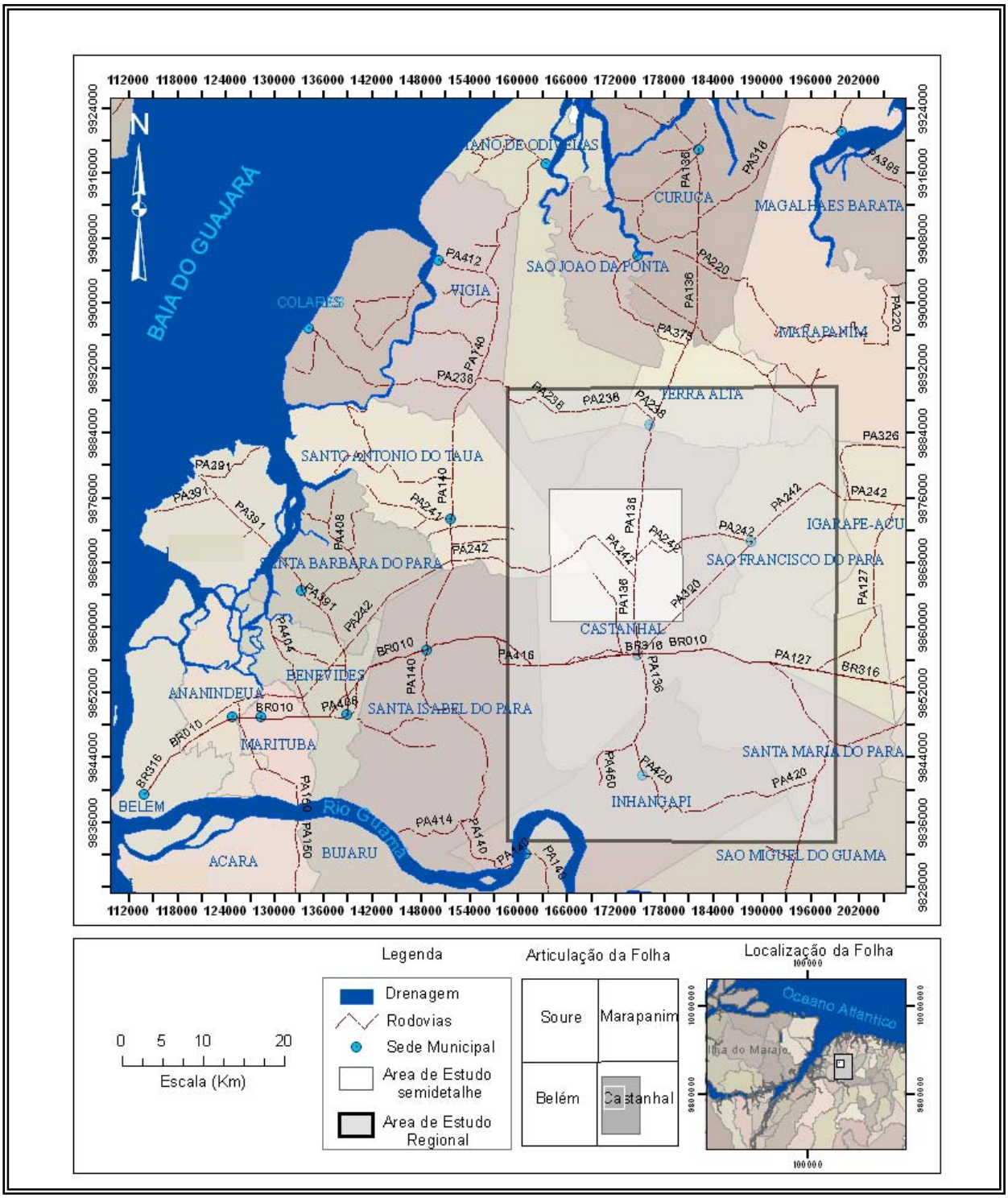


Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo.
Fonte: SETRANS (2000).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 **Objetivo Geral**

Entender a relação entre elementos geométricos dos sistemas hidrogeológicos existentes ao norte da cidade de Castanhal-PA, e os aspectos estruturais, principalmente aqueles relacionados aos eventos neotectônicos como base para determinar áreas potenciais de recarga destes sistemas.

1.2.2 **Objetivos Específicos**

- ✓ Caracterizar geomorfologicamente o relevo e a drenagem, base para o estudo morfoestrutural da área aludida;
- ✓ Avançar na definição geométrica dos sistemas hidrogeológicos Barreiras e Pirabas;
- ✓ Definir o comportamento do fluxo subterrâneo e suas implicações em termos de recarga e descarga;
- ✓ Avaliar os efeitos dos processos tectônicos sobre a geometria dos sistemas hidrogeológicos.

1.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com mencionado no subitem 1.1 (Localização e Acesso), o estudo foi realizado em duas fases: estudos morfoestruturais e hidrogeológicos, que integrados possibilitaram chegar ao objetivo do trabalho.

- ✓ **Pesquisa bibliográfica e coleta de informações técnicas**

Esta fase compreendeu um extenso estudo bibliográfico em livros, dissertações e teses, no sentido de buscar informações sobre as características fisiográficas, geológicas e hidrogeológicas do município de Castanhal e arredores, assim como buscar a metodologia que melhor permitisse alcançar os objetivos declarados neste trabalho.

As informações técnicas foram coletadas em órgãos como a CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Companhia de Saneamento do Pará - COSAMPA, Prefeitura de Castanhal, Secretaria Executiva de Meio Ambiente - SEMA e empresas de construção de poços. Configuram-se informações sobre os aspectos geológicos, hidrológicos de interesse aos objetivos dessa pesquisa, principalmente informações sobre os poços já construídos na área objeto de estudo.

- ✓ **Geoprocessamento – SIG**

Para geração do SIG e elaboração dos mapas existentes neste trabalho foram utilizados:

- Fotografias aéreas na escala 1:70.000, obtidas em novembro/1976 e setembro/1977 pela Cruzeiro do Sul S.A. para o Projeto Capim-Gurupi – DNPM/CPRM. Foram utilizadas para o reconhecimento e identificação dos elementos de relevo e drenagem;
- Imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) da segunda versão obtidas através do "site" do JLP (Jet Propulsion Laborator, http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/) da NASA (National Aeronautics and Space Administration). Utilizadas para geração do mapa de declividade, extração das curvas altimétricas, drenagem e seções do relevo;
- Imagens LANDSAT TM, com data de aquisição: 27/7/1984 (fonte: http://glcf.umiacs.umd.edu). Utilizadas para o reconhecimento dos elementos de drenagem e relevo;
- Software de Geoprocessamento Spring, utilizado para o tratamento da imagem LANDSAT;
- Software Global Mapper 8, utilizado para a geração do modelo digital de elevação e as seções do relevo a partir dos dados SRTM da área;
- Software ARCGIS 9.1, utilizado para a elaboração de todos os mapas desta dissertação;
- Software ArcView 3.2, utilizado para a extração dos alinhamentos de drenagem e geração dos diagramas de roseta.

- ✓ **Análise Morfoestrutural**

O método escolhido para fazer o estudo neotectônico foi o geomorfológico (Análise morfoestrutural).

O estudo morfoestrutural incluiu a caracterização do relevo e da drenagem para identificar se a configuração geomorfológica está condicionada por controle estrutural.

O relevo foi analisado tanto no aspecto morfológico, segundo a metodologia do RADAM Brasil (IBGE, 1995), quanto em termos de *landforms* tectônicos (Stewart & Hancock,1994).

A drenagem foi analisada segundo a metodologia proposta por Soares & Fiori (1976), complementada por alguns padrões propostos por Howard (1967) e interpretações estruturais de Stewart & Hancock (1994). O estudo morfoestrutural em escala de semi - detalhe se utilizou a

metodologia proposta por Costa (2004), na qual divide um área em blocos estruturais tendo como base a análise da drenagem e do relevo.

A integração dos dados permitiu se definir os arranjos geométricos e cinemáticos, possibilitando estabelecer um modelo estrutural para a área e identificar-se as principais direções de compressão ($\sigma 1$) e distensão ($\sigma 3$) que foram relevantes para determinação das áreas de recarga.

- ✓ **Trabalho de campo**

Foram realizadas três viagens de campo (abril, setembro e novembro), a primeira para coleta de dados de nível estático no período chuvoso, a segunda para o período não chuvoso e a terceira viagem onde foi feita a coleta de dados para a analise geofísica.

- ✓ **Geofísica**

O método geofísico de eletroresistividade utilizado neste trabalho permitiu obter de forma indireta o valor de resistividade elétrica (ρ) dos materiais geológicos em sub-superfície, em função da composição mineralógica e dos aspectos texturais dos corpos rochosos. Ele foi aplicado através da técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) utilizando o arranjo Schlumberger, onde os eletrodos de potencial (M e N) permanecem próximos ao ponto escolhido para fazer a análise, enquanto os de corrente (A e B) são progressivamente afastados a cada leitura efetuada (Figura 1.3.1). À medida que se aumenta o espaçamento AB, maior será a espessura das camadas de rochas sondadas em sub-superfície e, portanto, maiores serão as profundidades investigadas. Na área de estudo a abertura máxima dos eletrodos de corrente AB/2 foi de 320m , com profundidade máxima de investigação de 150m.

A resistividade determinada é um valor aparente, resultado da contribuição de todo o pacote investigado, geralmente heterogêneo. A interpretação dos dados fornece um modelo geoelétrico, constituído por camadas plano paralelas, cada qual apresentando uma espessura com o respectivo valor de resistividade elétrica verdadeira.

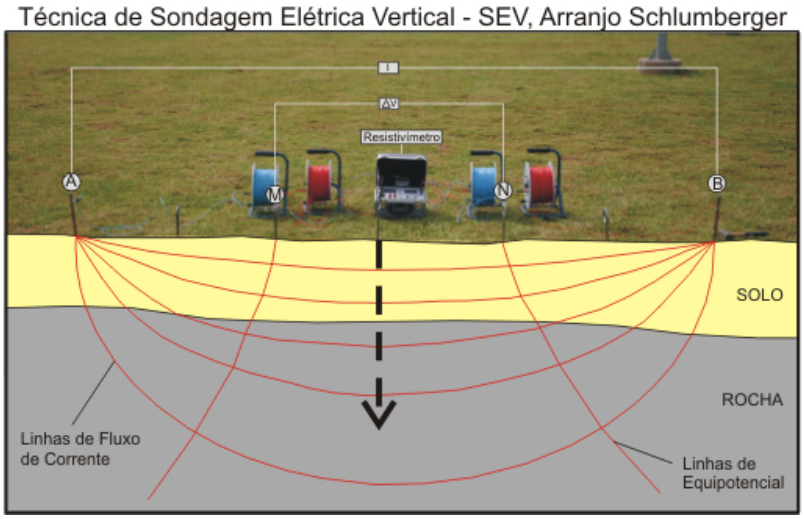


Figura 1.3.1: Dispositivo de medida das sondagens elétricas através do arranjo Schlumberger
Fonte:TEC GEO (2006)

Por conseguinte, a resistividade sub-superficial, conhecida como resistividade aparente ρa, pode ser calculada conhecendo-se a geometria da disposição dos eletrodos (K), a corrente elétrica injetada (IAB) e a voltagem medida (DVMN) entre os eletrodos M e N, pela equação 1:

$$\rho a = K \frac{\Delta V_{MN}}{I_{AB}}, \ (\Omega.\mathrm{m})$$

Equação 1: Mostrando a relação resistividade, corrente elétrica e voltagem.

Os trabalhos de campo foram desenvolvidos utilizando-se resistivímetro modelo GEOTESTE RD – 1000 RX. No processamento e interpretação dos dados foi utilizado, o programa computacional ATONW.EXE.

Informações dos tipos litológicos obtidos de fichas técnicas de poços próximos a área e dados das posições do nível freático em poços amazonas colaboraram nas interpretações dos modelos geo-elétricos.

- ✓ **Geometria das camadas aqüíferas**

A partir dos dados geofísicos levantados foram elaborados perfis litológicos e com a correlação destes foram geradas seções que permitiram visualizar como estão dispostas as camadas sedimentares em sub-superfície.

- ✓ **Mapeamento do fluxo subterrâneo**

Para o estudo do fluxo subterrâneo do Sistema Hidrogeológico Superior da área de Castanhal foi feita coleta de dados em dois períodos distintos (abril e setembro), com o intuito de fazer um mapa de fluxo do período mais chuvoso e do menos chuvoso do ano de 2007, observando se ocorreram mudanças nas linhas equipotenciais das áreas de recarga e descarga e na variação dos gradientes hidráulicos.

Em cada coleta seguiu-se a seguinte metodologia:

a) Cadastramento dos poços, onde se levou em consideração a localização de cada poço em coordenadas UTM, o nome da localidade, o tipo de poço, finalidade do poço, data de perfuração, tipo de revestimento, número de pessoas atendidas, nível estático, profundidade do poço e cota topográfica.
b) Para cada um dos 38 poços cadastrados mediu-se a profundidade do nível estático, utilizando-se de um medidor de nível de alarme sonoro;
c) Obtenção de dados altimétricos, através de altímetros e mapas topográficos;
d) Cálculo da carga hidráulica, obtida a partir da subtração da cota topográfica pelo valor do nível da água do aqüífero livre . Os valores obtidos foram plotados em mapas através do programa *Surfer 8.0* e para o estabelecimento das linhas equipotenciais e a caracterização da superfície potenciométrica, bem como dos vetores de direção e sentido do fluxo subterrâneo. O programa gerou tanto o mapa de fluxo subterrâneo como o bloco diagrama representando este mesmo fluxo, levando em consideração a localização geográfica de cada poço e seu valor de potencial hidráulico;
e) Cálculo do Gradiente Hidráulico, que é a taxa de perda de carga por unidade de comprimento, ou seja, a diferença de cargas hidráulicas (h1-h2) dividida pelo comprimento (L).

- ✓ **Definição das prováveis zonas de recarga da região de Castanhal**

Com base na correlação dos poços na análise morfoestrutural, mapas de fluxo e dados da precipitação, foi possível determinar as prováveis zonas de recarga dos sistemas hidrogeológicos existentes na área.

- ✓ **Conclusões e divulgação dos resultados**

Nesta fase foram estabelecidas as principais conclusões do estudo. Os resultados da pesquisa serão divulgados sob a forma de dissertação de mestrado e trabalhos técnicos científicos e publicados nos órgãos de divulgação.

2 REVISÃO CONCEITUAL

Para a estruturação e compreensão dos tópicos desta dissertação é necessário o conhecimento sobre aspectos teóricos, enfocando a análise morfoestrutural e geoprocessamento.

2.1 GEOPROCESSAMENTO – SIG

O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. No caso deste estudo ele foi direcionado a uma análise morfoestrutural e a um estudo hidrogeológico.

As atividades que envolvem o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos para cada aplicação. Estes sistemas são mais comumente tratados como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ou "Geographic Information System" (GIS) (Câmara & Medeiros, 1998).

Portanto, o geoprocessamento é o conceito mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, enquanto um SIG ocupa-se do posicionamento de dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase nas análises espaciais e modelagens de superfícies (Câmara & Medeiros, op. cit).

2.1.1 Características dos SIGs

O SIG tem a característica de 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, além de 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.

2.1.2 Configuração de um SIG

Numa visão abrangente, um SIG pode ser configurado:

A. Interface Com Usuário - constitui as funções que servem de suporte para a entrada e a integração dos dados.

B. Entrada e Integração de Dados - Refere-se a todos os aspectos de aquisição de dados espaciais, contidos em mapas, fotografias aéreas, imagens de satélite, dados de campo, dados digitalizados, etc. Estas fontes geralmente são convertidas para um único formato que possa ser interpretado pelo SIG (MOREIRA, 2001).
C. Consulta e Análise Espacial - Os operadores analíticos manipulam o conjunto de dados para gerar novas informações, ou seja, são utilizados um ou vários *softwares* para o tratamento dos dados (MOREIRA, 2001).
D. Visualização e Plotagem - Este componente serve pra visualizar e plotar os dados tantos espaciais quanto alfanuméricos, utilizando – se de monitores de vídeos, impressoras, etc.
E. Banco de Dados Geográficos - Um banco de dados geográficos, assim como um banco de dados convencionais, é um conjunto de arquivos estruturados de forma a facilitar o acesso de determinadas informações que descrevem entidades do mundo real (Moreira, 2001).

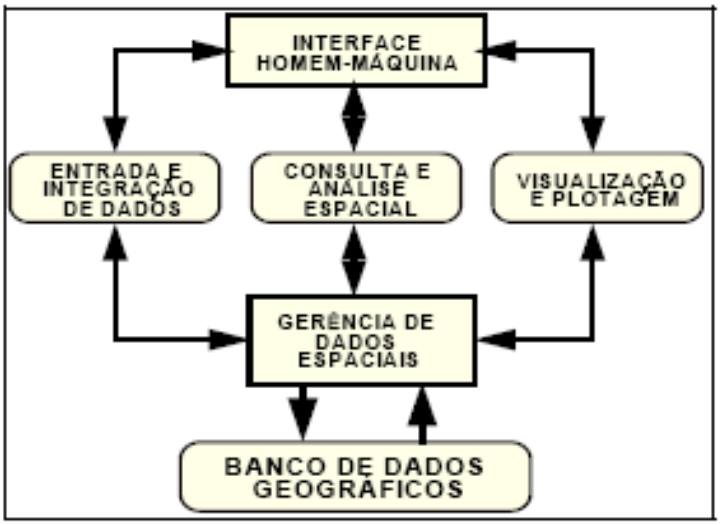


Figura 2.1.1: Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica, mostrando a relação dos principais componentes ou subsistemas de um SIG. Fonte: Câmara & Medeiros (1998).

2.1.3 **Tipos de Representação**

Um SIG pode ter dois tipos de representação, matricial e vetorial. A representação matricial considera o espaço como uma matriz composta de “m” colunas e “n” linhas (P[m, n]) e supõe que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno (Câmara & Monteiro, 2007?).

Na representação vetorial, a localização e a aparência gráfica de cada objeto são representadas por um ou mais pares de coordenadas e consideram-se três elementos gráficos: ponto, linha poligonal e área (polígono) (Câmara & Monteiro, 2007?).

2.1.4 Tipos de Dados em Geoprocessamento

Segundo Câmara & Monteiro (2007?) há dois tipos de dados em geoprocessamento, como dados temáticos e cadastrais.

Dados temáticos descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, expressa de forma qualitativa, como os mapas de pedologia e aptidão agrícola de uma região. Estes dados, obtidos a partir de levantamento de campo, são inseridos no sistema por digitalização ou, de forma mais automatizada, a partir de classificação de imagens.

Dados cadastrais distinguem-se dos temáticos, pois cada um de seus elementos é um objeto geográfico que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas.

2.1.5 Funções de Manipulação e Análise de Dados Geográficos

Segundo Moreira (2001),, no sensoriamento remoto as principais funções de manipulação e análise de dados geográficos são as descritas abaixo:

A. Análise Geográfica - Permite a combinação de informações temáticas, que pode ser feita no domínio vetorial e matricial (“raster”).

B. Tratamento de Imagens – Trata os dados digitais de satélite ou dados de fotografias aéreas escaneadas, etc.

C. Modelagem Numérica do Terreno - Permite o cálculo de declividade, volume, cortes transversais, etc. O uso desta função é fundamental na determinação de mapas de contorno e declividade, mapas em visualização em 3D, análise de perfis, etc.

2.2 ANÁLISE MORFOESTRUTURAL

Segundo Stewart & Hancock (1994) os estudos sobre as manifestações que levaram à estruturação neotectônica requerem o uso de métodos e de técnicas especificas (Figura 2.2.1 e tabela 2.2.1) para se alcançar bons resultados.

De acordo com Vita-Finzi (1986[1] apud Suguio, 2001) dentre os métodos de investigação neotectônica existentes, o estudo geomorfológico é o mais importante, pois abrange uma grande

[1] Vita-Finzi, C. 1986. Recent Earth Movements. An Introduction to Neotectonics, Academic Press, London. 226 p.

parte do tempo, além de mostrar as relações entre as feições fisiográficas e as estruturas neotectônicas de uma região.

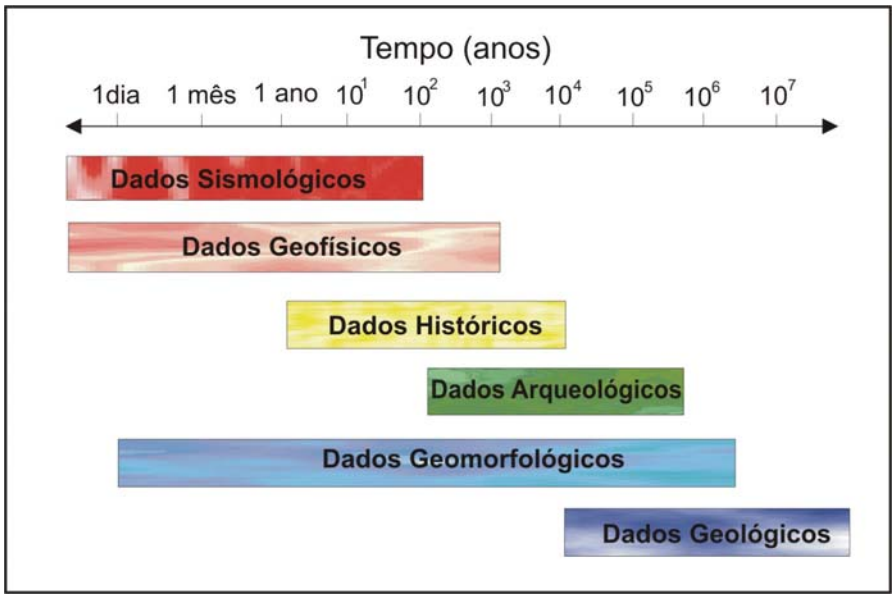


Figura 2.2.1 : Contraste entre escalas de tempo em relação aos tipos de abordagem de investigação em neotectônica.Fonte: Vita-Finzi (1986 apud Stewart & Hancock, 1994).

Tabela 2.2.1 : Técnicas de aquisição de dados neotectônicos.

	Local	Regional
Geodésicos	Controle da inclinação por triangulação, calibre da deformação, aferição de rastejamentos.	Sistema de posicionamento global, interferômetro de linhas de base muito longas, rastreamento a laser por satélite.
Sismológicos	Rede de microterremotos	Rede de dados sismológicos globais
Sensoriamento Remoto	Fotografias aéreas	Imageamento termal, de radar e digital
Geofísicos	Eletromagnetismo	Reflexão sísmica, anomalias de gravidade
Geoquímicos	Resistividade elétrica, descarga do radônio	Monitoramento hidrológico
Históricos	Relato de testemunhas oculares e/ ou evidências documentais	Mapas
Arqueológicos	Registro de estruturas feitas pelo homem	Catálogos de terremotos pré-históricos
Geomórficos	Relevo gerado por falhas	Índices morfométricos, padrões de drenagem
Geológicos	Trincheiras	Anomalias de páleo-*stress*

Fonte : Stewart & Hancock (1994).

2.2.1 **Caracterização do Relevo**

A análise do relevo pode ser tratada por duas formas, tanto no aspecto morfológico, quanto por *landforms* tectônicos.

2.2.1.1 Caracterização Morfológica

A caracterização morfológica constitui um importante instrumento na espacialização dos fatos geomorfológicos, permitindo representar a gênese das formas do relevo e suas relações com a estrutura e com os processos estruturais (CASSETI, 2007?).

A metodologia do mapeamento geomorfológico tem como base a ordenação dos fenômenos mapeados, segundo uma taxonomia que deve estar aferida a uma determinada escala cartográfica (ARGENTO, 2001). Para este trabalho utilizou-se o mapeamento geomorfológico realizado pelo Projeto RADAM Brasil (IBGE, 1995), conforme esquema apresentado na figura 2.2.2 o qual leva em consideração quatro táxons principais descritos .

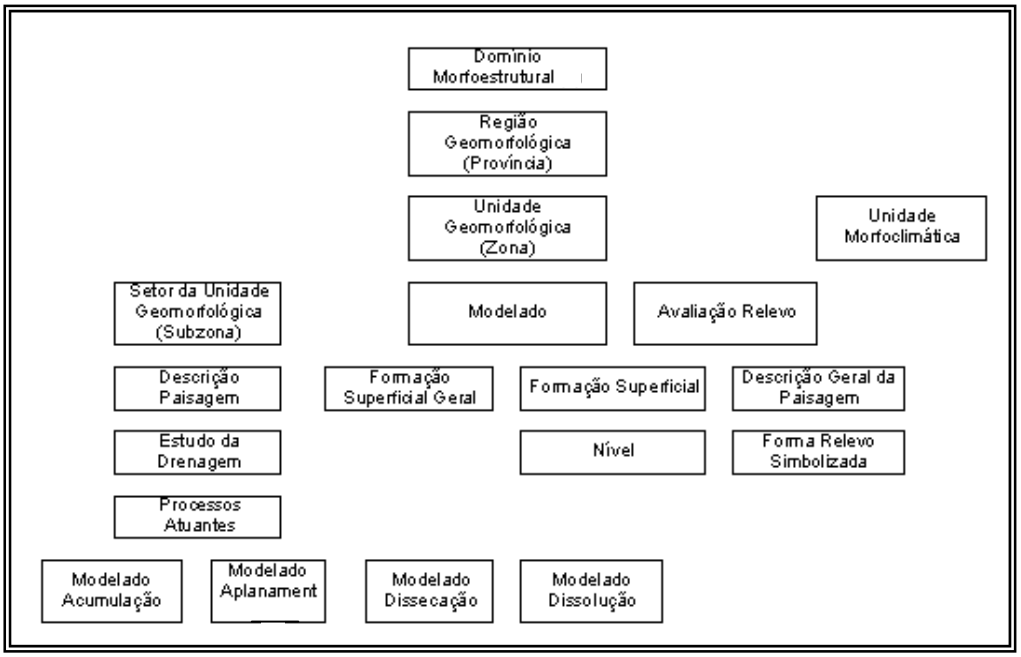


Figura: 2.2.2: Estrutura da geomorfologia adotada pelo RADAM Brasil
Fonte: IBGE, 1995.

a) Os "Domínios Morfoestruturais", também denominados de "Unidades Morfoestruturais" na classificação de Ross (1992), correspondem aos três grandes conjuntos estruturais do globo. Nos domínios morfoestruturais prevalecem as características geológicas, como direções estruturais identificadas nos alinhamentos gerais do relevo ou no controle da drenagem principal. São

exemplos as grandes cadeias dobradas, estruturas falhadas, maciços intrusivos, cadeias de montanhas, bacias intermontanas, planaltos, depressões, etc (Gerasimov & Mescherikov, 1968[2] apud Bezerra, 1996). Os mapeamentos temáticos dos grandes domínios morfoestruturais são condizentes com escala maiores que 1:100.000.

Segundo Barbosa et al. (1973) a área de estudo está inserida na unidade morfoestrutural do Planalto Rebaixado da Amazônia (Zona Bragantina)

b) As Regiões Geomorfológicas referem-se ao segundo táxon da metodologia adotada pelo RADAM BRASIL (IBGE, 1995). Trata-se de "grupamentos de unidades geomorfológicas que apresentam semelhanças, resultantes da convergência de fatores de sua evolução" (Barbosa et al., 1984). "Estas se caracterizam por uma compartimentação reconhecida regionalmente e apresentam não mais um controle causal relacionado às condições geológicas, mas estão ligadas, essencialmente, a fatores climáticos atuais ou passados" (IBGE, 1995). O mapeamento das regiões geomorfológicas é realizado em escala igual ou menor que 1:100.000.

c) O terceiro táxon refere-se às Unidades Geomorfológicas (ou Sistemas de Relevo), denominadas simplesmente de "Unidades Morfológicas" por Ross (1992). "O comportamento da drenagem, seus padrões e anomalias são tomados como referencial na medida que revelam as relações entre os ambientes climáticos atuais ou passados e as condicionantes litológicas ou tectônicas" (IBGE, 1995). A escala usada para este táxon seria uma mesoescala entre 1:70.000 a 1:50.000.

d) Os Tipos de Modelados correspondentes ao quarto táxon na classificação utilizada pelo Projeto RADAM BRASIL (IBGE, 1995), estão contidos nos grupamentos de "formas de relevo que apresentam similaridade geométrica em função de uma gênese comum". Os grupamentos referem-se aos modelados nas diferentes formas (estruturais, erosivas, de dissecação e de acumulação). Nas formas ligadas à dissecação evidenciam-se os modelados tabulares, convexos e aguçados, com respectivos índices que identificam a dimensão interflúvial e o aprofundamento da drenagem.

---

[2] Gerasimov, I.P. & Mescherikov, J.A. Morphostructure. 1968. In The encyclopedia of geomorphology. Ed. R.W. Fairbridge. New York:Reinhold Book Co. 731-732p.

2.2.1.2 *Landforms* Tectônicos

Segundo Stewart & Hancock (1994), os *landforms* ou relevos tectônicos, são feições topográficas que podem ser indicadores do estilo e da recorrência do movimento tectônico e podem ser primários ou secundários.

2.2.1.2.1 *Landforms Tectônicos Primários*

São escarpas de falha que resultam diretamente do deslocamento do terreno, indicando prováveis áreas de risco natural (Stewart & Hancock, 1994).

Casseti [200-] ressalta que uma falha elaborada em seqüências litoestratigráficas de resistências diferentes pode evoluir para a inversão topográfica do relevo:

"Os cursos conseqüentes, em decorrência do forte gradiente produzido pela falha, tendem a entalhar a escarpa, atacando inicialmente o material friável. Com a redução gradativa da seqüência friável pode-se ultrapassar o limite de sustentação proporcionado pelo centro de gravidade da rocha, resultando na aluição da camada resistente sobrejacente (Figura 2.2.3 - A). Assim, progressivamente, a escarpa vai sendo erodida, transformando-se em "escarpa herdada de falha (Figura 2.2.3 - B)., enquanto o bloco deprimido permanece inalterado e protegido pela seqüência resistente, que corresponde à camada sobrejacente da própria escarpa. A erosão mais ativa nos terrenos tenros que compõem a escarpa pode evoluir até fazer com que o bloco originalmente elevado fique rebaixado em relação ao terreno resistente, correspondente ao bloco oposto, outrora deprimido. A partir de então, tem-se o desenvolvimento de "escarpa de linha de falha", com inversão do relevo e, conseqüentemente, do sistema hidrográfico (Figura 2.2.3 - C).O processo pode ser reiniciado em situação oposta, até que a erosão diferencial ressalte novamente o plano de falha original, promovendo o rejuvenescimento da escarpa".

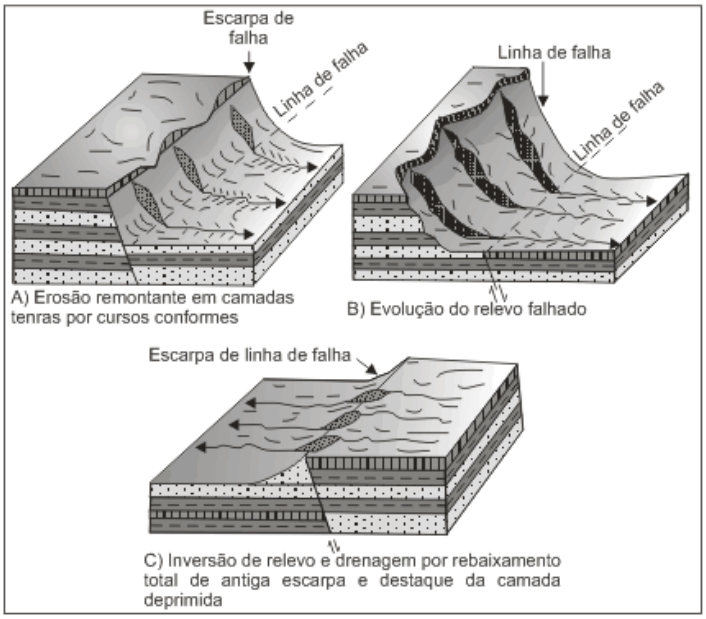


Figura 2.2.3: Estágio evolutivo do relevo falhado. Fonte: Casseti (2007?).

Segundo Stewart & Hancock (1994) há três tipos de escarpas, a de falha normal, falha inversa e de falha direcional. Mas para neotectônica, a escarpa mais importante para análise é a de falha normal, pois as falhas inversas geralmente são recobertas por colúvios e as direcionais tem pouca expressão de relevo.

O controle geométrico das escarpas está diretamente ligado à sua evolução. Portanto, escarpas retas, com declividade em torno de 40º-60º, indicam movimentação recente, pois estão pouco dissecadas. Escarpas com angularidade reduzida por processos erosivos, formando facetas triangulares indicam movimentação menos recente. Segundo Strahler (1971) em áreas estáveis onde só agem processos erosivos as escarpas são soterradas pelos depósitos aluviais (Figura 2.2.4)

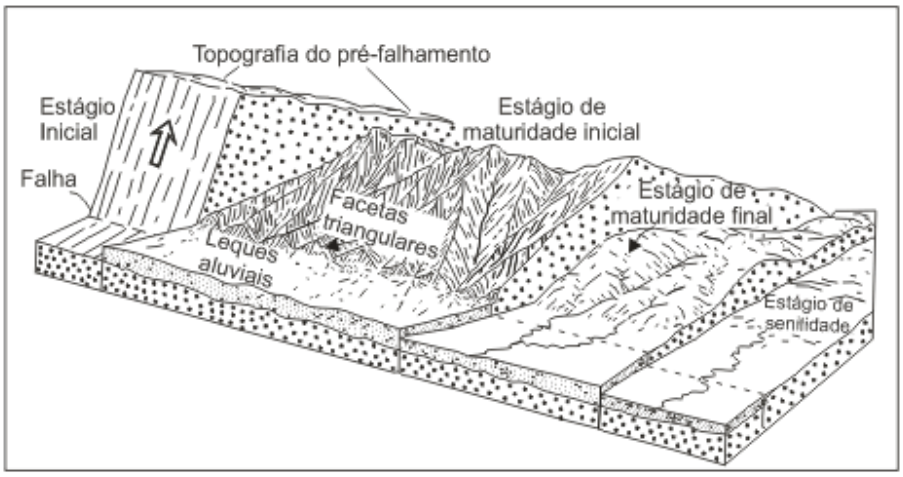


Figura 2.2.4: Evolução provável de uma escarpa de falha. Fonte: Strahler (1971).

Segundo Soares & Fiori (1976), as rupturas de declive são elementos fundamentais na interpretação geológica. A disposição regular destas rupturas constitui estruturas do relevo denominadas de quebra negativa ou positiva, ou ainda lineações ou alinhamentos do relevo. No geral, a quebra positiva é interpretada como lineação ou alinhamento do relevo, que relaciona-se à direção da escarpa de falha ou escarpa de linha de falha. As quebras negativas representariam a linha de fratura ou falha.

Portanto para esta dissertação vinte e uma seções esquemáticas do relevo forma elaboradas com o objetivo de mostrar a variação do relevo e sua interrelação com aspectos neotectônicos. Além da utilização de imagens SRTM e fotografias aéreas que ajudaram a mostrar as principais direções dos alinhamentos do relevo, que tiveram influência por esforços tectônicos.

2.2.1.2.2 *Landforms Tectônicos Secundários*

Landforms Tectônicos Secundários, são relevos em cuesta, hog-backs, costões, dobras e as escarpas de terraços fluviais e marinhos. São formas que foram deslocadas, modificadas ou preservadas pela atividade tectônica subsequente (Stewart & Hancok, 1994).

- Relevos do tipo cuestas

Os relevos do tipo cuestas encontram-se associados a estruturas sedimentares, com ou sem intercalações de estratos basálticos (Casseti, 200-). Diferenciam-se dos relevos tabuliformes por corresponderem a seções caracterizadas por camadas litoestratigráficas inclinadas (Figura 2.2.5).

A disposição dos estratos inclinados define os relevos de cuestas, também conhecidos como relevos monoclinais ou homoclinais (inclinados em um só sentido). Embora se denomine cuestas para relevos dessimétricos com mergulho de camada de até 30º; Cailleux & Tricart (1972) atribuem maior freqüência em declives entre 1º e 2º, podendo chegar a 7º a 8º no máximo.

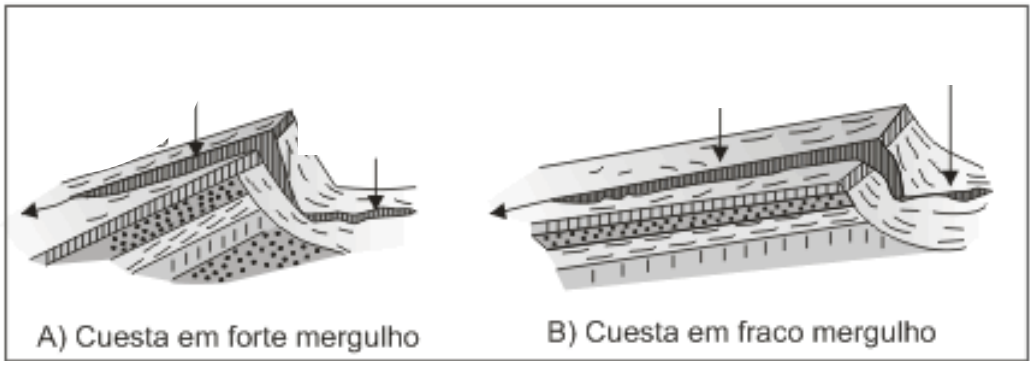


Figura 2.2.5: Exibindo os diferentes mergulhos das cuestas. Fonte: Casseti (2007?).

As *cuestas* são importantes pois influenciam em um dos aspectos desta dissertação, isto é na recarga dos sistemas aqüíferos da região de Castanhal. Ou seja, quanto maior a inclinação das camadas, maior será a velocidade do fluxo hídrico subterrâneo.

2.2.2 **Análise da rede de drenagem**

A análise estrutural da drenagem foi feita em duas fases: caracterização da drenagem e interpretação estrutural da drenagem propriamente dita.

2.2.2.1 Caracterização da Drenagem

Segundo Soares & Fiori (1976), a rede de drenagem traçada de forma sistemática e uniforme pode fornecer importantes informações relacionadas à estrutura geológica de uma área. Conforme a metodologia proposta por esses autores, a rede de drenagem foi separada em zonas homólogas caracterizadas pelas propriedades da drenagem, suas anomalias e a linearidade dos canais.

A esses procedimentos somou-se complementarmente a metodologia proposta por Howard (1967) que caracteriza os padrões básicos e modificados da drenagem.

a) Hierarquização da rede de drenagem

A hierarquização dos canais de drenagem permite um ordenamento na disposição dos mesmos, assim como auxilia na elaboração de rosáceas para destacar os alinhamentos de cada ordem.

Neste trabalho foi utilizado o sistema de ordenamento de canais elaborado por Strahler (1952) (Figura 2.2.6), o qual considera que um segmento que não tenha nenhum tributário é classificado como de primeira ordem, e seria o canal mais jovem a ser formado na evolução da bacia. O seguimento de segunda ordem é formado pela junção de dois de primeira ordem, e assim por diante.

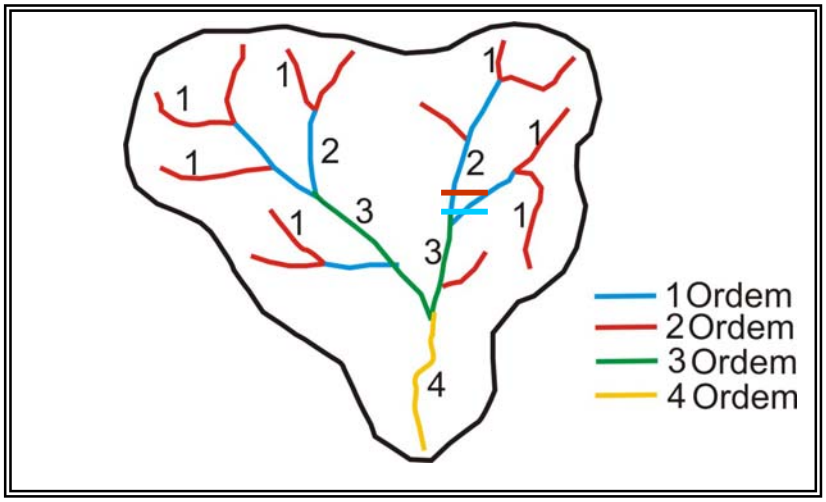


Figura 2.2.6: Esquema de ordenamento de canais.Fonte: Strahler (1952).

b) Delimitação das zonas homólogas

A delimitação das zonas homólogas permite visualizar as diferenças de padrões e propriedades de drenagem em um mesma área. Zonas diferentes podem ser indicativa de domínios estruturais diferentes.

c) Caracterização dos padrões de drenagem

O padrão de drenagem pode indicar mudanças bruscas ou simples variação de um padrão para outro, dependendo da bacia hidrográfica. Tais padrões são evidências de um controle litológico ou/e estrutural.

A drenagem da área de estudo será analisada com base no trabalho de Howard (1967). Segundo este autor a rede de drenagem é definida por padrões básicos (Figura 2.2.7) e padrões modificados (Figura 2.2.8).

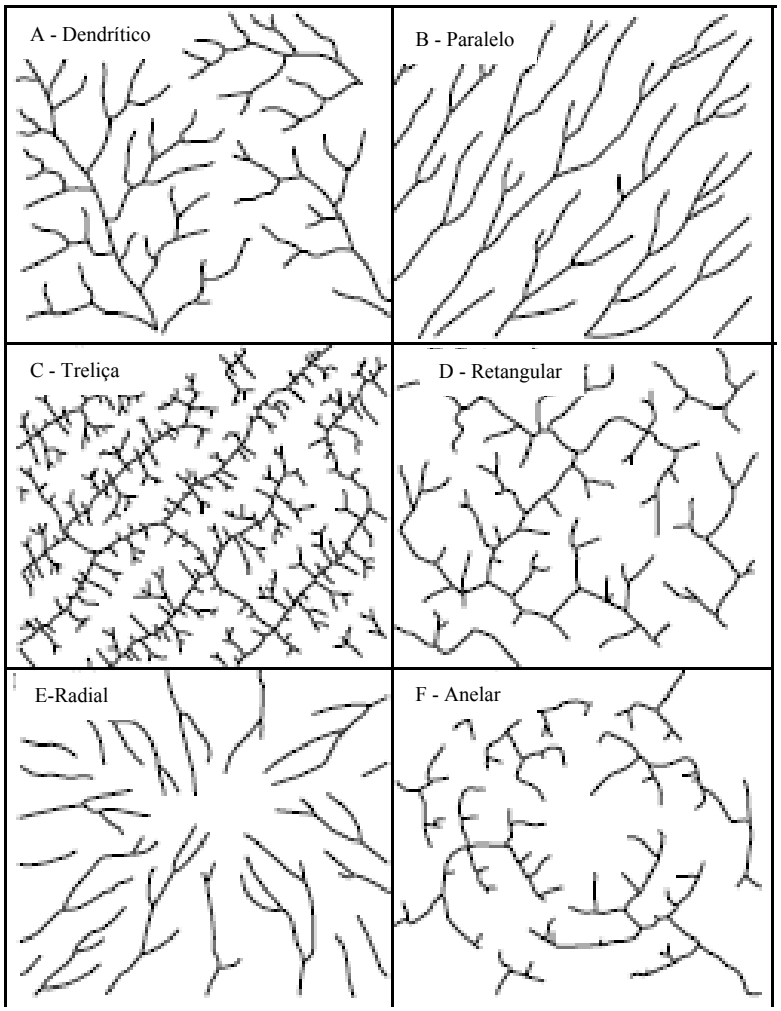


Figura 2.2.7: Padrões básicos de drenagem do tipo: A - dendrítico, B-paralelo, C-treliça, D - retangular E - radial, F-anelar. Fonte: Howard (1967).

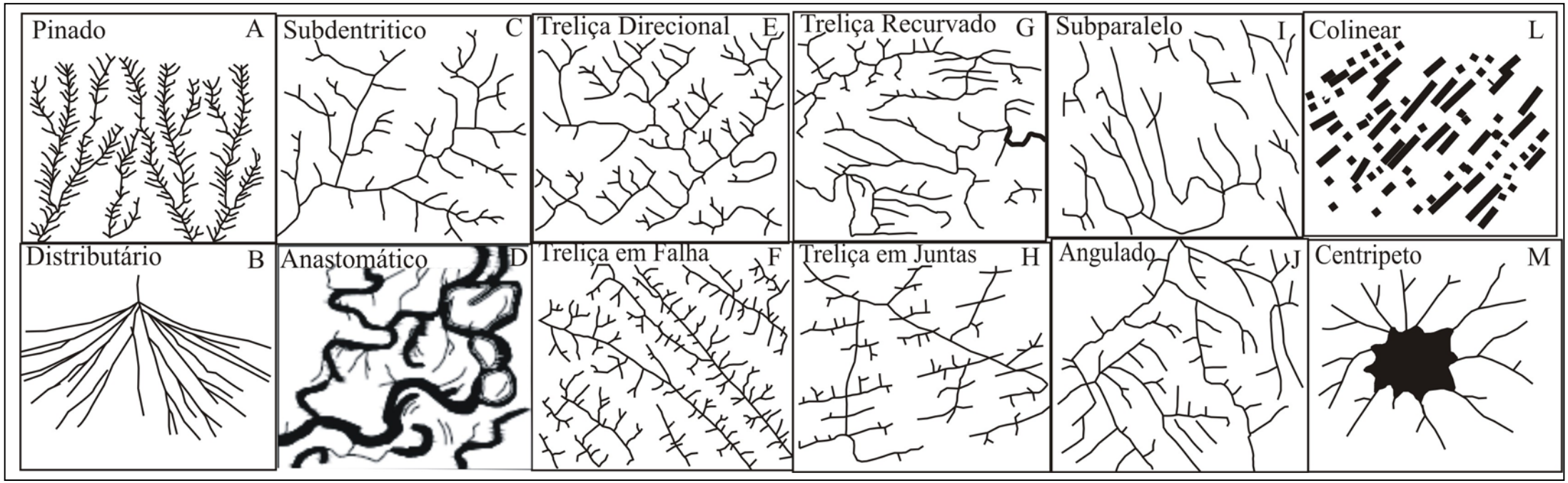


Figura 2.2.8: Padrões modificados de drenagem do tipo: A - pinado, B – distributário ,
C - subdendrítico, D - anostomótico,E- treliça direcional, F - treliça de falha, G - treliça recurvada,
H - treliça de junta, I - subparalelo, J - angulado, L - colinear, M – centrípeto
Fonte: Howard (1967).

d) Propriedades da Drenagem

A rede de drenagem pode fornecer informações importantes quanto à estrutura geológica, assim sendo algumas dessas propriedades devem ser consideradas para ajudar na análise da estruturação tectônica da área em questão, utilizando a metodologia de Soares & Fiori (1976).

- ✓ Densidade de textura de drenagem (Figura 2.2.9-A): corresponde à quantidade de elementos de drenagem e pode ser classificada em alta, média e baixa. Tal propriedade pode auxiliar na delimitação de zonas homólogas de drenagem ou até mesmo de bacias e sub-bacias.
- ✓ Sinuosidade (Figura 2.2.9-B): classifica os elementos de drenagem em curvos, retilíneos e mistos.
- ✓ Angularidade (Figura 2.2.9-C): refere-se ao ângulo de confluência dos elementos, caracteriza-se como baixa quando os ângulos são menores que 60º, média para ângulos entre 60º e 120º, e alta acima de 120º (Soares & Fiori, 1976). Segundo os mesmos autores, esta propriedade geralmente pode classificar zonas homólogas.
- ✓ Tropia (Figura 2.2.9-D): significa a direção principal da drenagem e pode ser classificada em unidirecional, bidirecional, tridirecional ou multidirecional.
- ✓ Assimetria ou simetria (Figura 2.2.9-E): caracteriza a diferente distribuição dos tributários, em relação ao eixo principal , termos de quantidade, comprimento e/ou forma destes elementos. Pode ser classificada como fraca, quando há apenas uma distribuição dos elementos, ou como forte quando há mais de duas diferenças.

  Esta propriedade pode indicar movimento vertical. Nesse caso as vertentes mais curtas estão posicionadas no bloco soerguido e as mais longas nos blocos rebaixados (Bezerra, 2003). Neste contexto, uma forma assimétrica pode indicar terrenos abatidos ou basculados.
- ✓ Formas Anômalas: anomalias são feições discordantes do padrão regional e fornecem subsídios a respeito da estruturas que não são observadas pelo padrão de drenagem. Citam-se como anomalias de drenagem feições localizadas de longos segmentos retos, curvas anômalas de rios, meandros abruptos ou feições *braided*, variação no alargamento de rios, depressões isoladas (lagoas e pântanos), afogamento ou alargamento de canais (Howard, 1967).
- ✓ Grau de Continuidade: segundo Bezerra (2003), mede a continuidade do traçado dos canais de drenagem fornecendo informações sobre porosidade, permeabilidade e o grau de dissolução das rochas.

Quando os canais forem bem marcantes em termos de continuidade, geralmente o terreno tem elevada permeabilidade. Terreno muito poroso como arenitos, haverá dificuldades no delineamento da drenagem. Se a drenagem desaparecer bruscamente por dissolução, como em calcários ou evaporitos, é um exemplo de baixo grau de continuidade (Bezerra, 2003).

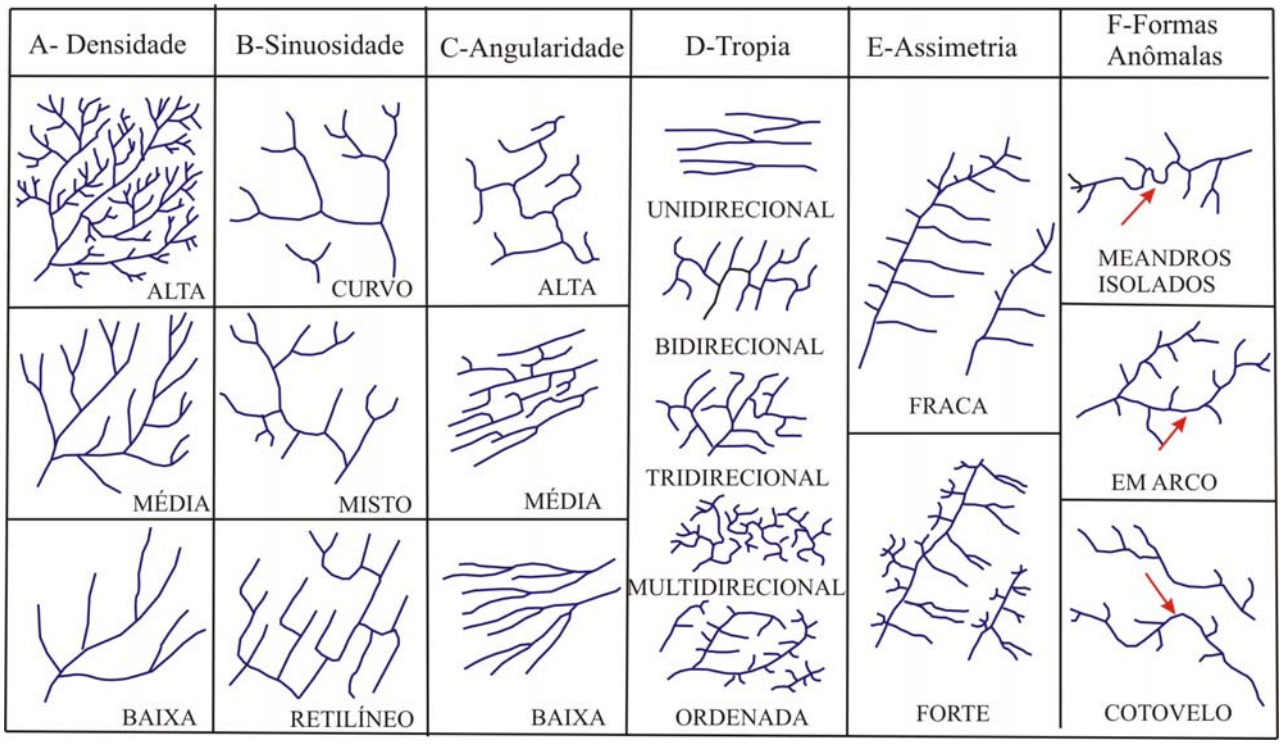


Figura 2.2.9*: Propriedades de drenagem*
Fonte:Soares & Fiori (1976).

e) Tipos dos canais de drenagem

A caracterização dos tipos de canais de drenagem possibilita a visualização de eventuais mudanças bruscas (anomalias) no comportamento da drenagem. Portanto é necessário saber quais são os principais tipos de canais para perceber as anomalias.

A organização dos sistemas fluviais pode ser de três tipos:l *braided*, anastomosado e meandrante.

<u>*Braided*</u> - Relacionado ao clima semi-árido e desértico, não tem planície de inundação, pois estão relacionados à alta inclinação de terreno. São caracterizados por multibarras e multicanais de alta energia, contendo muito seixo e areia;

<u>Meandrante</u> - Relaciona-se ao clima úmido, em áreas de planície de inundação. Diferente do *braided* são caracterizados por monocanais (linha de talvegue bem definida) de baixa energia e

portanto, rios com muita carga de fundo, ou seja, presença marcante da argila. Os rios da Amazônia são considerados rios meandrantes

Anastomosado - É um tipo de canal que mescla as características dos dois tipos de canais mencionados anteriormente, pois são caracterizados por multibarras e multicanais (característica de canal braided), em áreas de planície de inundação contendo a presença marcante da argila (característica de canal Meandrante).

f) Linearidade dos canais de drenagem

Canais retilíneos podem indicar controle estrutural. Segundo Soares et al. (1982) um agrupamento de lineações de drenagem constitui um alinhamento de drenagem. Estes autores classificam as feições lineares em: alinhamento, traço de fratura, lineamento e lineação.

Alinhamento seria um arranjo alinhado de qualquer elemento visto nas fotografias áreas, sem considerar gênese (origem de formação). Traço de fratura seria utilizado mais para mapa geológico e teria o tamanho máximo do traço de 3,5 km. Lineamento seria o alinhamento de feições naturais com dimensões acima de 3,5 km, controlado por descontinuidade estrutural, ou seja confirmação de dados de campo (mediadas de atitudes das falhas ou fraturas). A lineação seria uma feição linear traçável em foto (Soares & Fiori, 1976).

2.2.2.2 Interpretação Estrutural da Drenagem

Com base na análise da drenagem é possível perceber as lineações e alinhamentos dos canais, variação do tipo de padrão de drenagem, observação das anomalias, ou seja, passagem de um canal retilíneo para meandrante, ou de meandrante para entrelaçado ou vice-versa. Desta forma, a interpretação permitirá uma possível definição da geometria e de cinemática das estruturas que estão representadas por sistemas de fraturas e juntas e associadas aos diferentes regimes tectônicos como estruturas relacionadas a movimento vertical a estruturas associadas à movimentação direcional (Bezerra, 2003).

2.2.2.2.1 *Drenagem Controlada por Sistemas de Fraturas ou Juntas*

A hierarquização da rede de drenagem, a definição da tropia, a determinação do ângulo de junção e a linearidade dos canais, são importantes, pois são descontinuidades estruturais que se ajustam aos canais de drenagem, e podem indicar um forte controle de fraturas ou falhas.

Segundo Bezerra (2003) para a análise de fraturas, os padrões mais indicados são treliça e suas modificações para treliça de juntas e de falha, assim como os padrões angulado e o subparalelo.

A orientação dos canais pode indicar fraturas, e com base em diagramas de roseta podem-se analisar estatisticamente estas orientações, podendo indicar a direção geral do fraturamento para cada sub-bacia. Portanto, o ordenamento das orientações das fraturas, segundo a ordem dos canais, pode mostrar a história da orientação do *stress* neotectônico (Summerfield, 1991).

Para um conjunto de sistemas de fraturas ou juntas ser considerado neotectônico ele precisa ser mais novo e estar afetando rochas depositadas desde a implantação da fase neotectônica (Stewart & Hancock, 1994). Portanto, as 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 2.2.10)(Stewart & Hancock, op cit.).

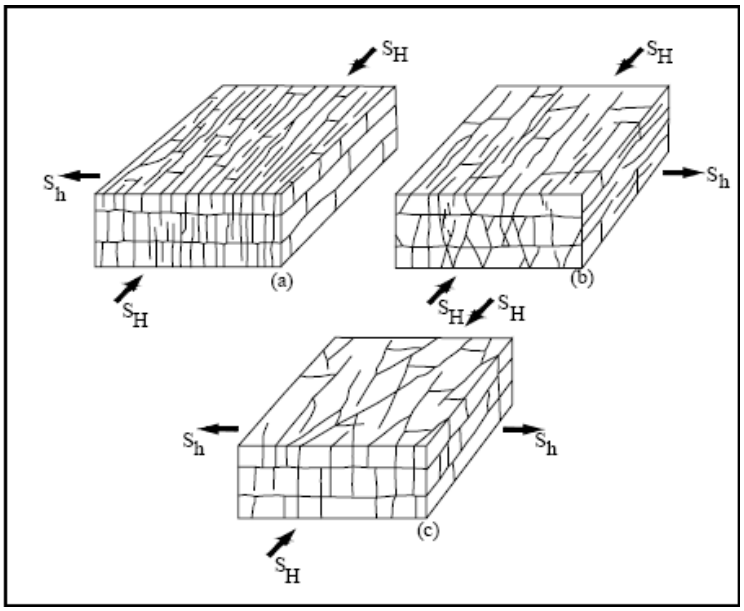


Figura 2.2.10: Sistemas de juntas neotectônicas. (a) Conjunto de juntas sistemáticas verticais de extensão ligado por juntas não sistemáticas. (b) Juntas verticais de extensão e juntas híbridas íngremes ligados por juntas não sistemáticas. (C) Juntas verticais de extensão e juntas híbridas ligado por juntas não sistemáticas. SH – Maior tensão horizontal, Sh – Menor tensão horizontal.
Fonte: Stewart & Hancock (1994).

2.2.2.2.2 *Drenagem Controlada por Estruturas com Movimento Vertical*

Os movimentos verticais geralmente estão associados a sistemas distensivos, compressivos, ou sistemas transcorrentes com movimentação oblíqua, assim como zonas transtensivas ou transpressivas, que implicam soerguimento ou rebaixamento através de falhas normais, inversas, arcos, domos, bacias e basculamentos (Bezerra, 2003).

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. Estas estruturas podem modificar o padrão de drenagem, ou podem influenciar no comportamento do canal, provocando anomalias, como alargamento ou estreitamento de canais, meandros ou padrão entrelaçado tipo *braided,* barramentos de rios e formação de lagos anômalos, variação na largura de diques aluviais, deslocamentos de tributários ao longo de trechos retos, curvatura de tributários em posição contrária ao gradiente do vale, e curvas ou voltas anômalas do canal, como anomalias em cotovelo.

Ouchi (1985) desenvolveu modelos hipotéticos para definir a relação entre a forma dos canais e os movimentos de soerguimento ou subsidências, independente da geometria da estrutura envolvida, considerando os tipos de canal descritos anteriormente.

Um aumento na declividade de um rio entrelaçado (*braided*) devido a um soerguimento a montante gera terraços pela erosão (degradação) e acúmulo de sedimentos a jusante (agradação). No caso da subsidência, a montante, onde o declive é mais íngreme, ocorreu degradação, conseqüentemente agradação a jusante (Figura 2.2.11).

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 meandros, enquanto o decréscimo forma-se rios retilíneos (OUCHI, op. cit.)

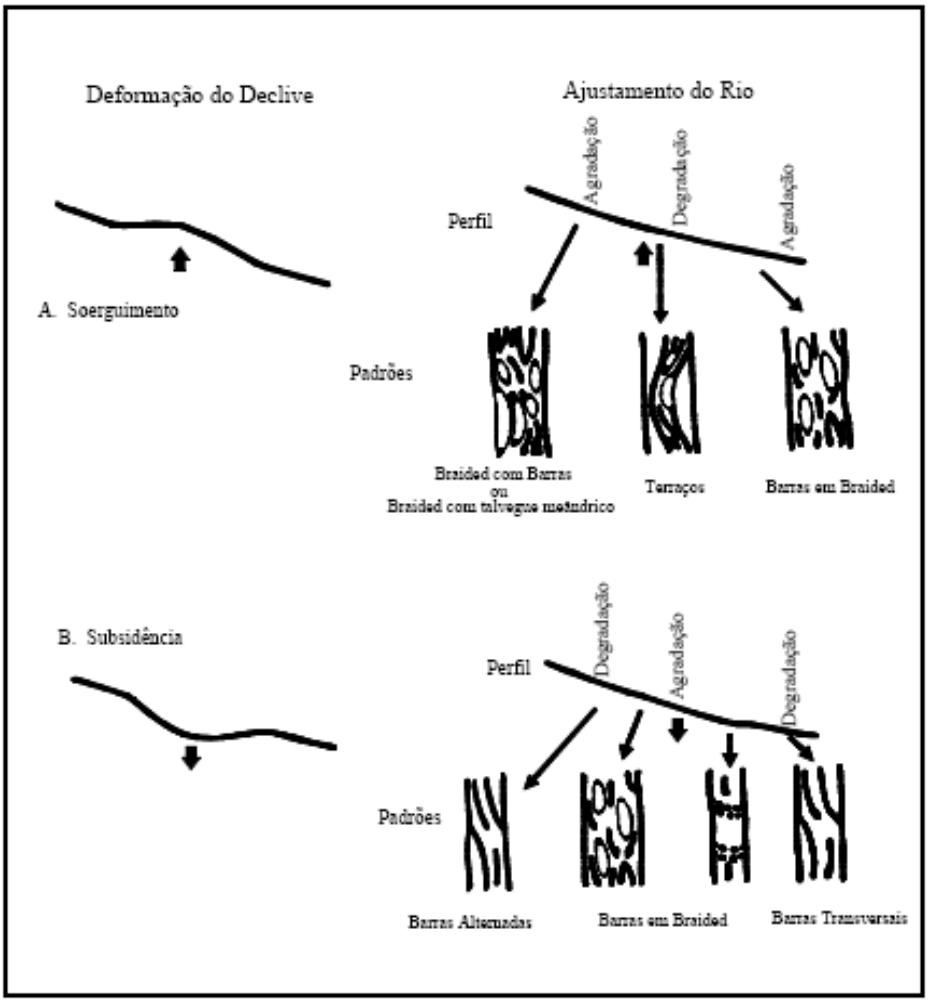


Figura 2.2.11: Desenho esquemático do comportamento do canal do tipo braided a situações de: A) soerguimento – a montante ocorre degradação e a jusante agradação; B) subsidência – a montante ocorre degradação e a jusante agradação. A seta indica o local da deformação. Fonte: Ouchi (1985)

2.2.2.2.3 *Drenagem Controlada por Estruturas com Movimento Horizontal ou Direcional*

As estruturas decorrentes de movimentação horizontal estão associadas às zonas de transcorrências, o que facilita a visualização dos arranjos geométricos em planta, tornando a análise da drenagem e do relevo através de sensor remoto um procedimento essencial no estudo de sistemas transcorrentes, principalmente os neotectônicos.

Portanto neste tópico será ressaltado, como se desenvolve as estruturas relacionadas a zona de transcorrência e as principais estruturas produzidas por este movimento.

- Desenvolvimento das Estruturas no Sistema Transcorrente

O movimento transcorrente pode ser gerado por dois tipos de cisalhamento o coaxial ou puro e o não-coaxial ou simples.

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 2.2.12). Estas exibem σ2, formando ângulo em torno de 30° com σ1 (Hasui & Costa, 1991).

Associadas às estruturas referidas desenvolvem-se ainda fraturas de partição (T e T´), perpendiculares a σ3, contendo os eixos σ1e σ2 ou perpendiculares a σ1 contendo σ2 e σ3, cujo desenvolvimento é atribuído a alívio de tensão. Falhas normais propagam-se perpendicularmente a σ3 e dobras ou falhas reversas, perpendicularmente a σ1 (Figura 2.2.12).

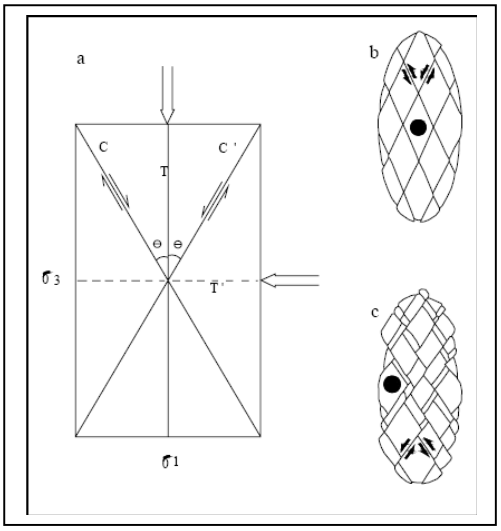


Figura 2.2.12: Fraturas em regime coaxial. Em (a), C e C' são as fraturas de cisalhamento conjugado, fazendo ângulo θ com σ 1. T e fratura de partição e T'é outra que pode aparecer; em (b), fraturas de cisalhamento de um elipsóide deformado; em (c), mesmo caso, com arrastos. Os pequenos círculos em preto indicam o estado de deformação interna.
Fonte: Hasui & Costa (1991).

Segundo Hasui & Costa (1991), na deformação não coaxial rúptil as descontinuidades desenvolvidas são fraturas de distenção, de extensão ou partição (T) e as de cisalhamento chamadas de sintéticas ou de *Riedel* (R ou R1), antitéticas ou conjugadas de *Riedel* (R´ ou R2), sintéticas secundárias (P), Y ou D, paralela à direção do binário e mesmo sentido de movimentação relativa, e X que faz ângulo agudo 90º – (φ/2) com a direção do binário e possui mesmo sentido de movimentação relativa. R e R' são simétricos em relação a T, sendo o ângulo RT geralmente em torno de 30º (Figura 2.2.13).

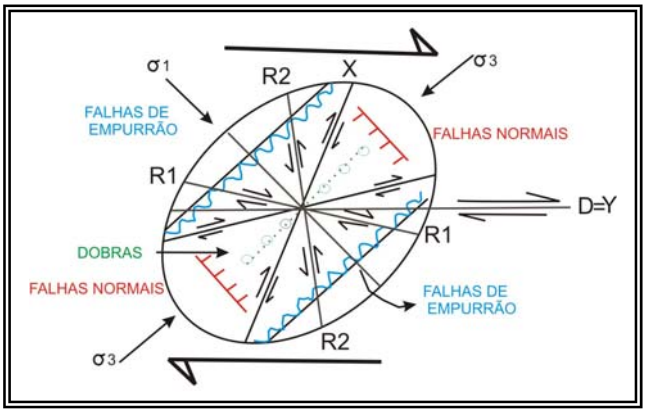


Figura 2.2.13: Elipse de Strain relacionada a um sistema de falhas transcorrente dextral
Fonte: Hasui & Costa (1991).

- Caracterização das Estruturas Decorrentes de Sistemas Transcorrentes

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 (Woodcock & Schubert, 1994).

Uma das principais estruturas do sistema transcorrente são as falhas, que são delineadas pela linearidade da rede de drenagem e do sistema de relevo. 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 2.2.14).

O principal efeito sobre uma drenagem controlada por falha de rejeito direcional é o *offset*, ou seja, o deslocamento da drenagem ao longo da linha de falha (Summerfield,1991). Este autor cita como exemplo anomalias, como curvas em ângulos retos (anomalias em cotovelo), padrões em "Z" e formas em treliça, tanto em canais individuais quanto em padrões de drenagem.

Uma outra característica é que a rede de drenagem tende a uma tropia unidirecional com angularidade média e a direção predominante desenvolve-se paralelamente à direção das camadas (Bezerra, 2003).

Anomalias em arco ou cotovelo são bons indicadores cinemáticos na medida em que se a curvatura for pra esquerda à movimentação é sinistral, e para a direita, dextral (Bezerra, op. cit). A interpretação será mais segura se não houver assimetrias de tributários no trecho considerado,

pois pode indicar movimentação vertical, mas como já discutido,a movimentação vertical no geral provoca a formação de áreas de agradação a montante e de soerguimento a jusante. Portanto, é necessário relacionar com a estruturação regional.

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)

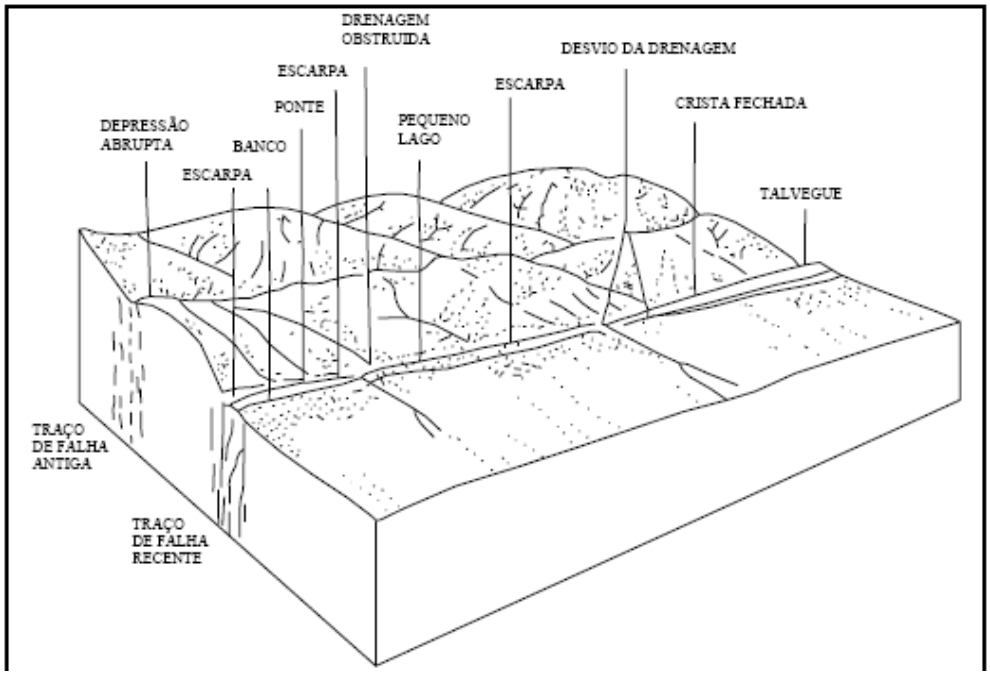


Figura 2.2.14: Bloco Diagrama ilustrando as feições geomorfológicas associadas às falhas transcorrentes.
Fonte: Sylvester (1988).

A análise dos arranjos geométricos formados pelas estruturas, em geral permite identificar figuras geométricas comuns em sistemas transcorrentes, desenhados pela rede de drenagem:

- ✓ Chrjstie-Blick & Biddle (1985) comentam que a interação entre os segmentos de falha formam estruturas romboédricas, cuja geometria depende da cinemática envolvida e da sobreposição e espaçamento entre as falhas, formando estruturas em duplex (Figura 2.2.15)
- ✓ As transcorrências geram muita rotação ao redor de um eixo vertical resultando em deformação finita complexa (HASUI & COSTA, 1991), gerando, portanto, rotações dos blocos que obedecem a cinemática do binário do sistema em função de um padrão estrutural dominante (Figura 2.2.16).

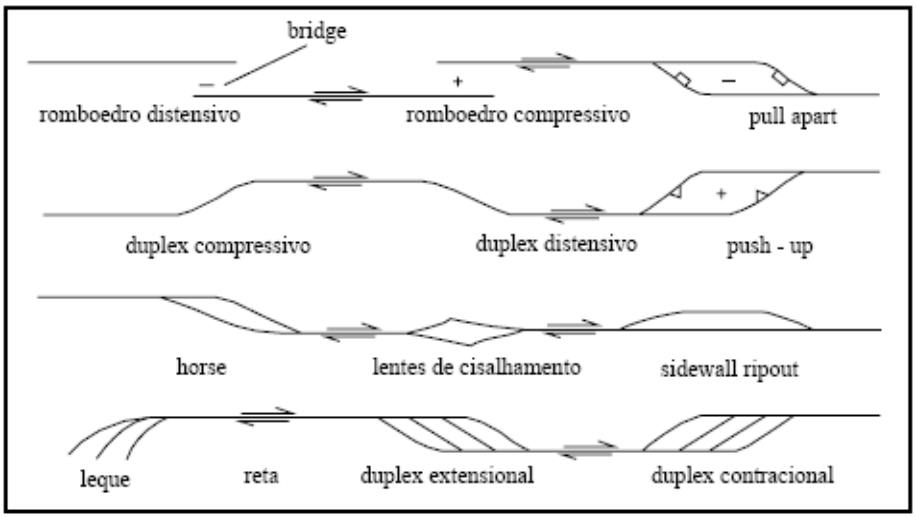


Figura 2.2.15: Tipos de estruturas, Visto em mapa, ao longo de falhas transcorrentes.
Fonte: Woodcock & Schubert (1994).

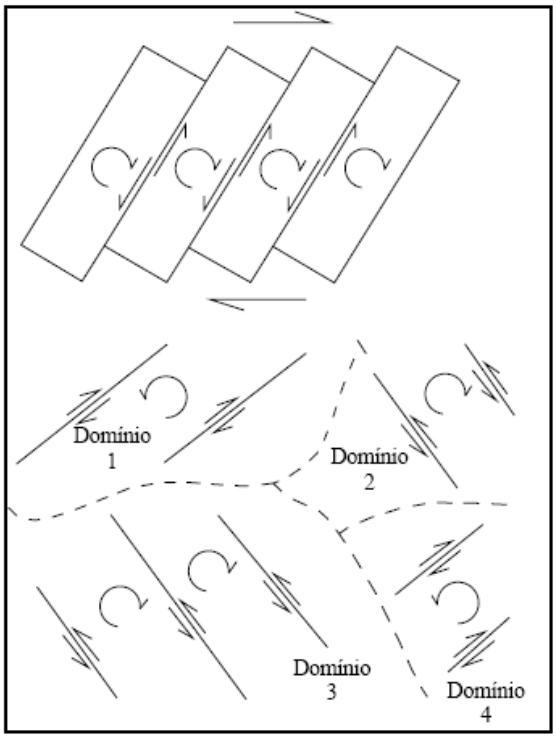


Figura 2.2.16: Blocos rotacionados por um binário dextral e as estruturas dominantes vistas em mapa.
Fonte: Woodcock & Schubert (1994)
.

3 ESTADO DA ARTE SOBRE A ÁREA DE ESTUDO

Neste tópico serão descritos os trabalhos já realizados na região de Castanhal e que tenham relevância para este estudo.

3.1 CLIMA

A recarga dos aqüíferos superficiais está intimamente ligada à retenção hídrica e tem relação direta com a incidência das chuvas. Nos períodos de deficiência hídrica, os aqüíferos poderão ser abastecidos pelas drenagens influentes ocorrendo uma inversão no vetor de recarga, enquanto que em períodos de excedente hídrico o fluxo subterrâneo apresenta sentido do vetor gradiente do continente para as drenagens. Portanto, é de extrema importância entender o comportamento dos aspectos climáticos de uma dada região para conhecer a sua potencialidade hídrica.

3.1.1 Classificação Climática

A classificação climática de uma dada região é o resultado das diferentes combinações dos processos atmosféricos, o que ocasiona uma grande diversidade de tipos climáticos.

De acordo com os dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, o clima da região de Castanhal corresponde ao tipo "Af", da classificação de Kôppen, pois é caracterizado por um clima equatorial tropical, com temperatura oscilando entre 24ºC e 32ºC, Ocorrência de precipitação em todos os meses do ano, com precipitação média de 876,25 mm/ano. A figura 3.1.1 mostra a posição de Castanhal dentro da classificação climática em nível mais regional segundo os dados do INMET.

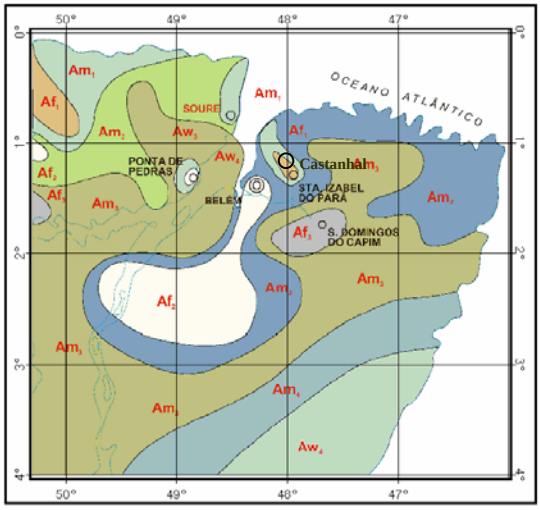


Figura 3.1.1: A Região de Castanhal no Contexto da Classificação Climática Regional.
Fonte: PEHRMB - 2003 apud Costa (2004).

3.1.2 **Precipitação**

A precipitação nas regiões equatoriais é um dos elementos meteorológicos que melhor define o clima. Na região de Castanhal a precipitação apresenta valor médio anual de 876,25 mm (Tabela 3.1.1), ocasionando uma temperatura elevada com média de 26ºC e máxima de 32ºC. Possui pequena amplitude térmica e umidade relativa do ar de 82%. A estação chuvosa ocorre no período de janeiro a maio e a menos chuvosa de junho a dezembro, sendo os meses de setembro e novembro os menos chuvosos (Figura 3.1.2).

Tabela 3.1.1: Estação Castanhal –Série Climatológica 2003-2007.

Meses	T méd (ºC)	T máx méd (ºC)	T mín méd (ºC)	Precipitação (mm)	Média da precipitação de 2003 a 2007	Máx prec. em 24 h (mm)	Pres. atm. méd (mb)	Umid. Rel. do Ar (%)
JAN	26,5	32,1	23,2	983,6	196,72	184,4	1004,3	82
FEV	25,5	31.0	23,1	1311,6	262,32	69,6	1005,2	87
MAR	25,4	30,9	22,9	2022,8	404,56	87,4	1005,3	88
ABR	25,6	31,2	23.0	1715,8	343,16	81.0	1005,3	88
MAI	25,9	31,6	22,9	1263,8	252,76	66,8	1005,9	86
JUN	26,1	31,8	22,4	732,2	146,44	32,2	1006,9	82
JUL	26,1	31,9	22,4	820,4	164,08	43,2	1007,4	81
AGO	26,4	32,5	22,6	503,8	100,76	48,8	1007.0	80
SET	26,8	33,2	22,7	204,2	40,84	18.0	1006,3	77
OUT	27,1	33,7	22,5	266,2	53,24	57,4	1004,8	76
NOV	27,3	34.0	22,7	235,8	47,16	66,2	1003,9	75
DEZ	26,8	32,9	22,9	454,8	90,96	57,6	1004,3	79
Total	315,5	386,8	273,3	10515	2103	812,6	12066,6	981
Méd. anual	26,3	32,2	22,8	876,25	175,25	67,7	1005,7	81,75
Max.						184,4		

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET/ 2º Distrito de Meteorologia/PA – SEOMA Normal Climatológica (2003-2007). Estação automática: A202- Castanhal/PA, latitude 01° 18' 03" S, longitude 47° 55' 51"W, altitude de 65,00 m.

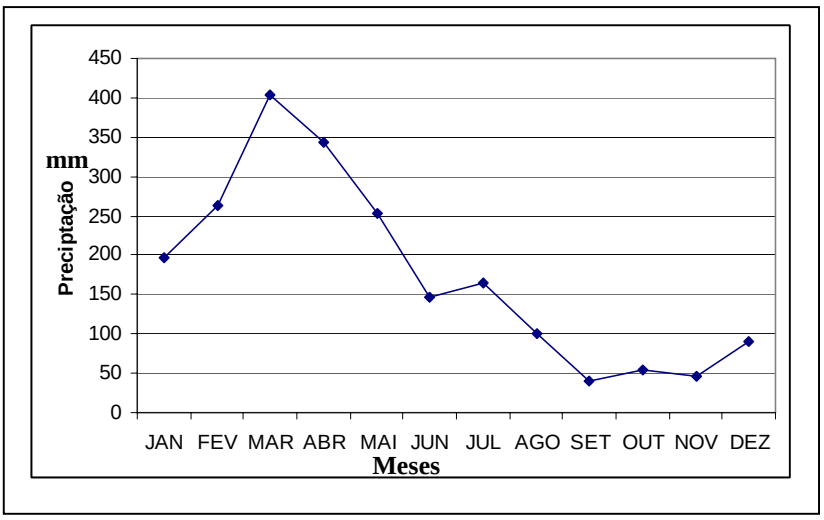


Figura 3.1.2 : Gráfico mostrando a variação da precipitação média mensal. Período de 2003-2007.

3.1.3 **Balanço Hídrico**

Com base em dados do ano de 1975 e 1987 (LIMA et al., 1994) e dados obtidos no INMET, foi possível elaborar o balanço hídrico da região de Castanhal/PA . O cálculo foi fundamentado na aplicação do princípio de conservação da massa de água, para um dado local ou área, utilizando-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.

Conforme a tabela 3.1.2, durante o período de dezembro a agosto a deficiência (DEF) de água no solo é zero, sendo que o excedente (EXC), ao contrário da deficiência, apresenta valores superiores de janeiro a julho.

Tabela 3.1.2 - Balanço hídrico segundo o método de Thornthwaite, para região de Castanhal – período 2003-2007.

Latitude: 01° 18' 03"S	Longitude: 47° 55' 51"W	Local: Castanhal	Retenção Hídrica (mm)				
Meses	Temperatura Média do Período (TºC);	(ETP)	(P)	(P-ETP)	(ETR)	Deficiência da água no solo em mm (DEF)	Excedente de água no solo em mm (EXC)
JAN	26,5	90	196,72	106,72	90	0	106,72
FEV	25,5	87	262,32	175,32	87	0	175,32
MAR	25,4	118	404,56	286,56	118	0	286,56
ABR	25,6	120	343,16	223,16	120	0	223,16
MAI	25,9	127	252,76	125,76	127	0	125,76
JUN	26,1	125	146,44	21,44	125	0	21,44
JUL	26,1	126	164,08	38,08	126	0	38,08
AGO	26,4	130	100,76	-29,24	130	0	-29,24
SET	26,8	150	40,84	-109,16	130	20	-89,16
OUT	27,1	133	53,24	-79,76	120	13	-66,76
NOV	27,3	141	47,16	-93,84	125	16	-77,84
DEZ	26,8	108	90,96	-17,04	108	0	-17,04

Fonte: INMET (2007) e Lima et al. (1994)

ETP = Evapotranspiração Potencial: Máxima perda de água na forma de vapor para atmosfera através de uma superfície de água
P= Precipitação Pluviais em mm (média 2003-2007)
P-ETP = Saldo entre Precipitação e Evapotranspiração, podendo ser negativo ou positivo
ETR = Evapotranspiração Real: Máxima perda de água na forma de vapor, para a atmosfera, que ocorre com uma vegetação em crescimento
DEF = Deficiência da água:no solo em mm = ETP - ETR
EXC = Excedente de água no solo em mm = P – ETR

A Figura 3.1.3 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 agosto, o comportamento da linha de excedência é semelhante ao da precipitação. Isso é devido ao grande volume de água durante esse período. A deficiência, por sua vez, permanece zero até agosto. A partir de setembro a excedência passa a ser negativa.

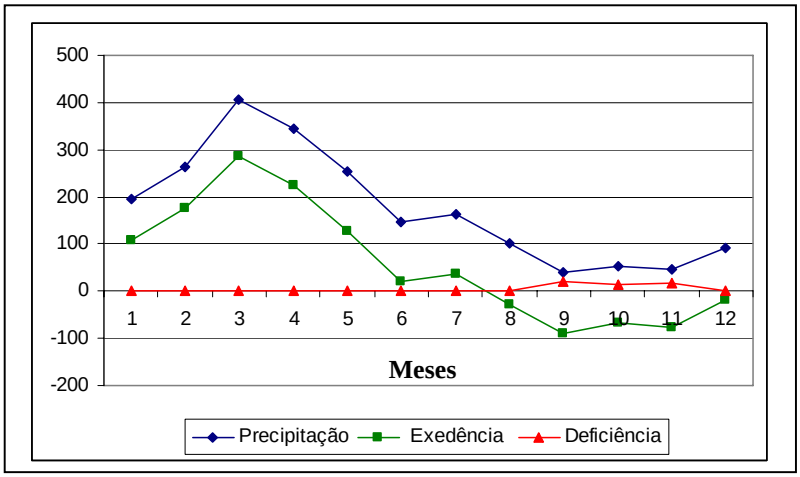


Figura 3.1.3 Representação gráfica das linhas P, DEF e EXC para a região de Castanhal (Período de 2003-2007).

3.2 GEOMORFOLOGIA

Em Castanhal há dois trabalhos que tratam do tema geomorfologia .

Souza Junior et al. (1992) fizeram um estudo na porção sudoeste da Folha SA-23 – V - C – I , mais especificamente na porção central do município de Castanhal.

Com base em levantamentos bibliográficos, mapeamento de campo e análises laboratoriais foi caracterizado o quadro estratigráfico, geomorfológico e neotectônico da área. Neste estudo foram individualizadas duas unidades morfológicas: o relevo de agradação relacionadas às planícies fluviais e o relevo de degradação correspondente às colinas de topo aplainado, colinas amplas e colinas pequenas, que estão associadas à tectônica do cenozóico.

Pinheiro et al. (2007) realizaram um trabalho na Folha Castanhal (SA-23-V-C-I) abordando o estudo do relevo, tendo como ferramenta principal o sensoriamento remoto. Com base na interpretação de fotografias aéreas, imagens Landsat -5 TM e imagens SRTM, foram gerados os mapas de drenagem, de *landforms* tectônicos primários, de relevo sombreado, de paleta de cores, geomorfológico e mapa morfoestrutural.

No mapa de drenagem detalhada foram observadas três zonas homólogas, que se distinguem pela alta densidade, tropia multidirecional desordenada e assimetria fraca no quadrante sudoeste; nos demais a drenagem têm média densidade, angularidade média a alta, tropia tridirecional (NE/SW, NW/SE e E-W) e forte assimetria. A sinuosidade mista e as formas anômalas do tipo

meandros isolados, em arco e em cotovelo, com vários segmentos retilíneos, estão distribuídas por toda a área.

Observam-se, também, os alinhamentos de drenagem e de relevo, com destaque às três direções principais: NW-SE, NE-SW e aproximadamente N-S. Percebem-se ainda alguns alinhamentos discretos, com direção E-W.

Pela integração do modelo de elevação, e o relevo sombreado, foi possível gerar o mapa geomorfológico que exibe dois sistemas de relevo: de degradação e agradação.

O sistema de degradação é composto pelo relevo residual e por uma superfície suavemente ondulada, onde o primeiro tem cotas em torno de 60m e é representado por pequenas formas reliquiares, tabulares, desenvolvidas sobre terrenos terciários. A outra unidade possui cotas de 40 metros e tem a maior distribuição na área (40%). É formada por uma superfície plana a suavemente ondulada, representada por uma sucessão de morros convexos em forma de meia-laranja, morfogênese monótona, com colinas de topo suavemente arredondado, distribuídas aleatoriamente.

O sistema de agradação é formado por áreas coluvionares e planícies aluvionares. A primeira unidade compreende áreas com cotas em torno de 20 metros, e formam superfícies planas, levemente levantadas em relação às aluviões adjacentes. A planície aluvionar, com cotas inferiores a 10 metros, é constituída por uma superfície plana, de baixa altitude, composta por sedimentos inconsolidados que representam as aluviões, observadas predominantemente na porção leste da folha, como terraços que se desenvolvem ao longo dos *flats* dos principais cursos de água.

Integrando o mapa de drenagem, de *landforms* tectônicos primários e geomorfológico, foi gerado o mapa morfoestrutural, que mostra que os lineamentos de drenagem estão dentro do padrão regional elaborado por Costa et al (1996), evidência que comprova que a Região Amazônica sofreu a influência de manifestações neotectônicas em compartimentos ativos, controlados pela estruturação antiga. Esta atuação segue um binário dextral E-W, com componentes transpressivos NW-SE e transtensivos NE-SW.

3.3 GEOLOGIA

De acordo com Souza Junior et al. (1992), afloram no município de Castanhal as rochas do Grupo Barreiras, Sedimentos Pós-Barreiras e Sedimentos Recentes (Figura 3.1.4).

Com base em dados de poços, define-se que em sub-superfície ocorrem o Grupo Barreiras e a Formação Pirabas.

3.3.1 **Formação Pirabas**

Constitui um conjunto de rochas carbonáticas depositadas durante o Mioceno Inferior e que afloram na região litorânea dos estados do Pará, Maranhão e Piauí (PETRI, 1957[3]; apud GÓES, 1990).

A idade da Formação Pirabas foi estabelecida com base em estudo de foraminíferos, tendo sido limitado a sua ocorrência ao intervalo Oligoceno Superior- Mioceno Inferior (Ferreira et al., 1984).

No nordeste do Pará, a Formação Pirabas faz contato inferior com as rochas do Pré-Cambriano (Ferreira et al. 1984 e Góes, 1981). O contato superior com o Grupo Barreiras é considerado discordante (Ferreira & Francisco, 1988), como uma intergitação faciológica (Rosseti et al.,1989), ou com variações locais (Ferreira et al., 1984). Devido às variações ambientais e ecológicas evidenciadas no antigo mar de Pirabas, várias modificações litológicas e faunísticas forma registradas, sugerindo a presença de três fácies na Formação Pirabas (Petri, 1957; Ferreira, 1966[4]; 1980[5]; apud Góes et al., 1990).

- Fácies Castelo (Basal) - calcários duros diversificados, muito comuns na forma de coquinas, biohermitos, micritos e dolmicritos, ambiente gerador de mar aberto, águas bastante agitadas e quentes com salinidade normal (FERREIRA, 1982).
- Fácies Capanema (Intermediária)- calcários argilosos (margas), micritos e bioclastitos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos (*beach rock*). Paleocologicamente caracterizado por lagos, bordas de bacia ou estuário, águas calmas e salinidade um pouco abaixo do normal (FERREIRA, 1982).

---

[3] Petri, S. 1957.Foraminiferos Miocênicos da Formação Pirabas. *Boletim da Faculdade da Filosofia ciências Letras (geologia)* -Universidade de São Paulo. 216: 79 p.

[4] Ferreira, C.S. 1966. Características litopaleontológicas da Formação Pirabas, Estado do Pará Avulsos Divisão Geologia e Mineralogia. 41: 101-111.

[5] Ferreira, C.S. 1980. Correlação da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), N e NE do Brasil, com as Formações Chipola e Tampa da península da Flórida, USA. In: APA, Congresso Latino Americano Geologia, 1, Buenos Aires. Actas, 3:49-55.

- Fácies Baunilha Grande (Topo) - argilas negras com vegetais piritizados e nódulos de calcários escuros contendo no seu interior crustáceos branquimes que refletem ambientes redutores, típicos de mangue (Ferreira, 1982)

Na região de Castanhal a Formação Pirabas não aflora, mas pode ser encontrada em sub-superfície em profundidades que variam entre 70 e 120 m.

3.3.2 Grupo Barreiras

Constitui uma cobertura sedimentar continental depositada por sistemas fluviais entrelaçados, associados a leques aluviais, planícies de areia, planícies de lama, tendo provável influência de marés (Rossetti et al., 1989). Esses sedimentos ocorrem sob a forma de falésias ou terraços nas margens dos rios e têm grande ocorrência no litoral brasileiro, estendendo-se desde o vale Amazônico, por toda a região costeira, do norte e nordeste, até o estado do Rio de Janeiro. Para o sul, seqüências equivalentes tem sido encontradas até o Uruguai.

A idade do Grupo Barreiras foi determinada em estudos paleontológicos baseados em palinomorfos, sendo sugerida a idade Mioceno-Plioceno (Arai et al., 1988).

Na região de Castanhal-PA o Grupo Barreiras e os sedimentos Pós Barreiras ocupam cerca de 70% da área. No geral estas rochas encontram-se sobrepostas por latossolos amarelos e vermelho-amarelos e solos de areia quartzosa (Souza Junior et al., 1992).

Litologicamente este Grupo é composto por sedimentos argilosos com laminação plano-paralela, coloração vermelha-amarela com tons esbranquiçados, bioturbados, localmente gretas de contração, sedimentos arenosos de granulação fina a média, estratificações cruzadas do tipo acanalada e estratificações de maré, sedimentos areno-argilosos maciços ou com estratificações incipientes, conglomerados com seixos de quartzo e quartzito. Localmente estes sedimentos podem ocorrer ferruginizados (Souza Junior et al., op cit).

3.3.3 Sedimentos Pós - Barreiras

O termo “Pós Barreiras” foi estabelecido por Silva & Loewenstein (1968) para caracterizar os sedimentos amarelados inconsolidados e que apresentam uma coloração amarela, sobrepostos às camadas do Grupo Barreiras. Esta unidade é constituída litologicamente por sedimentos areno-argilosos maciços, coloração amarela, apresentando grânulos de quartzo e concreções ferruginosas dispersas aleatoriamente, depositadas sobre superfície erosiva, areias quartzosas de

granulação fina a média, coloração branca, fragmentos de argilitos e arenitos ferruginados com matriz arenosa e/ou argila ferruginizada (Souza Junior et al., 1992).

O contato com o Grupo Barreiras é marcado por um nível de paleomovimento, composto por fragmentos lateríticos discóides (Sá, 1969 e Rossetti et al., 1989).

3.3.4 **Sedimentos Recentes**

Unidade que ocorre ao longo das planícies fluviais e geralmente são provenientes da desagregação dos litotipos do Grupo Barreiras e do Pós Barreiras.

As aluviões são compostas por material arenoso, seixo de laterito e de quartzo, com menores proporções de argila. Sua distribuição está condicionada as áreas de agradação, ou seja, preferencialmente na porção sul, relacionadas às planícies do rio Apeú e Inhangapi e na porção norte associado ao rio Marapanim (Souza Junior et al., op cit.).

Estas planícies constituem sedimentos argilosos de coloração cinza esbranquiçada, com leves manchas avermelhadas e amareladas devido à oxidação do ferro. Há também muita matéria orgânica e intensa atividade biológica (Souza Junior et al., op cit.).

Era	Período	Época	Unidades	Descrição
Cenozóica	Quaternário	Holoceno	Sedimentos Recentes	Argilas de coloração branca acizentada, com manchas vermelhas a amareladas devido a oxidação do ferro.
			Pós-Barreiras	Sedimentos areno - argilosos, maciços, coloração amarela, apresentando grânulos de quartzo e concreções ferruginosas dispersas aleatoriamente.
		Pleistoceno	Grupo Barreiras	Sedimentos argilosos com laminação plano paralela, coloração vermelha amarelada com tons esbranquiçados, bioturbados, localmente gretas de contração; sedimentos arenosos de granulação fina a média, estratificações cruzadas do tipo acanalada (Tangencial), sigmoidal e estratificações de maré; sedimentos areno argilosos maciços ou com estratificações insipientes; conglomerados com seixos de quartzo e quartzito.
	Terciário	Mioceno Plioceno		

Figura 3.1.4: Coluna Estratigráfica da Região de Castanhal
Fonte: Souza Junior et al.(1992).

No trabalho realizado por Souza Junior et al. (1992) foram definidos onze fácies, constituindo o Grupo Barreiras e Pós Barreiras, que foram agrupadas em três associações (Figura 2.1.5), com base nos critérios estabelecidos por Walker (1979).

- Associação A: é composta das seguintes fácies: arenosa com estratificação cruzada tangencial (St), argilosa com laminação plano-paralela (Al), intercalações areia argila com estratificações de maré (Sm) e arenosa com estratificação sigmoidal (Ss) e conglomerática com seixos de quartzo e quartzito (CO);
- Associação B: é constituída pelo agrupamento de fácies: conglomerática com seixos de quartzo e quartzito (CO), arenosa com estratificação cruzada acanalada (Sa), conglomerática com seixos de argila (CA), arenosa com estratificação cruzada *climbing riplle* (SC) e areno-argilosa maciça ou com estratificação insipiente (Si);
- Associação C: esta associação é constituída exclusivamente pelas fácies areno-argilosa maciça (AA) e pelas fácies constituída por fragmentos de arenito e argilito ferruginosos (FF).

Esta associação se diferencia das outras por apresentar aspecto geralmente homogêneo. Sua granulação varia de fina à média, tem coloração amarela, ausência de estruturas sedimentares e sua deposição está sobre superfícies erosivas, correspondendo ao Pós Barreiras.

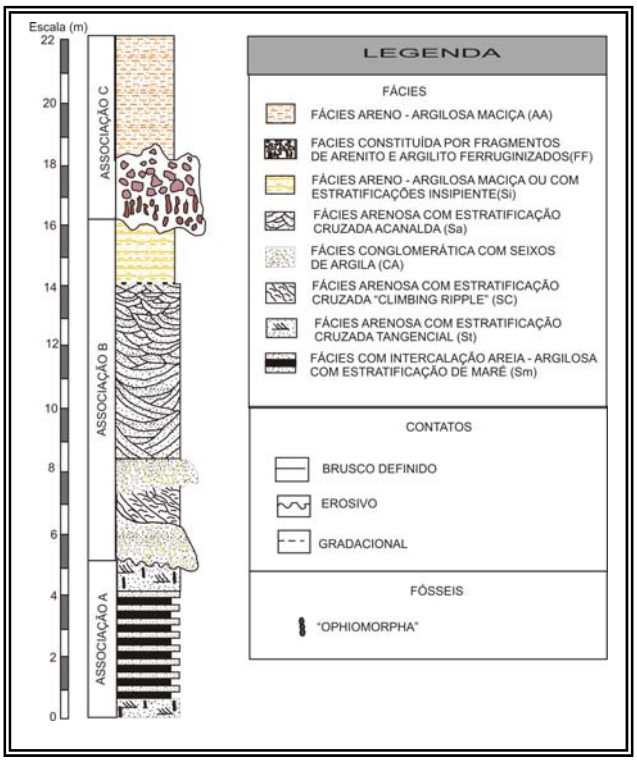


Figura 2.1.5: Perfil composto da área de estudo.
Fonte: Souza Junior et al. (1992).

3.4 NEOTECTÔNICA

Estudos geomorfológicos e estratigráficos realizados por Souza Junior et al. (1992) mostraram que a região de Castanhal sofreu efeitos neotectônicos, pois na área observaram alternâncias de blocos altos e baixos, controlados principalmente por estruturas de direção N40ºW, assimetria das planícies fluviais, padrões anômalos de drenagens como arcos e cotovelos. Discorreram sobre o controle da sedimentação do Grupo Barreiras, ou seja, mostra ter havido uma mudança significativa de sub-ambientes, o qual passa de estuarino médio pra flúvio - estuarino. Tal variação pode ter sido controlada por movimentação de caráter regional que provocou a saída do mar, estabelecendo uma progradação da fácies flúvio – estuarina sobre a estuarina.

4 ASPECTOS GEOTECTÔNICOS

A Neotectônica ou tectônica ressurgente está intimamente ligada às estruturas tectônicas antigas, ou seja, as zonas de fraqueza dos crátons. Portanto, é necessário fazer uma análise geotectônica regional, ou seja, do quadro geotectônico amazônico, para se entender o que acontece atualmente na área pesquisada.

A região Amazônica é constituída pelo Cráton Amazônico, o qual compreende um embasamento composto por rochas granito - gnáissicas de médio a alto grau metamórfico e seqüências supracrustais de baixo a médio grau, sobre o qual foram instalados vários tipos de coberturas vulcânicas, sedimentares, bacias sedimentares fanerozóicas, além de terem sido cortados por corpos graníticos (Almeida ,1978). Nessa região são reconhecidas rochas que foram geradas entre o Arqueano e o Holoceno, refletindo uma evolução que abrange intervalo de pelo menos 3,2Ga (Hasui, 1996). Para evolução da Amazônia há três concepções sendo que a primeira foi proposta por Amaral (1974, 1984)[6] apud Costa & Angélica (1997) que se baseando em dados geocronológico e geológico reconheceu a formação dos complexos metamórficos de alto grau e dos cinturões de rochas verdes nos eventos Guriense (3,4 – 3,0 Ga) e Guianense (2,75 – 2,5 Ga); intensa anatexia, gnaissificação e migmatização no Evento Transamazônico (2,2, -1,8 Ga); magmatismo e sedimentação em três eventos de ativação de plataforma Paraense (1,7 – 1,55Ga).

[6] Amaral, G. 1974. Geologia pré - cambriana da região Amazônica. São Paulo (Dissertação de Livre Docência de Geociências da Universidade de São Paulo).
Amaral, G. 1984. Província Tapajós e Rio Branco. In: Almeida, F.F.M de ; Hasui, Y.(Coords.). **O Pré – Cambriano do Brasil**. São Paulo, Edgard Blücher. p.6-35.

Madeirense (1,4 -1,25 Ga) e Rodoniense (1.050 -900 Ma); e o magmatismo básico no evento Brasiliano (650 - 450 Ma).

A segunda concepção apresentada por Cordani et al. (1979)[7] apud Costa & Angélica (1997) considera dados geocronológicos e a formação de um núcleo arqueano alongado na direção NW-SE (Província Amazônia Central), seguida de retrabalhamento e acresção crustal ao longo de cinturões móveis. Estes cinturões seriam o Maroni –Itacaínas, contornado o núcleo a nordeste e noroeste, desenvolvido no ciclo Transamazônico, e três outros de direção geral NW – SE no lado sudoeste, formados em progressão para sudoeste; Rio Negro – Juruena (1,75 – 1,5 Ga); Rondoniano (1,45 – 1,25 Ga); e Sunsas (1,1 – 0,9 Ga). Sobre o núcleo arqueano teriam se formado coberturas de plataforma de intervalo de 1,9 – 1,5 Ga como resultados de reativação reflexa da instalação dos cinturões móveis.

A terceira concepção foi proposta por Hasui et al. (1984) e complementada por Hasui (1996), utilizando informações geofísicas, geológicas e geocronológicas, no qual considera que a Amazônia é estruturada fundamentalmente em doze blocos crustais constituídos por complexos gnáissicos, granitóides e *greenstone belts,* limitados por suturas, associadas as quais ocorrem cinturões de alto grau. Estes blocos teriam se agregado através de colisões diácronas no Arqueano / Proterozóico Inferior, compondo parte de um mega continente. Na região Amazônica ocorreram três eventos de tectônica extensional no Proterozóico Médio / Superior, Paleozóico e Mesozóico / Paleogeno, a que se relacionaram estruturação, embaciamentos e magmatismo, com geometrias fortemente controladas pela estruturação anteriormente formada. No Neogeno / Quaternário o regime tectônico é do tipo transcorrente, relacionado à rotação da Placa Sul-Americana para oeste.

Para este estudo será levada em consideração a terceira concepção, por ser mais adequada para explicar a evolução geológica da área de estudo.

[7] Cordani,U.;Tassinari, C.C.G.; Texeira, W.; Basei, M.A.S.; Kawahita, K. 1979.Evolução Tectônica da Amazônia com base em dados geocronológicos. In: Congresso. Geologico. Chileno, 2. Santiago, 1979. Actas ... Santiago. v. 4, p.173-148.

4.1 PALEOTECTÔNICA

A Paleotectônica na região Amazônica abrange o Eon Arqueano, Proterozóico e Fanerozóico.

4.1.1 **Quadro Arqueano / Proterozóico**

Segundo Hasui (1996), no Arqueano/ Proterozóico Inferior a compartimentação de primeira ordem que se reconhece consiste de um mosaico de grandes blocos crustais justapostos ou páleo - placas (Figura 4.1) que é marcada geologicamente por cinturões granulíticos, que representam porções da crosta inferior que foram alçadas a superfície por tectonismo, ao longo de descontinuidades crustais; gravimetricamente, por anomalias Bouguer regionais que correspondem a assinaturas de grandes descontinuidades crustais e as quais se associam as ocorrências dos cinturões granulíticos; magneticamente, por padrões de anomalias magnéticas regionais coerentes com as relações geológicas gravimétricas (Hasui et al., 1984).

As bordas dos blocos são marcadas por cinturões de cisalhamento que envolveram cavalgamentos, complicados ou não por transcorrências tardias, condizentes com o modelo de colisão de continentes, e por descontinuidades apontadas pela gravimetria, que marcam as suturas colisionais. Tais bordas representam as zonas de fraqueza crustal fundamentais, com direções preferenciais NE-SW e NW – SE (Costa & Angélica, 1997).

A área de estudo está inserida na porção nordeste, mais especificamente no bloco Belém que está delimitado por descontinuidades de direção NW-SE.

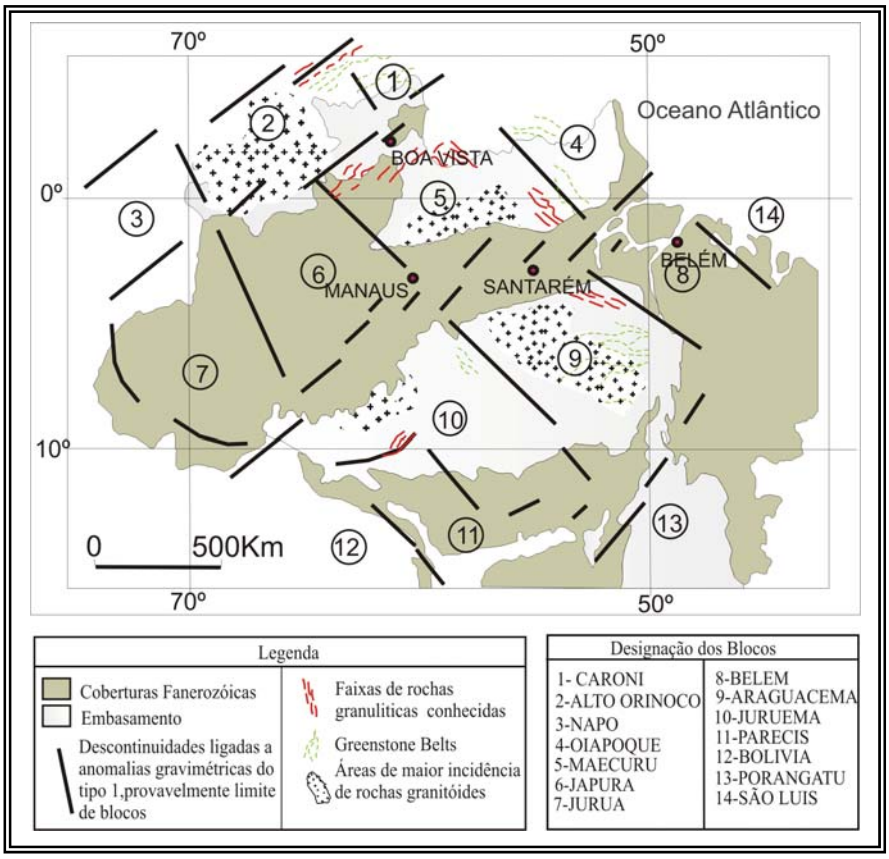


Figura 4.1: Blocos crustais da região Amazônica
Fonte: Hasui et al. (1984).

Segundo Hasui (1996) já a partir do final do Proterozóico Inferior - inicio do Proterozóico Médio o cenário que era de uma grande massa continental consolidada que já foi referida como mega continente Mesoproterozóico (Almeida, 1978), passa por três grandes eventos tectônicos intraplaca de tipo extensional: no Mesoproterozóico, no Paleozóico e no Mesozóico.

Segundo Costa & Hasui (1992) no Proterozóico Médio o modelo assume um amplo regime tectônico extensional na Amazônia Brasileira. Este modelo distingue, com base na geometria e cinemática dos elementos estruturais e na natureza das unidades sedimentares, dois compartimentos extensionais, denominados de ocidental e oriental, separados pela Zona de Transferência Boa Vista Caracaraí (Costa et al., 1991) (Figura 4.2).

O Compartimento Ocidental abrange a região de Roraima e o vale do Alto Rio Negro, no Amazonas e compreende, segundo os autores, vários feixes de falhas normais de direção E-W, inclinadas preferencialmente para norte e falhas de transferências na direção N-S. O eixo extensional Mesoproterozóico teria atuado na direção N-S.

O Compartimento Oriental, corresponde a toda a região posicionada a sudeste desta Zona de Transferência, os feixes de falhas normais teriam direções NW- SE e WNW – ESSE e mergulhos para NE, compondo bacias do tipo hemigrabens; falhas normais inclinadas para SW definiram, localmente, estruturas simétricas, como Gráben do Cachimbo; as falhas de transferência teriam direção nordeste. O eixo extensional teria atuado na direção NE-SW (Costa et al., 1991).

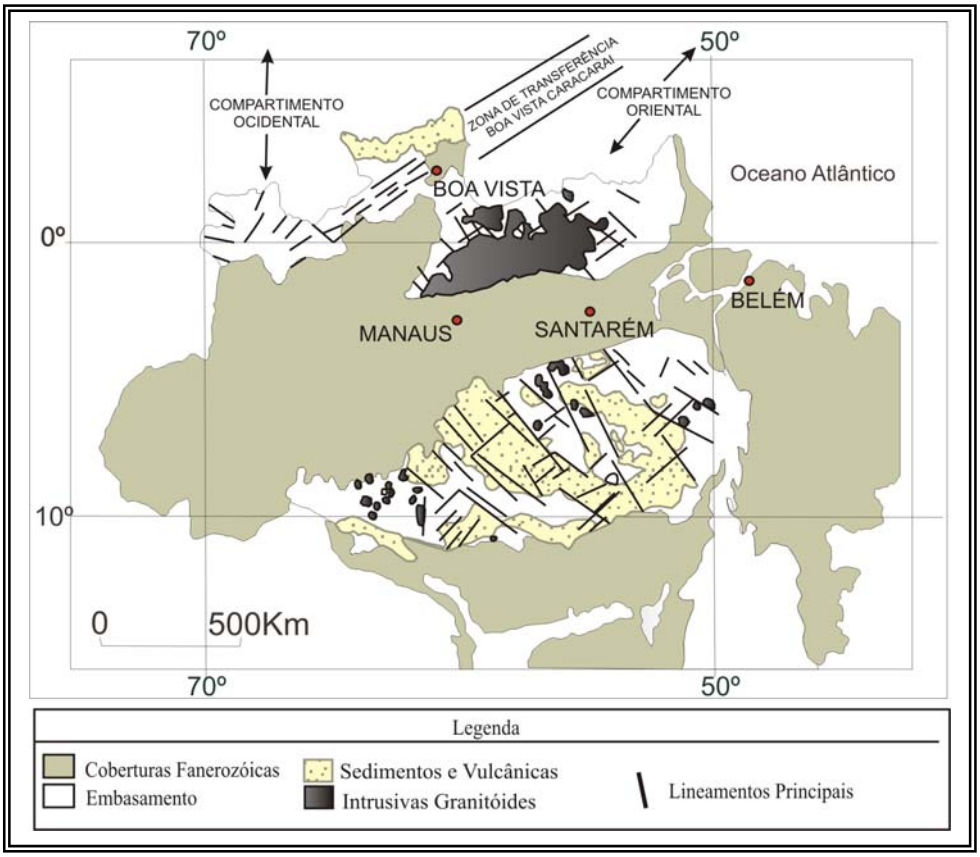


Figura 4.2 : Unidades Litológicas e feições principais do proterozóico Médio/ Superior. As setas indicam as orientações dos eixos de distensão nos dois compartimentos, separados pela Zona de Transferência Boa vista Caracaraí.Fonte: Costa et al. (1991).

4.1.2 **Quadro Fanerozóico**

A paleotectônica fanerozóica aborda a evolução que se estende do Paleozóico ao inicio do Cenozóico.

No Paleozóico a região Amazônica foi afetada por outro evento extensional, resultando no desenvolvimento das bacias do Solimões e Amazonas (Figura 4.3). A tectônica extensional que

permitiu o desenvolvimento dessas bacias envolveu um eixo de distensão (δ3) segundo NW-SE, gerando duas primeiras falhas normais NE-SW e na última falha normal variadamente orientada. As falhas de transferências, estão exemplificadas pelo arco do Purus, que têm orientação NW – SE (Hasui, 1996). As orientações de estruturas do embasamento se reproduzem bem nas falhas dessas bacias, atestando a influência de zonas de fraqueza no seu desenvolvimento.

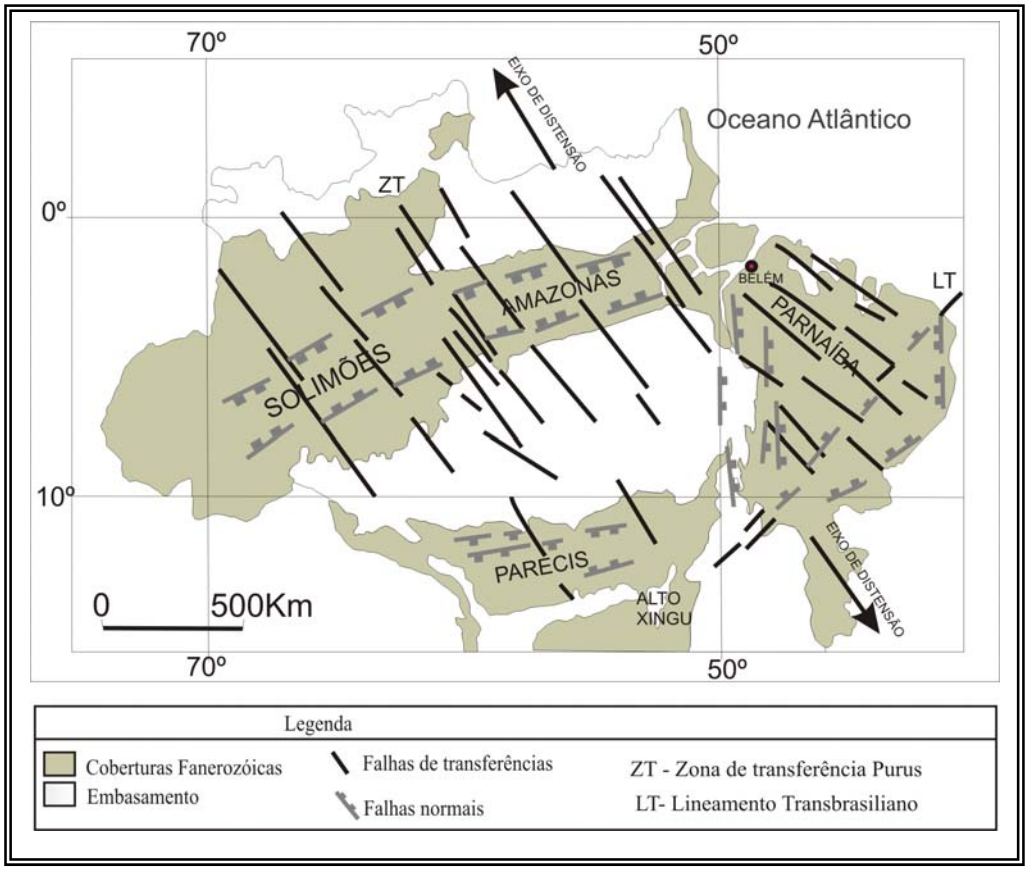


Figura 4.3: Quadro tectônico Paleozóico
Fonte: Costa & Angélica (1997).

No Mesozóico ocorre o terceiro evento, que se relaciona com a Reativação Sul Atlântica, ou seja, com a abertura do Atlântico e a separação dos continentes sul-americano e africano. Foram reativadas as áreas das bacias do Solimões, Amazonas e Parnaíba e desenvolveram-se as Bacias de Tacutu no interior, e as do Marajó, Bragança-Vizeu, São Luís e as outras na zona costeira. Além da morfogênese ocorreram ativas manifestações magmáticas (Hasui, 1996).

Segundo Costa & Hasui (1991), no Mesozóico a região Amazônica desenvolveu compartimentos cinemáticos distintos (Figura 4.4). No compartimento ocidental estão instaladas as depressões ao

longo das áreas das bacias do Solimões, Amazonas e Parecis - Alto Xingu e a bacia do Tacutu, desenvolvidas a partir de um eixo extensional de direção NW-SE. No compartimento oriental encontram-se as bacias do Marajó, Bragança – Vizeu e São Luís e a Bacia do Parnaíba, controladas por um eixo extensional em torno de NE-SW.

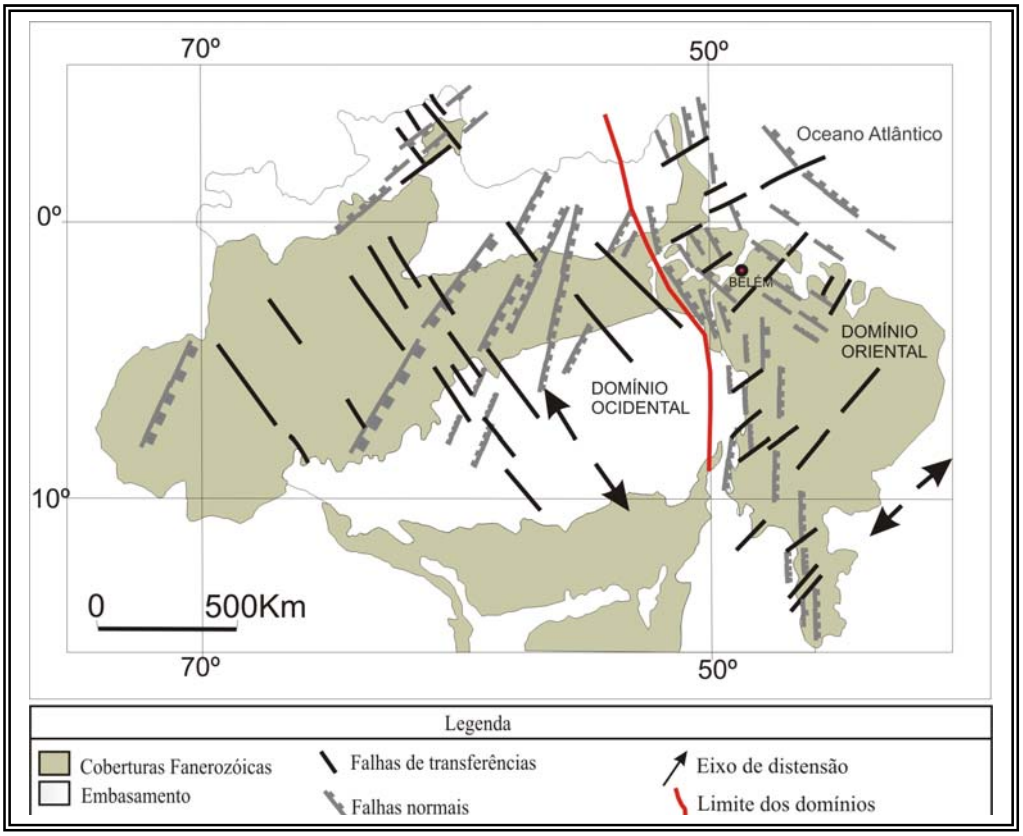


Figura 4.4: Quadro tectônico Mesozóico
Fonte: Costa & Angélica, (1997).

4.2 NEOTECTÔNICA

Segundo Obruchev (1948)[8] apud Suguio (2001), o termo neotectônica designa os "movimentos tectônicos ocorridos no fim do Terciário e no Quaternário e que são responsáveis por importantes configurações topográficas contemporâneas na superfície terrestre".

Existe na literatura uma polêmica sobre a definição de 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. Stewart & Hancock (1994)

[8] Obruchev, V.A. 1948. Osnovnyje verty kinetiki i plastiki neotectoniki. Izvetia Academia nauk SSSR, Serie Geologia, v.5.

complementam dizendo 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.

Com a intenção de uniformizar o emprego do termo neotectônica, Morner (1990) definiu a neotectônica como "qualquer movimento da Terra ou deformação do nível geodésico de referência, seus mecanismos, sua origem geológica (embora possam ser antigas), suas implicações em vários propósitos práticos e suas extrapolações futuras".

Hasui (1990) considera "a inclusão de todos os processos que culminaram com a abertura do Atlântico até a situação atual, neste caso retomando ao Triássico (ou mesmo ao Permiano); ou apenas o 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". O referido autor destaca esta última alternativa por falar de movimentos ainda vigente com manifestação em ambiente intraplaca.

Portanto, segundo Hasui op cit, a Neotectônica na placa Sul Americana é caracterizada por uma movimentação de leste para oeste, resultando na implantação de um regime tectônico intraplaca com um binário dextral E-W, imposto pela rotação, com componentes transpressivo NW-SE e transtensivo NE-SW. Em termos de borda de placa, a porção leste da placa Sul Americana está sofrendo rifteamento, ou seja, o litoral brasileiro está neste contexto. Já a porção oeste da placa Sul Americana sofre cavalgamento (limite convergente-zona de subducção).

Em termos intraplaca no Brasil, o stress desviatório dominante gera falhas reversas na direção NE-SW e falhas normais na direção NW-SE (Mendiguren & Richter, 1978[9] apud Bezerra, 2003). Ou seja, evidências (sísmicas, morfotectônicas, medidas de tensões *in situ*) demonstram que o regime que sucedeu o extensional mesozóico seria essencialmente transcorrente na região intraplaca. Portanto a neotectônica intraplaca no Brasil está caracterizada por um regime transcorrente que sucede ao regime extensional mesozóico.

Para a região Amazônica, mais especificamente no nordeste do Pará onde se insere a área estudada, Costa et al. (1996) definem que o quadro neotectônico no Terciário é formado por um compartimento transpressivo e outro transtensivo (Figura 4.5).

Segundo Costa et al. (1996) o compartimento transpressivo ocupa a área entre as cidades de Marabá e Paragominas, estendendo-se para a região oeste do Maranhão e tem forma de romboedro. Seus feixes de falhas transcorrentes E-W dextrais afetam as seqüências sedimentares

[9] Mendiguren, J.A. & Richter, F.M.. 1978. On the origin of compressional intraplate stresses in South America. Phys.Earth Planet. Inter., 16: 318-326.

da Formação Ipixuna, atribuídos ao Terciário Inferior. A porção interna deste compartimento é caracterizada por dobras de dimensões métricas a quilométricas e com feixes orientados na direção N40º-70ºE, que se manifestam no relevo constituindo serras alinhadas, com altitudes de até 500m, como a Serra do Tiracambu.

O compartimento transtensivo é composto pela ilha do Marajó e o extremo nordeste do Pará, entre o município de Ipixuna e o litoral e refere-se a bacia que alojou os sedimentos da Formação Pirabas e do Grupo Barreiras. As falhas mestras normais que controlam a instalação das seqüências sedimentares orientam-se principalmente na direção NW-SE e mergulham para NE. Segundo Costa et al. (1996), essa bacia é uma estrutura de afastamento cujo limite sul corresponde ao feixe de falhas transcorrentes NE-SW que passa pela região de Paragominas, e a oeste de Belém e da ilha do Marajó (Figura 4.6) e que controlam a distribuição das seqüências sedimentares na direção NW-SE.

No Quaternário (Figura 4.7) o nordeste do Pará é caracterizado por desenvolver falhas normais com direção NW-SE, correspondente a transtensão vinculada à atuação de sistemas transcorrentes dextrais (Costa et al., 1996).

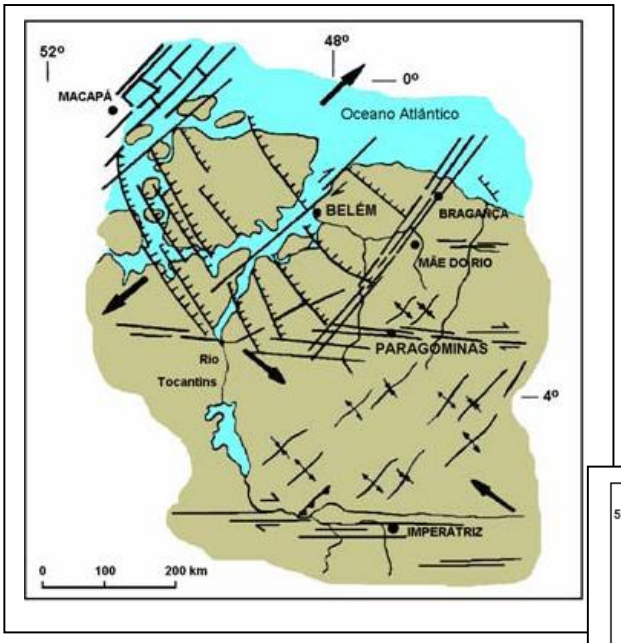


Figura 4.5: Quadro estrutural do Terciário Superior (Mioceno / Plioceno)
Fonte: Costa et al. (1996)[10] apud Cavalcante (2000).

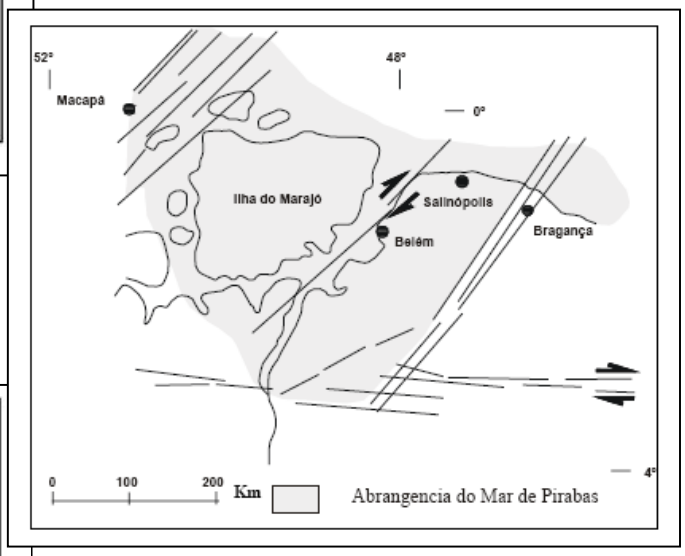


Figura 4.6 - Abrangência do Mar de Pirabas na região nordeste do estado do Pará, e as prováveis estruturas que controlam a deposição dessa unidade litoestratigráfica.
Fonte: Costa et a.l (1996) apud Costa (2004).

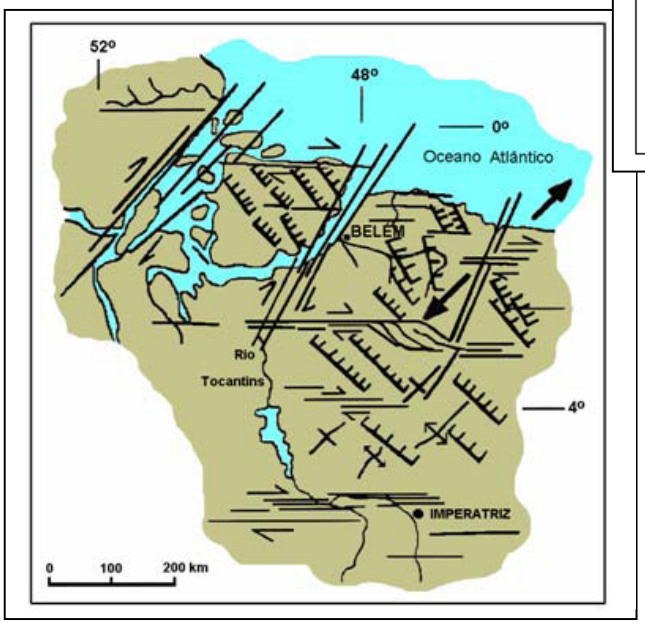


Figura 4.7: Quadro Estrutural do quaternário (Pleistoceno Médio – Holoceno)
Fonte: Costa et al. (1996) apud Cavalcante (2000).

[10] 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**, v.4, n. 2, p. 23-44.

5 ANÁLISE MORFOESTRUTURAL

A análise morfoestrutural é uma ferramenta fundamental para delinear a causa dos fatos geomorfológicos derivados dos grandes aspectos geotectônicos, dos grandes arranjos estruturais, e, eventualmente, da predominância de uma litologia definida (Argento, 2001).

Portanto, a análise do relevo e da drenagem com base em imagens de radar e fotografias áreas, auxiliará na possível caracterização dos indicadores de estruturas neotectônicas. Segundo Hasui (1990), estas estruturas seguem os grandes traços da estruturação regional de uma tectônica ressurgente relacionada a processos paleotectônicos.

A análise morfoestrutural nesse trabalho foi feita em duas escalas, sendo uma regional (1:100.000) e outra em semidetalhe (1:25.000).

5.1 ANÁLISE REGIONAL

Regionalmente analisou-se o relevo e a drenagem da porção oeste da folha SA-23 -V - C -I.

5.1.1 **Análise do Relevo**

A área de estudo está inserida na unidade morfoestrutural do Planalto Rebaixado da Amazônia, que constitui uma extensa superfície denominada de Pediplano Plesistocênico (Barbosa et al., 1973).

Caracteriza-se por relevos tabulares com altitudes variando de 45 a 70 metros (Figura 5.1.1), recortado pelos principais rios que ocorrem na área de estudo: Acará, Mojú, Guamá, Pará e Marapanim, os quais apresentam evidências de aplainamentos laterais em seus vales.

O relevo é sustentado pelo Grupo Barreiras, com suas coberturas lateríticas, além dos depósitos argilo-arenosos dos sedimentos Pós-Barreiras.

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

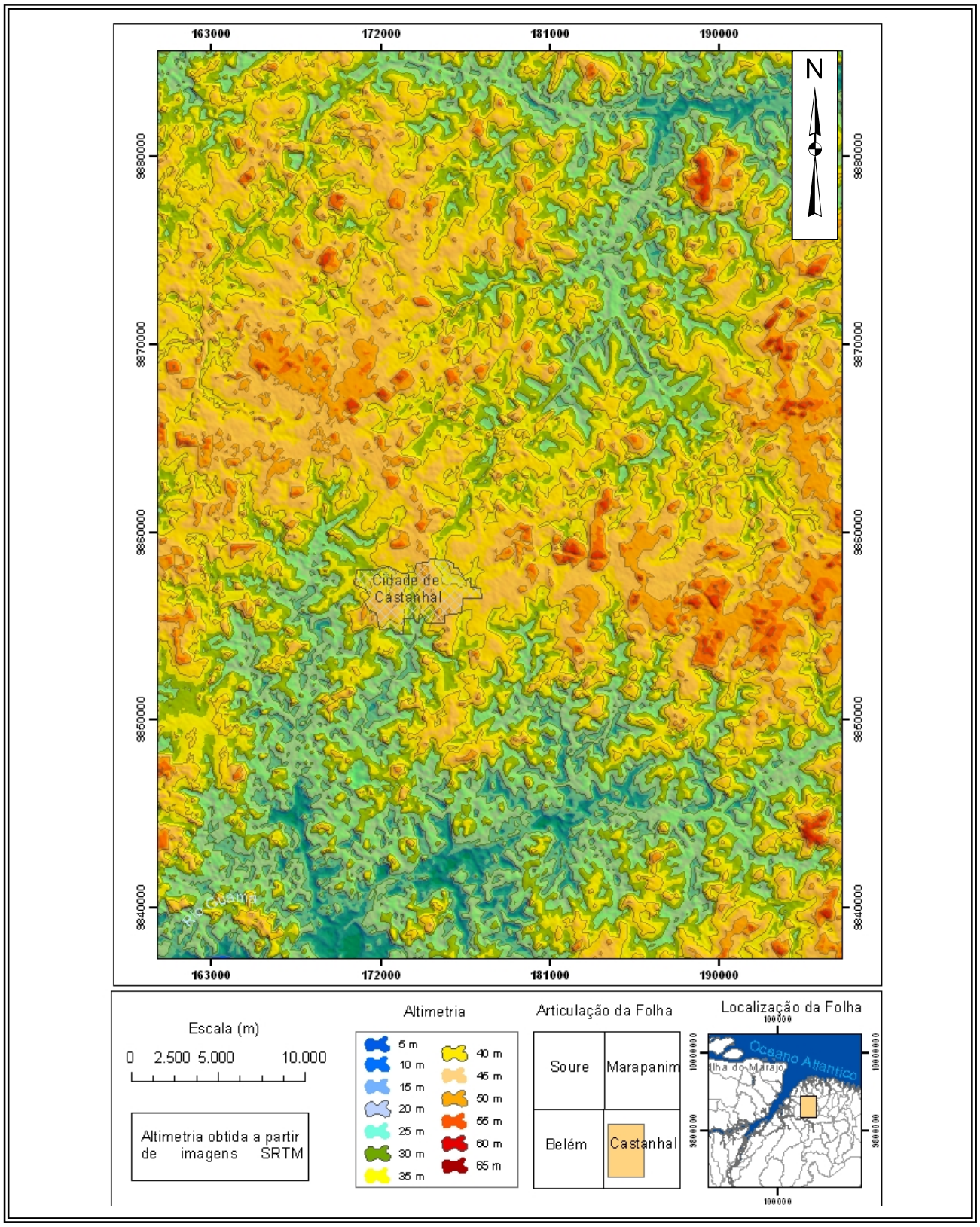


Figura 5.1.1: Mapa de Elevação do Terreno do município de Castanhal

5.1.1.1 Unidades Geomorfológicas (Morfológicas)

A área de estudo é regionalmente compartimentada em três unidades morfológicas principais onde se desenvolveram dois tipos de processos: o de agradação, que geram as planícies fluviais e, o de degradação, que formaram o relevo de Colinas Pediplanizadas e Colinas de Topos Aplainados .

5.1.1.1.1 *Planícies Fluviais*

As planícies fluviais (Figura 5.1.2) abrangem 30% da área do mapa (Figura 5.1.5) e reprsentam as porções mais baixas altimetricamente, correspondendo ao relevo de agradação, onde predominam os processos de deposição sobre os de erosão. Em tais planícies predominam argilas e areias com granulometria fina a média, geralmente associadas aos rios Apeú, Inhangapi, Marapanim, Braço Esquerdo do rio Marapanim e os Igarapés Moura, Defunto, Pau Amarelo e Grande, entre outros igarapés.

Figura 5.1.2: Planície Fluvial da "Cabeceira" do rio Apeú.
Fonte:Íris Bandeira-16/04/2007

5.1.1.1.2 *Colinas Pediplanizadas*

Localiza-se nas porções sul, sudeste e em uma pequena parte da porção nordeste, abrangendo 40% da área do mapa geomorfológico (Figura 5.1.5). Segundo Souza Junior et al. (1992) constitui colinas com vertentes suaves e convexas, com curvas de nível variando de 25-65m, possuindo direção NW-SE e N-S.

Correspondem as zonas mais dissecadas do Pediplano Pleistocênico, onde os processos erosivos foram mais atuantes. Nesta unidade a densidade da drenagem é alta.

Figura 5.1.3: Colinas Pediplanizadas BR – 316 km.
Fonte:Íris Bandeira-16/04/2007

5.1.1.1.3 *Colinas de Topos Aplainados*

Localiza-se na porção central e leste da área. Representa a porção relativamente mais elevada da região, correspondente a um alto estrutural, com curvas de nível variando entre 40m e 70m, constituindo, no geral, uma zona plana com suaves ondulações. Esta unidade apresenta forma alongada na direção E-W, com inflexão para N 60º-70ºW e direção N-S, com inflexão para N 10º-20ºW.

Esta unidade morfológica atua como uma zona de interflúvio que separa duas sub-bacias hidrográficas. A sub-bacia do Rio Marapanim, ao norte, possui drenagens que fluem na direção norte, até desaguarem no Oceano Atlântico. A outra sub – bacia, ao sul, representa as dos Rios Apeú e Inhangapi, no qual correm, no geral, pra direção sul e sudoeste até desaguarem no rio Guamá. Nesta unidade a densidade da drenagem é baixa.

Figura 5.1.4: Colina de Topo Aplainado. (A) Com cobertura vegetal, (B) Parcialmente desvegetada, devido à abertura de estrada. Fonte:Íris Bandeira-16/04/2007

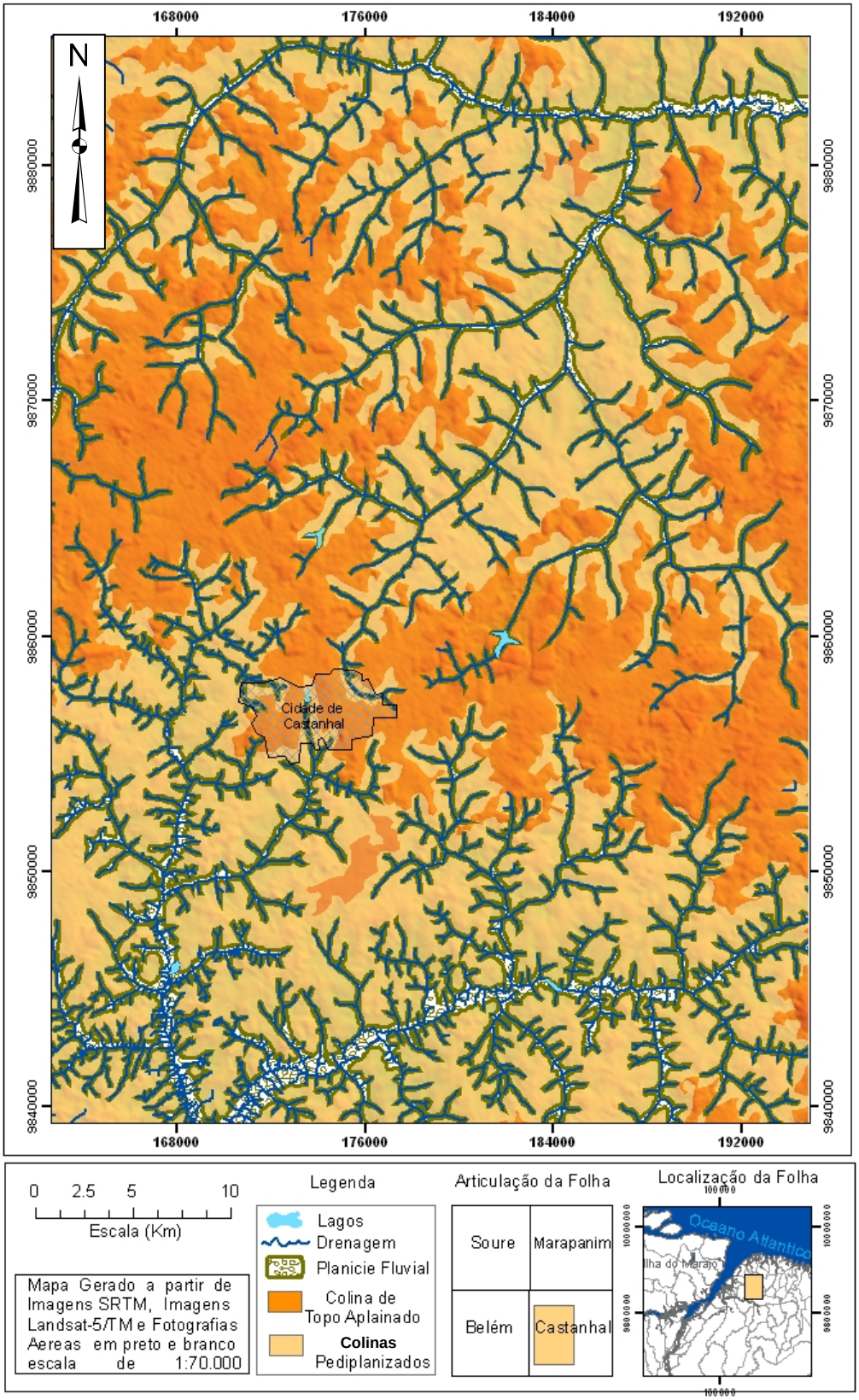


Figura 5.1.5: Mapa Morfológico Regional

5.1.1.2 *Landforms* Tectônicos

A área de estudo é constituída por sedimentos pouco coesos ou incoesos e está submetida a um clima que favorece um processo erosivo acentuado, em razão do que dificilmente escarpas de falha desenvolvidas em posição interfluvial se preservam. Observa-se apenas um estágio de maturidade inicial, caracterizado por facetas triangulares e um estágio de maturidade final das escarpas, onde estas estão caracterizadas por baixa declividade e um relevo mais côncavo (Figura 5.1.6). Diante de tais fatos, foi possível definir apenas as direções das escarpas de linha de falha, ou seja, os *Landforms* Tectônicos Primários.

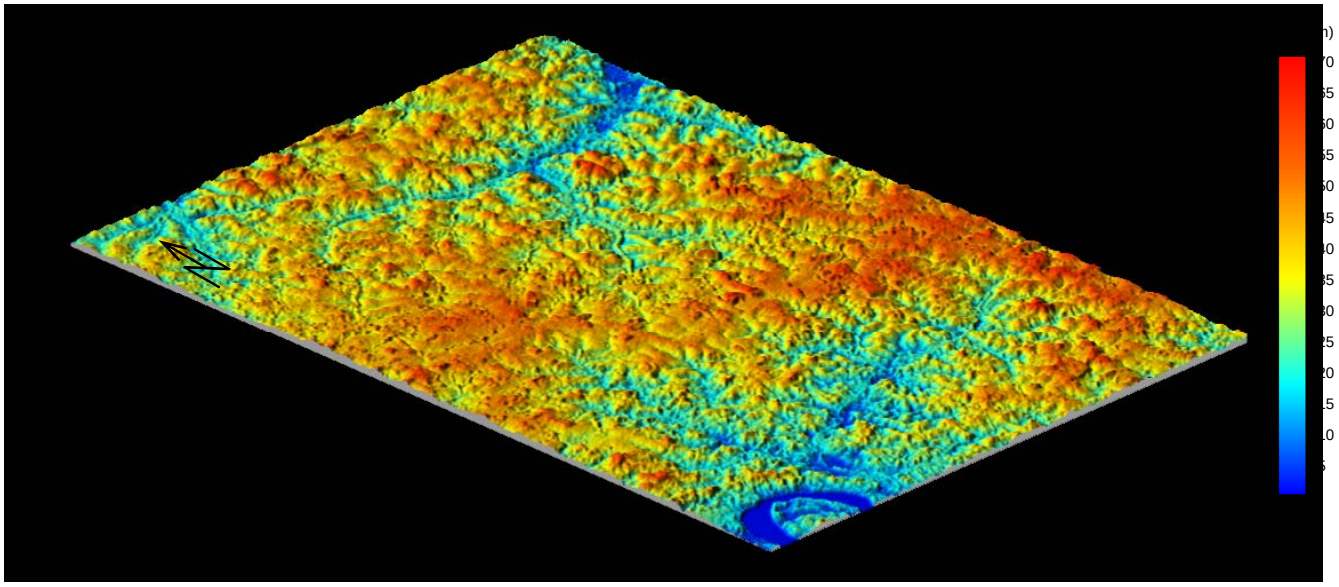


Figura 5.1.6 : Modelo Digital do Terreno (MTD),destacando um relevo suavemente ondulado nas porções mais elevadas (acima de 40m) e um relevo caracterizado por facetas triangulares nas áreas mais baixas (15 a 40m).

A maior parte das escarpas de linha de falha observada apresenta geometria coerente com um controle estrutural, mostrando as seguintes direções preferenciais: N10º- 20ºW, N20º- 40ºW, N60º - 70ºW, N30º- 40ºE e N60º - 70ºE (Figuras 5.1.7 e 5.1.8).

A área de estudo é composta por dois domínios principais: sub-bacia do rio Marapanim localizada a nordeste, e a sub-bacia dos rios Apeú e Inhangapi, a sudeste, estando individualizadas pelas colinas de topos aplainados e caracterizadas como uma feição estrutural denominada de *horst*, com direção N60º-70ºW(Figura 5.1.9).

No domínio nordeste, correspondente a sub-bacia do rio Marapanim, os alinhamentos mais encontrados são: N20º-40ºW, N20º-40ºE, N60º-70ºW e N50º-60ºE. Dentro deste domínio observa-se a presença de dois subdomínios correspondentes, a microbacia do Braço Esquerdo do Marapanim (oeste) e a do Rio Marapanim (leste).

No subdomínio oeste as direções principais são N20º-40ºE e N60º-70ºW e as secundárias N40º-50ºE , N60º-70ºE e N20º-40ºW. No subdomínio leste as direções principais são N20º-40ºE e N20º-40ºW e as secundárias são N40º-50ºE e N60º-70ºE.

No domínio ao sudeste, correspondente a sub-bacia dos rios Apeú e Inhangapi, os lineamentos mais encontrados são N20º-40ºW, N30º-50ºE e N60º-70ºE, formando poliedros com ângulos de 60º e de 90º.

Assim como no domínio nordeste, o domínio sudeste pode ser dividido em dois subdomínios correspondentes a microbacia do Apeú (oeste) e a microbacia do Inhangapi (leste).

O subdomínio leste corresponde a microbacia do rio Inhangapi e possui os principais alinhamentos nas direções N50º-60ºE, N30º-40ºW, N30º-40ºE e N50º-60ºE. O subdomínio oeste correspondente a microbacia do rio Apeú, contém os principais lineamentos nas direções N10ºW, N20º-30ºW N40º-50ºW, N30º-50ºE, N50º-60º E e E-W.

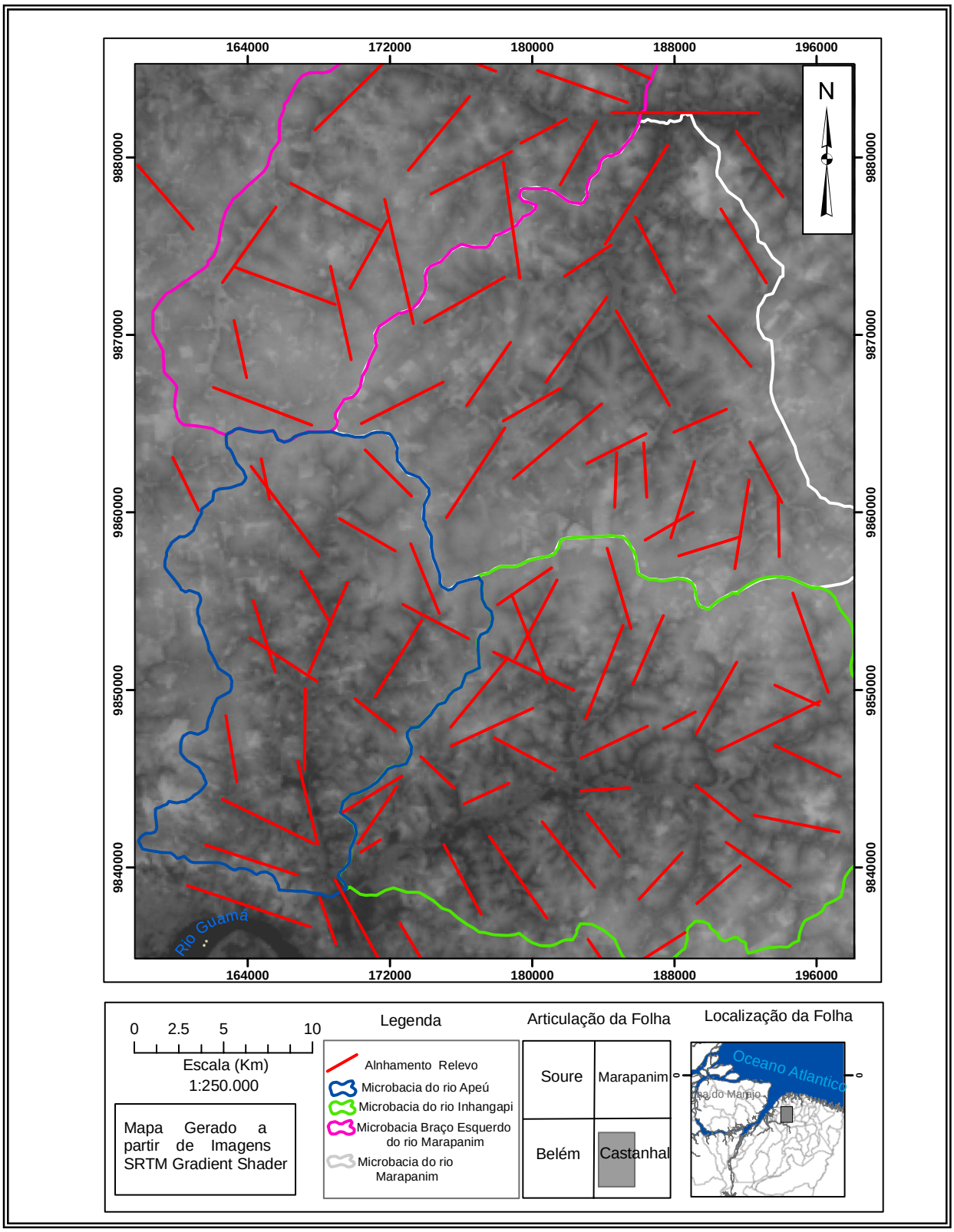


Figura 5.1.7: Mapa de alinhamentos do relevo, evidenciando as principais direções de escarpas de linha de falha.

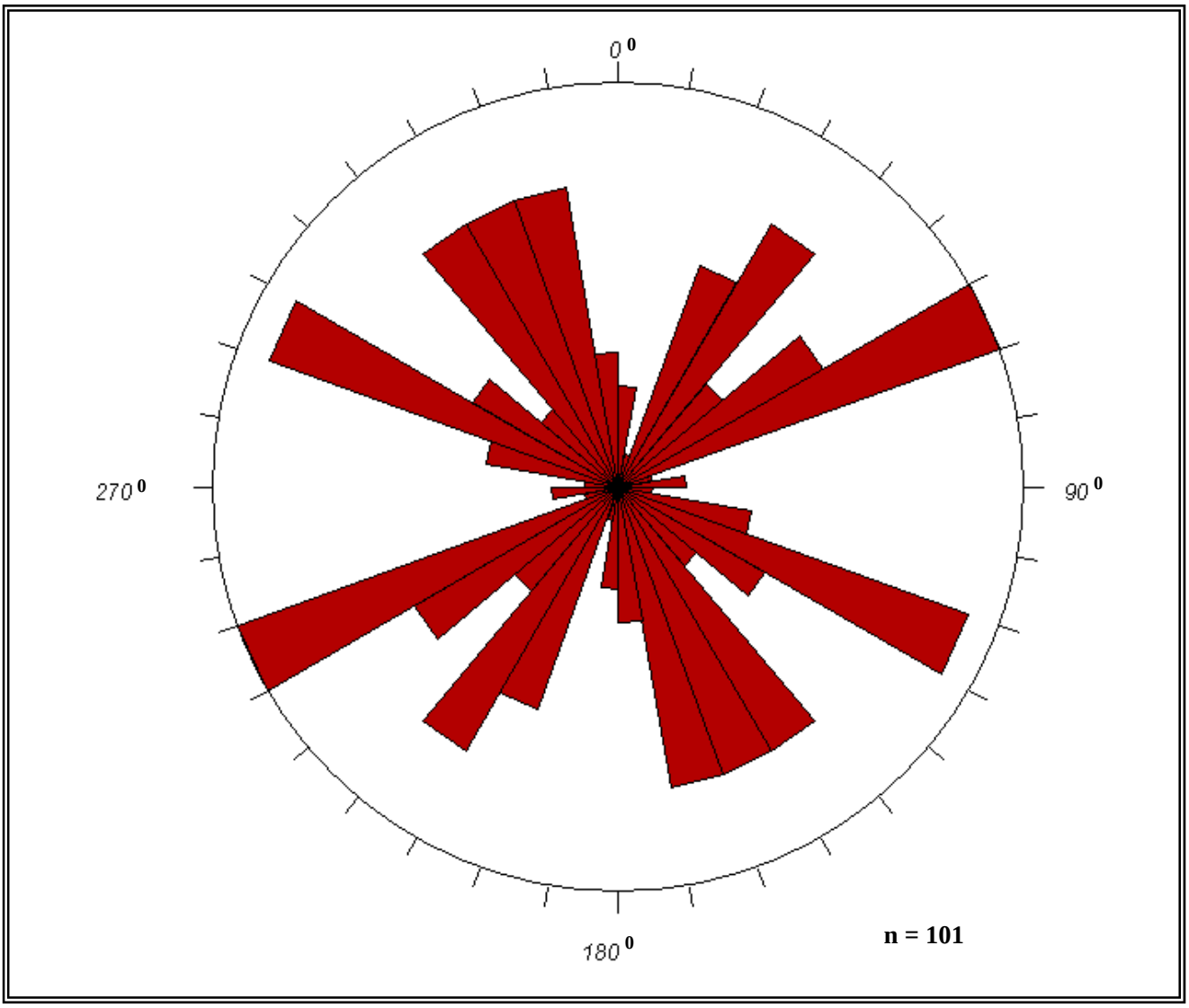


Figura 5.1.8: Rosácea dos alinhamentos do relevo da região de Castanhal.

Com base nas seções esquemáticas (Figura 5.1.9 a 5.1.19), pode se observar às unidades morfológicas e a quebra do relevo da área de Castanhal.

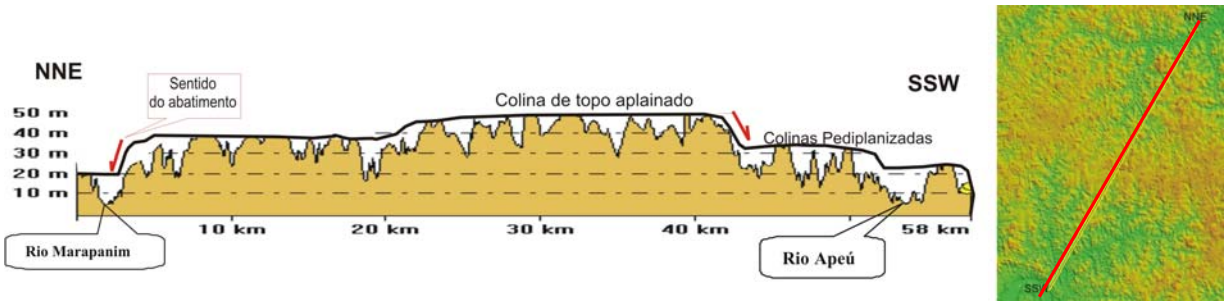


Figura 5.1.9: Seção 1- Perfil geral atravessando as sub-bacias dos rios Apeú-Inhangapi (SSW) e sub-bacia do rio Marapanim (NNE), mostrando a variação dos sistemas de relevo de agradação de degradaçã,além de mostrar que a porção NNE e SSW foram abatidas em relação ao centro da área.

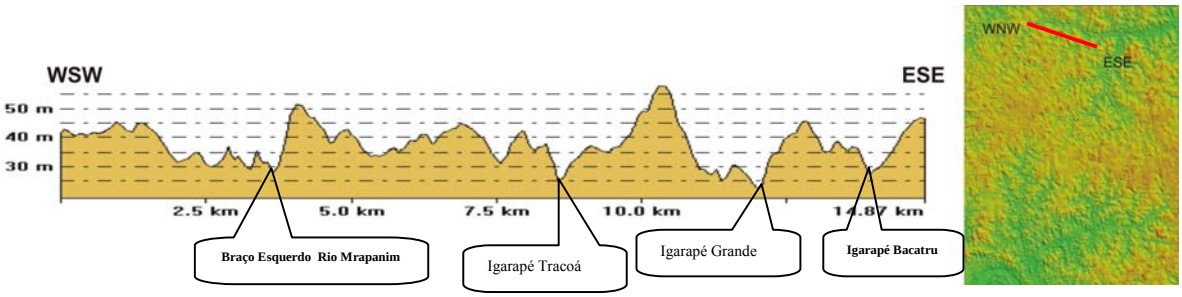


Figura 5.1.10: Seção 2 -Perfil da porção norte da microbacia do Braço Esquerdo do Rio Marapanim, mostrando a quebra de relevo e a presença de vales fechados.

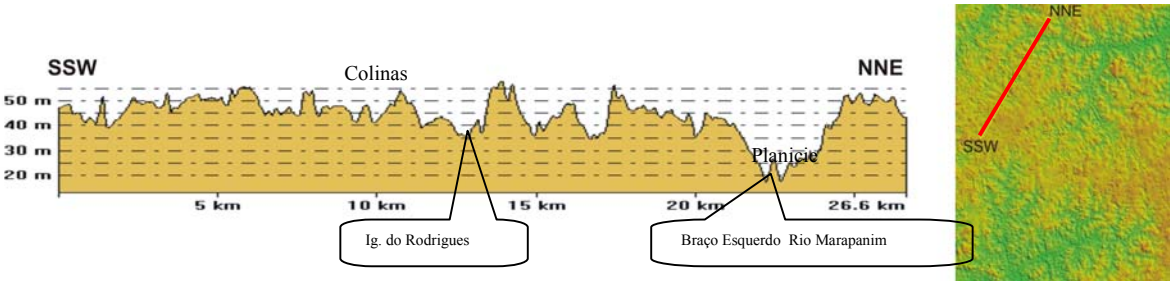


Figura 5.1.11: Seção 3 - Perfil mostrando a passagem do relevo de colinas de topo aplainado para planícies fluviais.

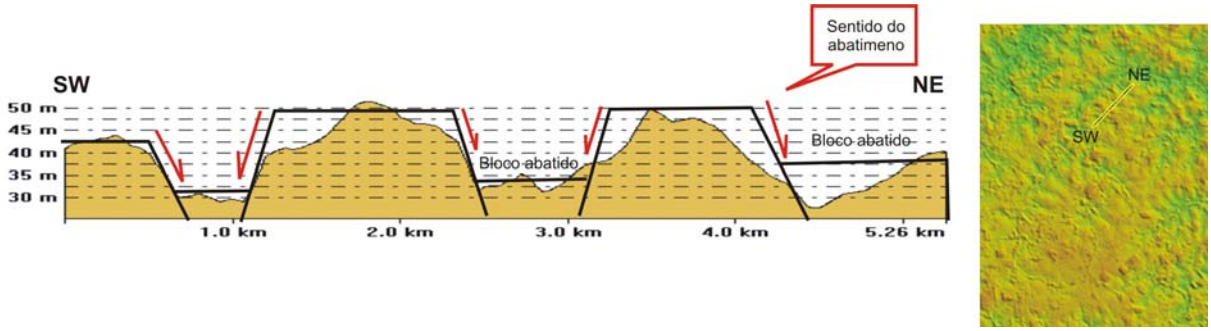


Figura 5.1.12: Seção 4- Perfil mostrando a quebra do relevo na microbacia do Braço Esquerdo do Rio Marapanim e possível configuração de abatimentos de blocos

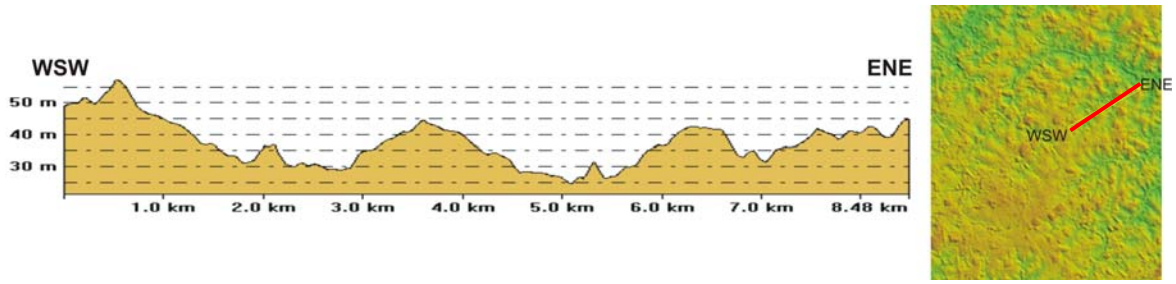


Figura 5.1.13: Seção 5 - Perfil mostrando as feições geomorfológicas como colinas pediplanizadas na microbacia do Braço Esquerdo do Rio Marapanim.

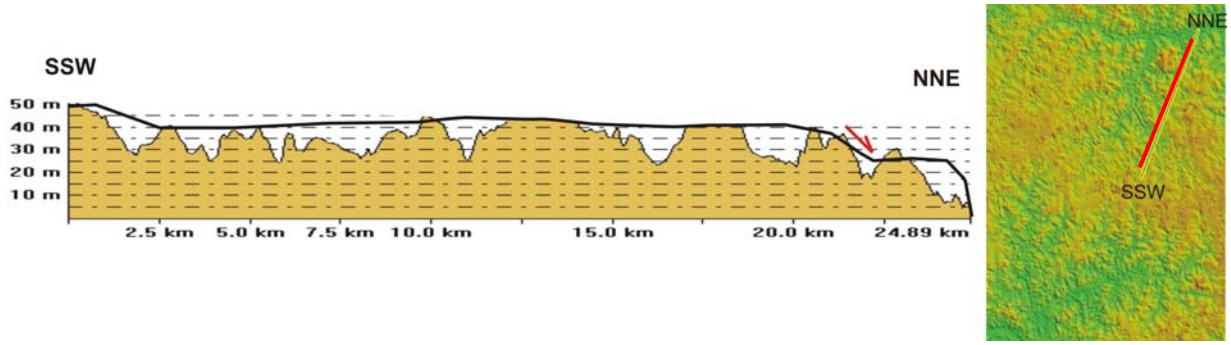


Figura 5.1.14: Seção 6 - Perfil exibindo a quebra do relevo na microbacia do Braço Esquerdo do Rio Marapanim e abatimento de bloco no sentido NNE..

Figura 5.1.15: Seção 7 - No perfil que atravessa o Rio Marapanim observa-se o contraste de altimetria das suas margens, indicativo de abatimento de blocos no sentido WNW.

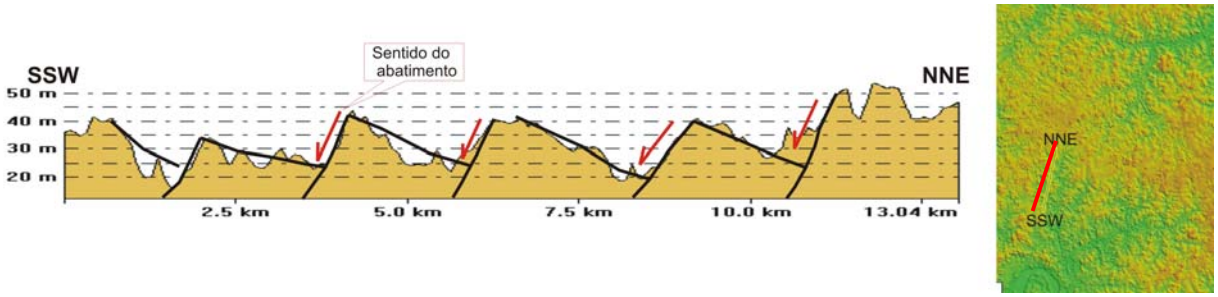


Figura 5.1.16 : Seção 8 – No perfil que atravessa o Rio Apeú observa-se o basculamento de blocos no sentido SSW.

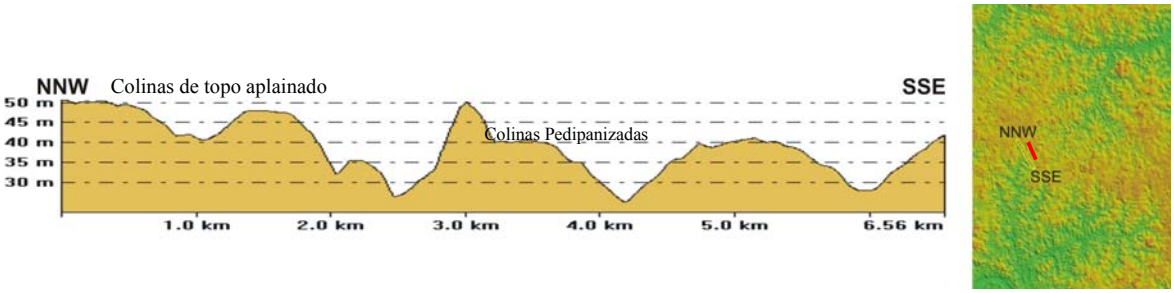


Figura 5.1.17: Seção 9 – Feições geomorfológicas da microbacia do Rio Apeú.

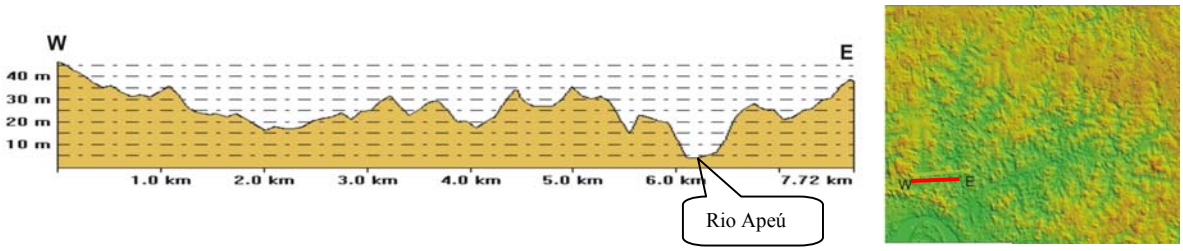


Figura 5.1.18: Seção 10 – Seção na porção sul da microbacia do Rio Apeú. Perfil mostrando as feições em vale fechado do Rio Apeú.

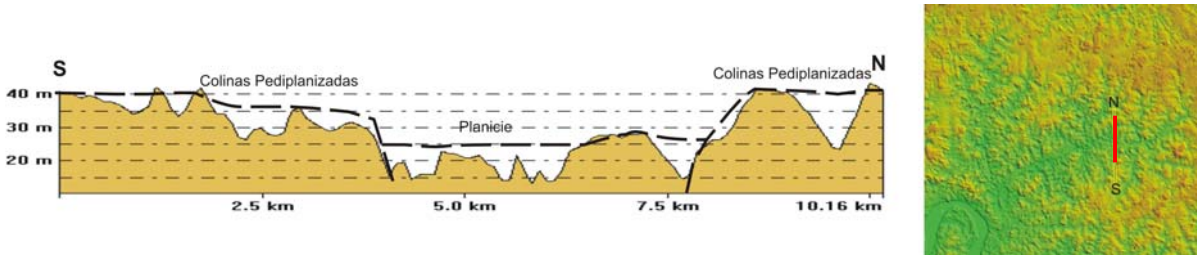


Figura 5.1.19: Seção 11 – Seção da microbacia do Rio Inhangapi, exibindo a morfologia das planícies e colinas.

5.1.2 **Análise da drenagem**

A área de estudo regionalmente possui duas sub – bacias de drenagem (Figura 5.1.20) separadas por uma zona de interflúvio, correspondente a unidade morfológica colina de topo aplainado (parte central da zona homologa E).

Baseado em Soares & Fiori (1976), a área de estudo foi dividida em cinco zonas homologas (Figura 5.1.21).

5.1.2.1 Caracterização da Drenagem

A análise da rede de drenagem é de extrema importância na interpretação do estudo estrutural, pois rios e igarapés tem a capacidade de se ajustarem à estruturação. Como na área de Castanhal, assim como na maior parte do nordeste do Pará, não há muitos afloramentos, a caracterização bem detalhada da drenagem auxiliará na interpretação estrutural.

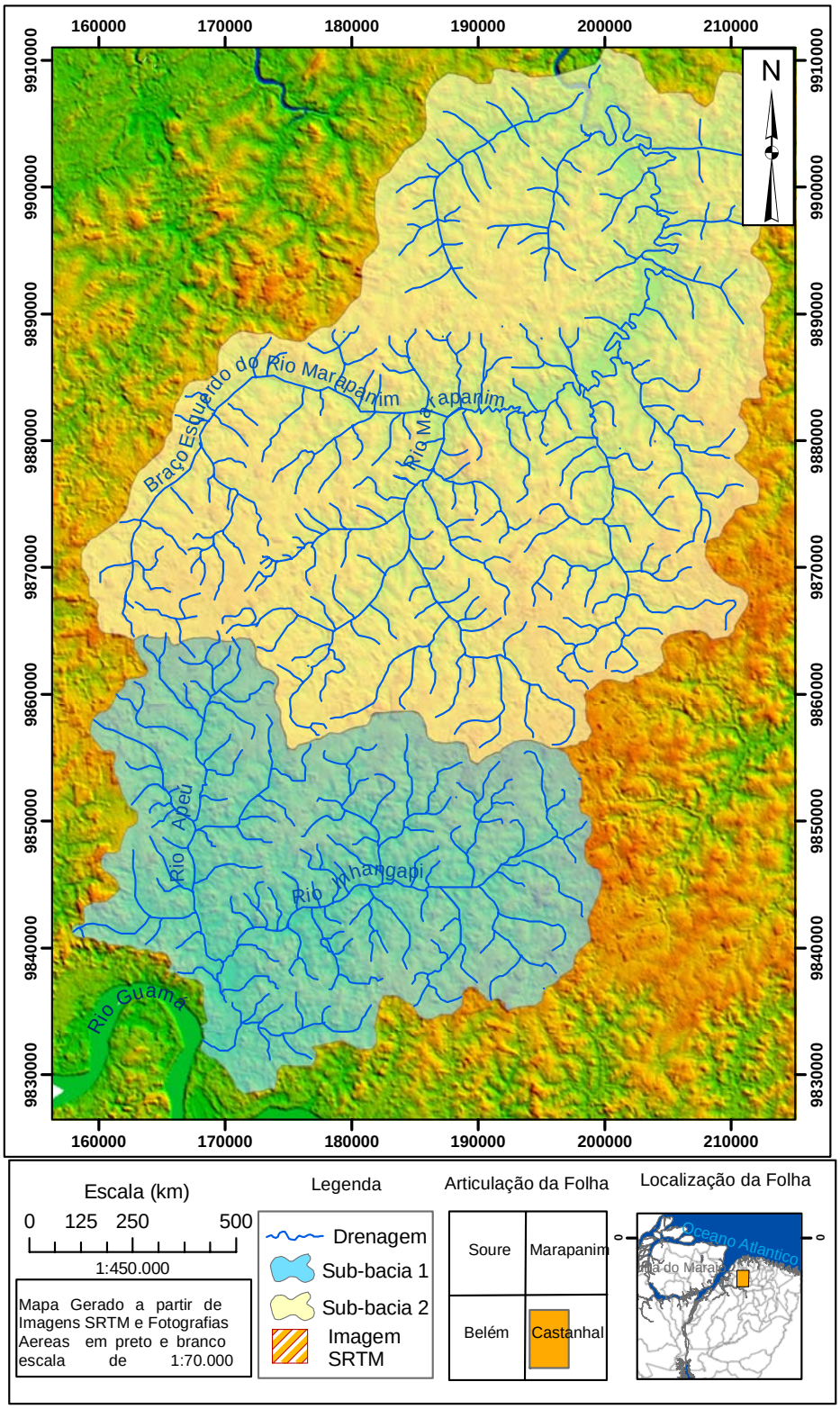


Figura 5.1.20: Mapa das duas principais sub-bacias da área de estudo. A sub- bacia 1, denominada de sub-bacia dos rios Apeú e Inhangapi está inserida na Bacia Hidrográfica do rio Guamá, ou seja, seus efluentes deságuam no Rio Guamá. A sub-bacia 2 é formada por afluentes que deságuam no rio Marapanim.

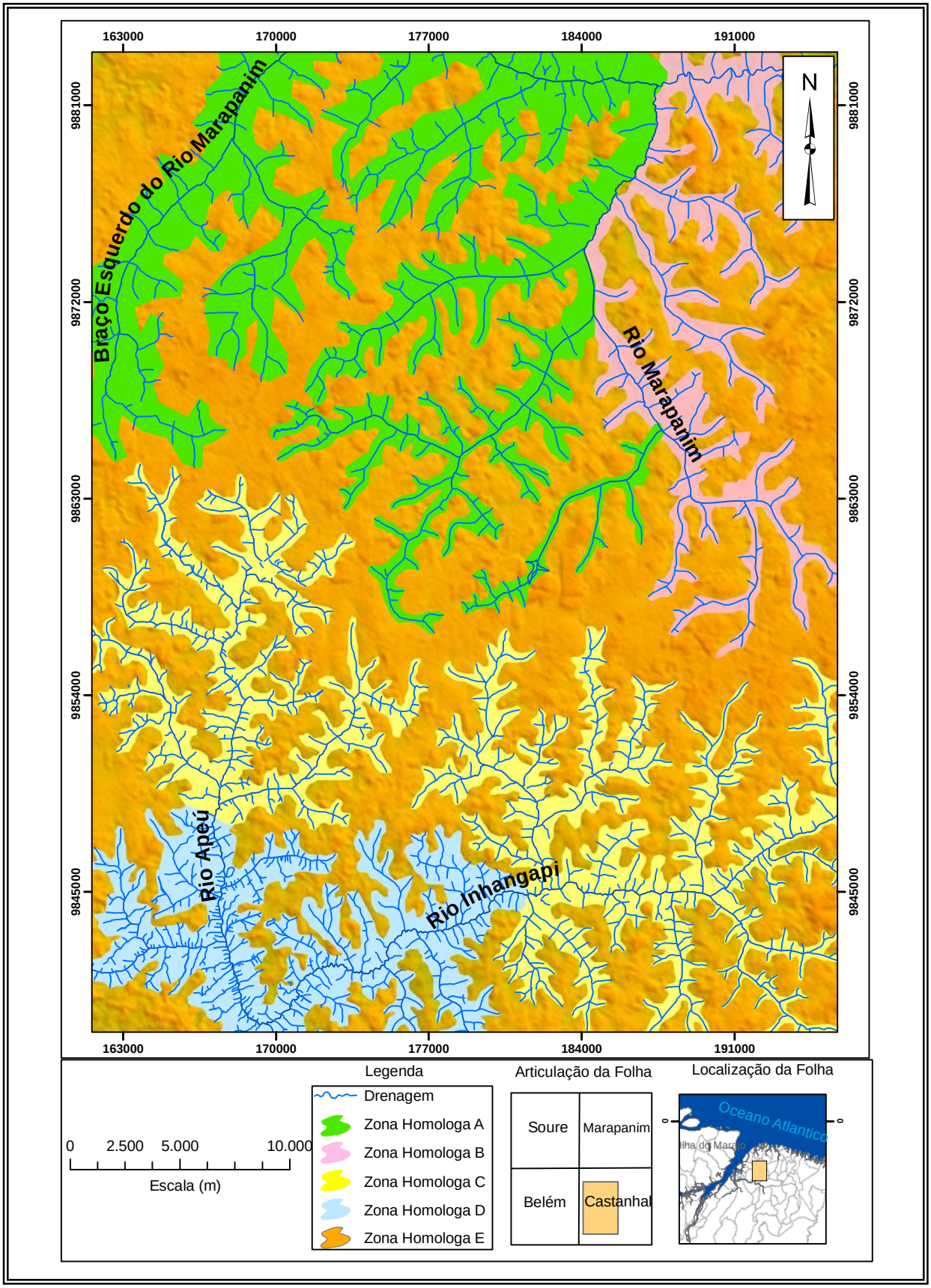


Figura 5.1.21: Mapa das zonas homologas da área de estudo regional.

Zona Homóloga **A** – Corresponde a porção oeste da sub-bacia do rio Marapanim, tem como o rio principal o Braço Esquerdo do Marapanim e a porção noroeste do rio Marapanim. Esta zona apresenta padrão de drenagem treliça direcional a retangular, onde as drenagens principais como Braço Esquerdo do Marapanim, a porção noroeste do rio Marapanim, Igarapé Tracoá, Igarapé Grande, Igarapé Defunto, Igarapé Moura de direção NE-SW, apresentam tributários transversais com direção NW-SE. Geralmente estas confluências apresentam ângulos que variam de 60º a 90º. Este padrão é um forte indicativo de estruturas falhadas.

Em comparação as outras zonas, a zona homóloga A exibe densidade de drenagem baixa, sinuosidade mista, angularidade média, tropia preferencial bidirecional com direções preferenciais NE-SW e NW-SE, sendo que algumas drenagens apresentam direções N-S e E-W.

Em termos gerais de assimetria de drenagem, esta zona apresenta uma forte assimetria, pois os rios principais, apresentam do seu lado esquerdo vertentes mais curtas que as do lado direito, indicando um provável basculamento de blocos sentido SE (Figura 5.1.22).

A assimetria também pode ser observada em termos de detalhe em alguns igarapés, a exemplo do igarapé Tracoá, localizado na porção noroeste desta zona, que apresenta vertentes maiores do lado esquerdo do que lado direito, indicando um provável bloco abatido para o lado esquerdo, ou seja, um bloco alto do lado direito e um bloco baixo do lado esquerdo. O inverso ocorre nos Igarapés Grande e Defunto, onde se observa que as vertentes do lado esquerdo são menores que as do lado direito, indicando bloco baixo do lado direito, ou seja, bloco baixo no lado SE.

Nesta zona podem ser observadas anomalias de drenagem como formas em arco, em cotovelo e anomalias em Z, indicando uma movimentação dextral na direção E-W.

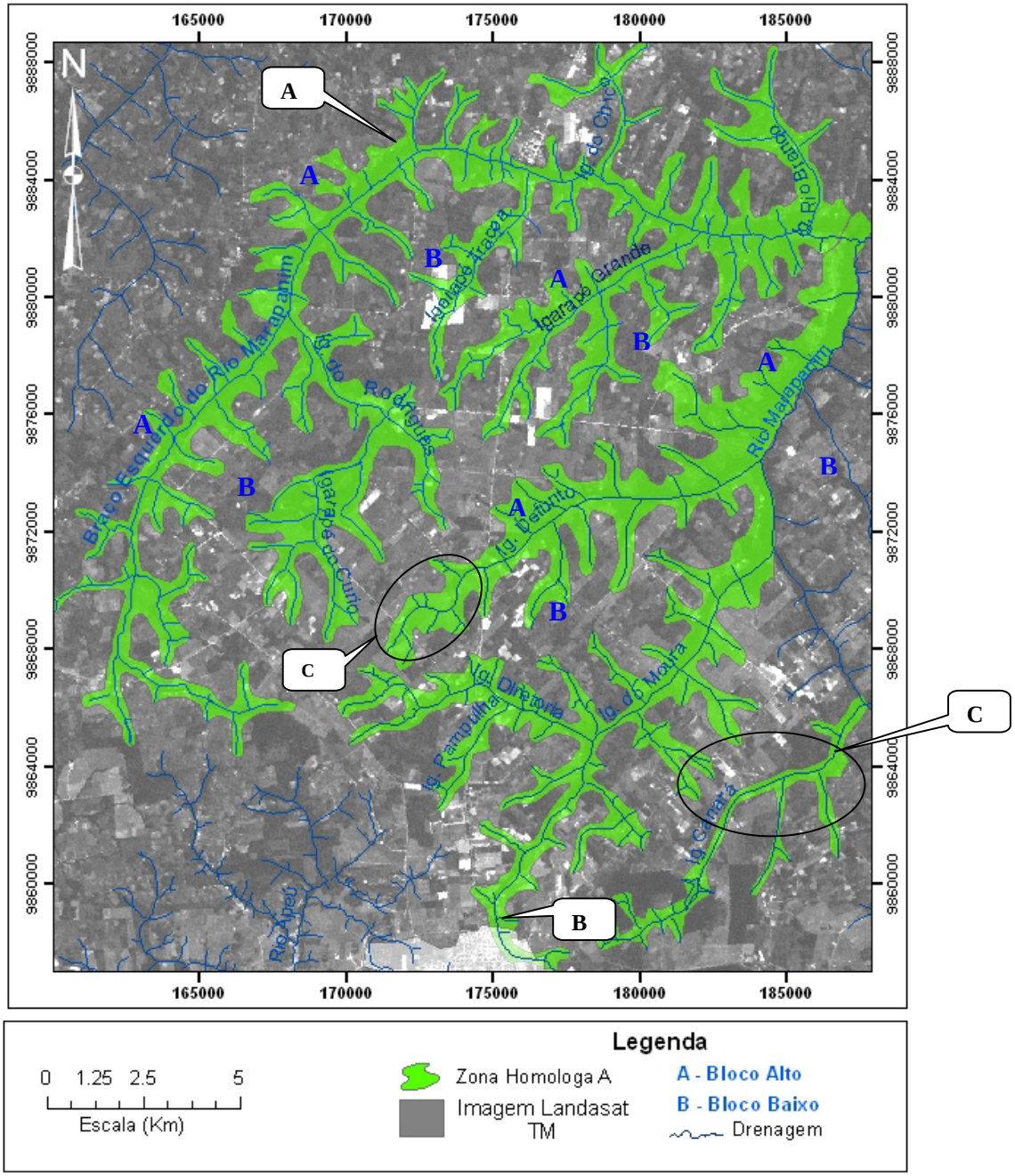


Figura 5.1.22 - Mapa da zona homóloga A, que tem como rios principais o Braço Esquerdo do Rio Marapanim e o Rio Marapanim. Observa-se a orientação preferencial da drenagem na direção NE-SW e formas anômalas em arco (A), cotovelo (B) e anomalias em forma de Z (C).

Zona Homóloga **B** – Corresponde a porção leste da sub-bacia do rio Marapanim, e tem como rio principal o Marapanim. Esta zona apresenta padrão de drenagem treliça direcional, com rios principais na direção NW-SE e tributários transversais com direção NE-SW.

Comparativamente às outras zonas, a zona homóloga B exibe densidade de drenagem baixa, sinuosidade mista, angularidade média, tropia preferencial bidirecional com direção preferencial NW-SE e NE-SW, sendo que algumas drenagens apresentam direção N-S e E-W.

Esta zona apresenta uma forte assimetria de drenagem, pois a porção noroeste do rio Marapanim, apresenta, do seu lado direito, vertentes mais longas que as do lado esquerdo, indicando um abatimento de blocos para sentido SE (Figura 5.1.23). Em termos de detalhe observa-se que a maior parte da drenagem apresenta assimetria, como a porção sudeste do rio Marapanim que apresenta as vertentes do lado sudeste maiores que as do lado nordeste, indicando um bloco alto a nordeste, assim como os igarapés Pau amarelo e Arianga que também exibem assimetrias as quais podem ser observadas na figura.

Nesta zona podem ser visualizadas (Figura 5.1.23) formas anômalas em arco, cotovelo e meandros isolados (indicativos de áreas rebaixadas).

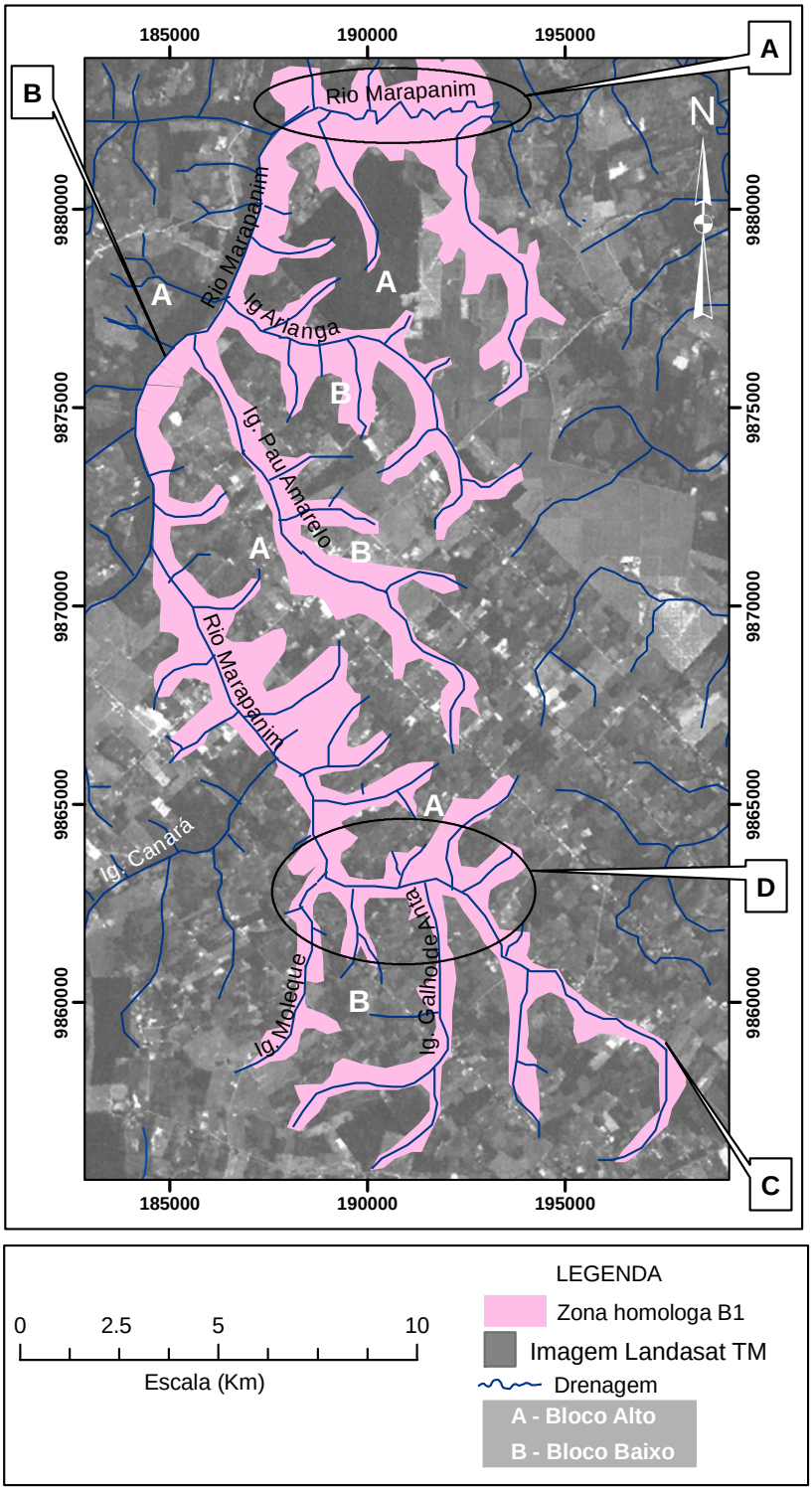


Figura 5.1.23 - Mapa da zona homóloga B tendo como o rio principal o Marapanim. Formas anômalas como meandros isolados (A) formas em arco (B) em cotovelo (C) e em S (D).

✓ Zona Homóloga C - apresenta padrão de drenagem treliça com tendência a subdendrítico, média densidade, sinuosidade mista, angularidade média a alta, tropia tridirecional, médio grau de continuidade e assimetria fraca, sendo que alguns Igarapés apresentam assimetria forte como o Itaqui e Castanhal, indicando um abatimento de blocos no sentido SW. Exibe anomalias tais como formas em arco e meandros isolados (Figura 5.1.24). Mostra, também, alternância de trechos retos e meandrantes, planícies assimétricas e zona anômala de drenagem ao longo de sua planície.

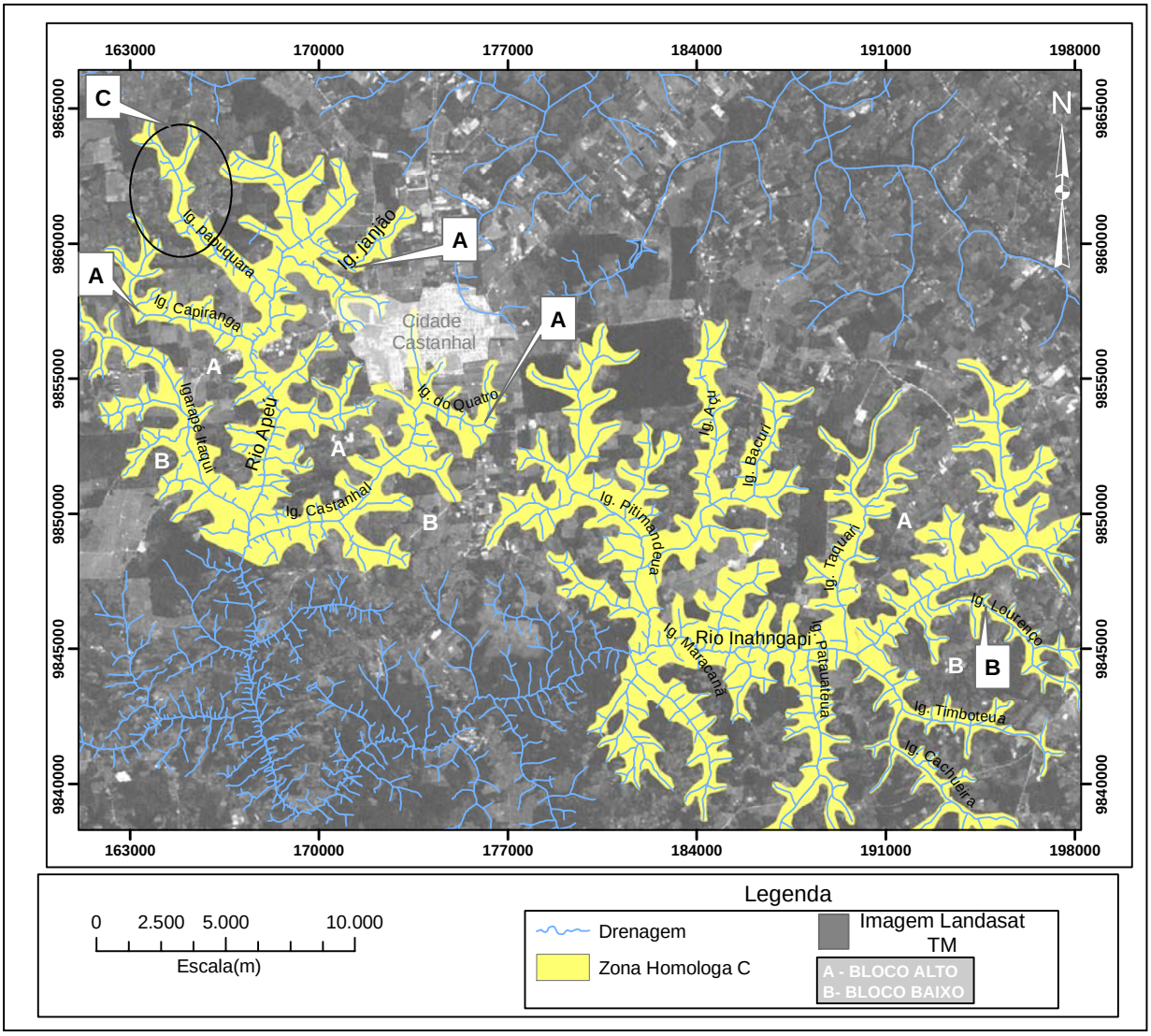


Figura 5.1.24: Mapa da zona homóloga C tendo como os rios principais Inhangapi e Apeú. Formas anômalas como formas em cotovelo (A), am arco (B) e em Z (C).

✓ Zona Homóloga **D** – ocupa a porção sul da área e apresenta um padrão subdendrítico, principalmente na porção a jusante do rio Apeú, próximo a confluência com o Rio Inhangapi. Alta densidade da drenagem, sinuosidade mista, angularidade média, tropia multidirecional e assimetria fraca (Figura 5.1.25)

Com base nas fotografias aéreas pode se observar que próximo a jusante do rio Apeú encontram-se áreas inundadas indicando áreas mais baixas e que e sofreram abatimento (Figura 5.1.26).

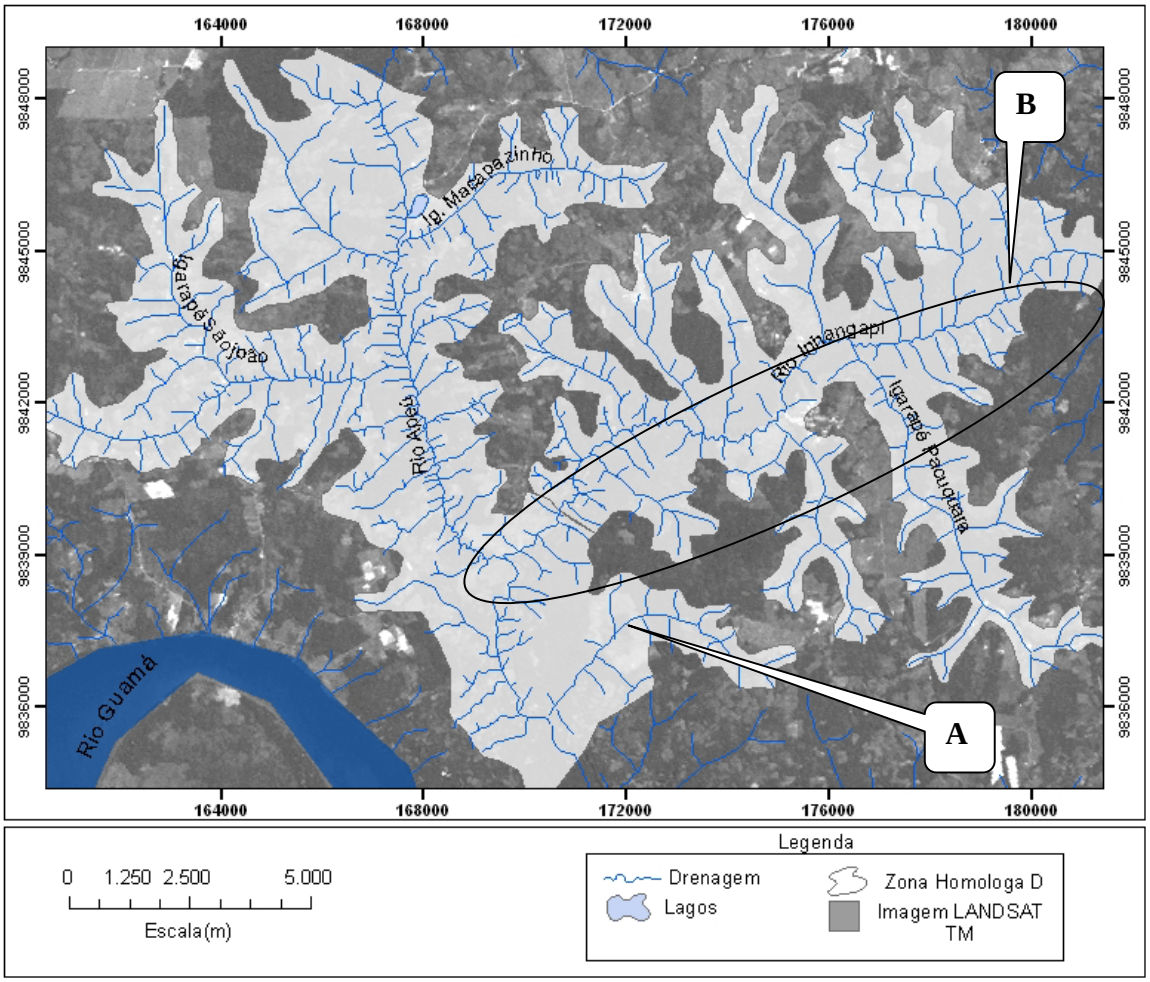


Figura 5.1.25: Mapa da zona homóloga D tendo como os rios principais o Apeú e Inhangapi. Formas anômalas como formas em arco (A) meandros (B).

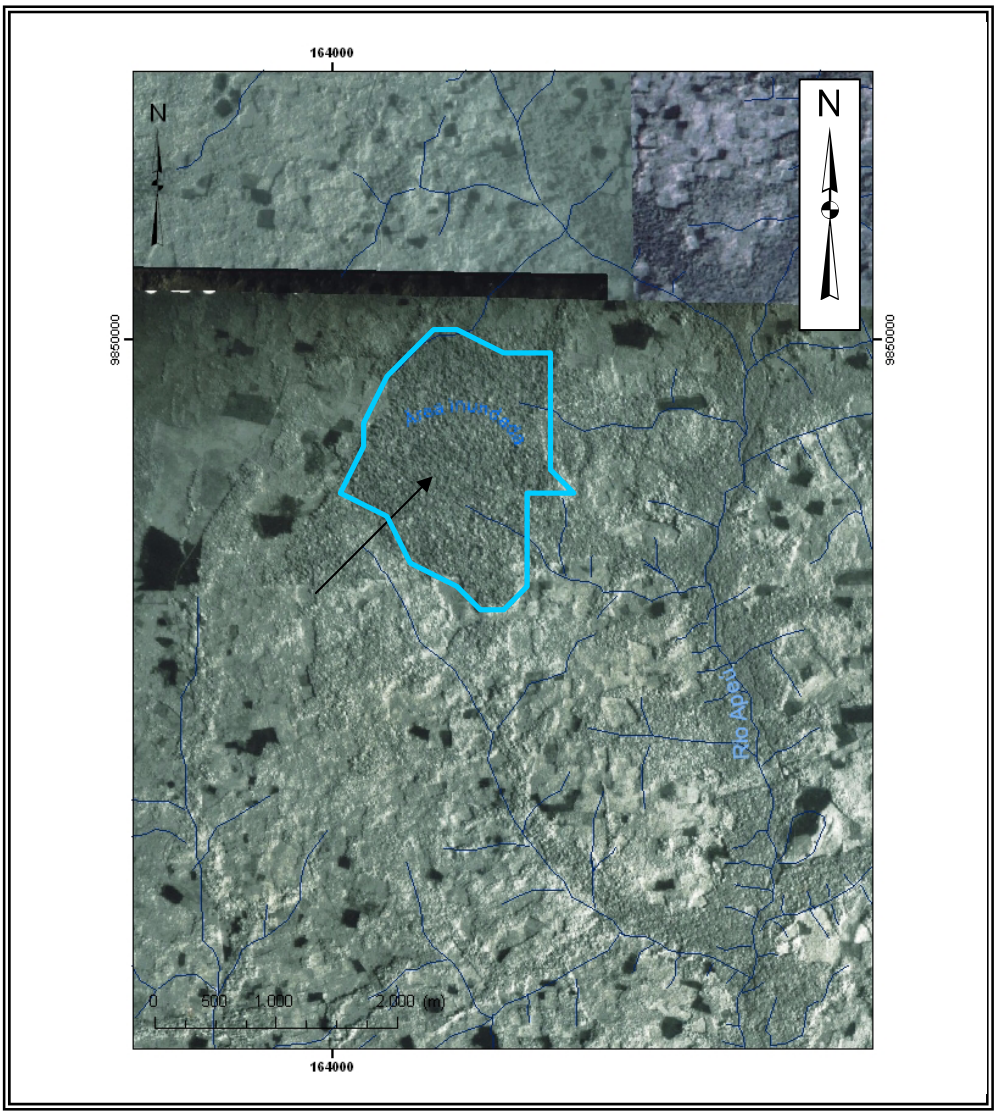


Figura 5.1.26: Fotografias aéreas mostrando uma área de inundação, que provavelmente sofreu basculamento

5.1.2.2 Análise das Lineações e dos Alinhamentos da Drenagem

A hierarquização da rede de drenagem baseada na metodologia de Strahler (1952) permitiu construir rosáceas de alinhamentos de drenagem de acordo com as ordens das mesmas (Figura 5.1.27).

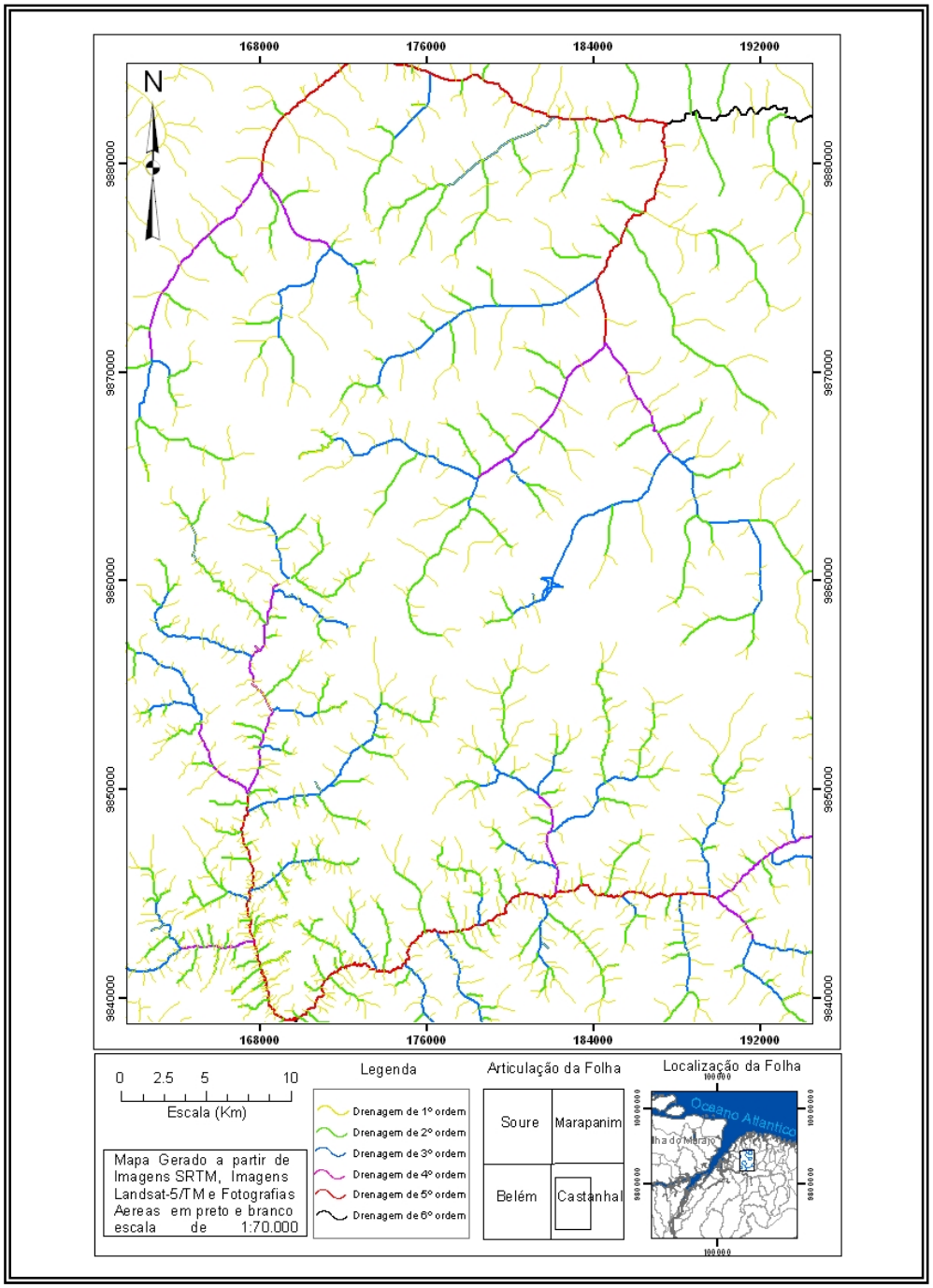


Figura 5.1.27: Mapa de Ordem de Drenagem Regional

A observação dos segmentos retilíneos de drenagem possibilitou a elaboração do mapa de alinhamentos de drenagem (Figura 5.1.28) que correspondem, provavelmente, a traços das estruturas neotectônicas, bem como rosáceas para cada ordem de drenagem (Figura 5.1.29). A 5.1.1 resume as principais direções de alinhamentos.

Tabela 5.1.1: Principais direções de alinhamentos de drenagem regional.

Alinhamentos	Direções	
	Principais	Secundárias
1º ordem (516 medidas)	N50º-60ºE	N0º-10ºE e N50º-60ºW.
2º ordem (193 medidas)	N50º-60ºE, N30º-40ºW, E-W e N0º-10ºE.	N20ºW e N50º-60ºW
3º ordem (90 medidas)	N20º-30ºE e 40º-50ºW	N50º-60ºE, N10ºW
4º ordem (34 medidas)	N20º-30ºE, N40º-50ºE e N0º-10ºW	N20º-40ºW
5º ordem (91 medidas)	E-W variando pra N80ºE	N10º-20ºW e N30º-40ºE

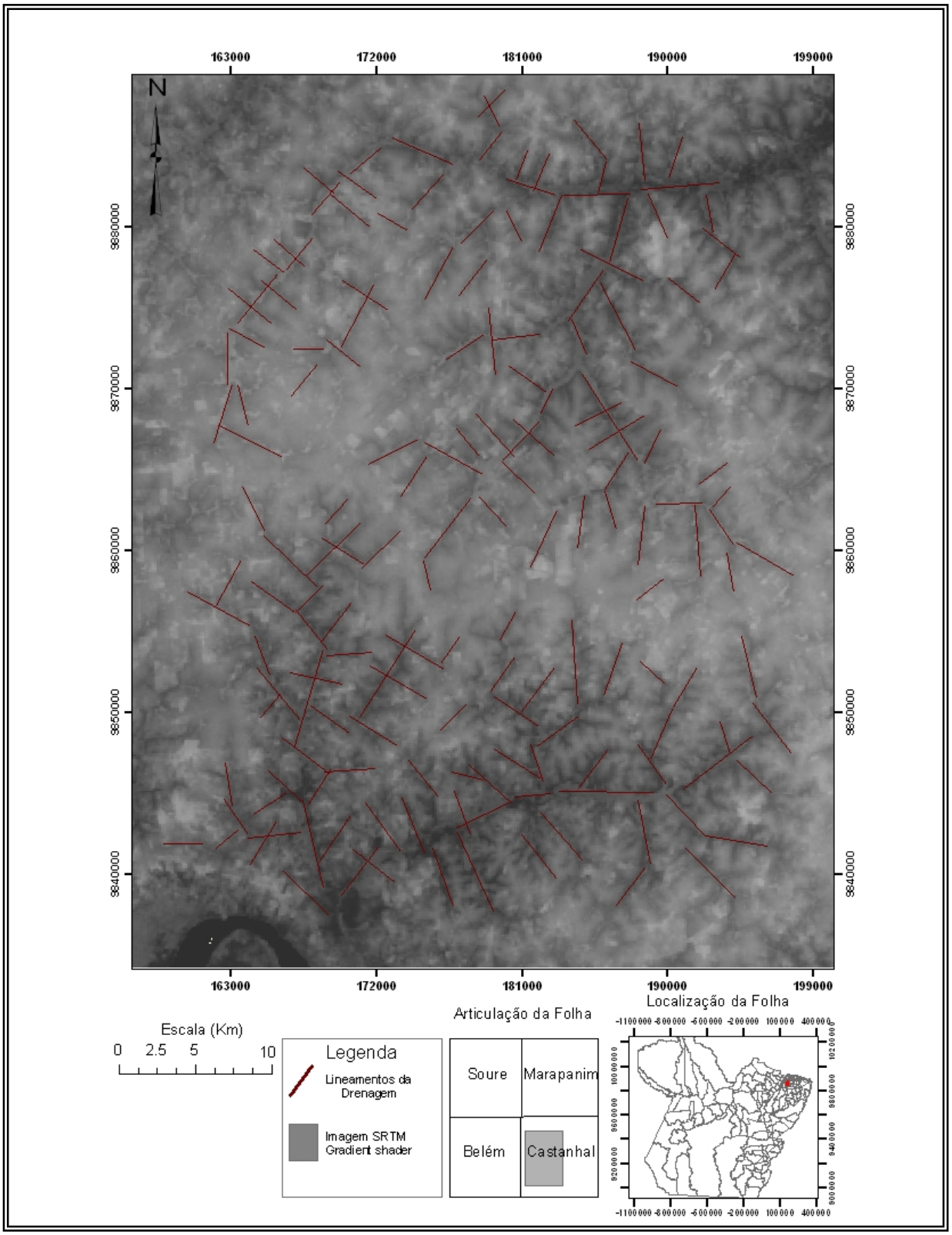


Figura 5.1.28: Mapa de alinhamentos da drenagem da área de estudo regional.

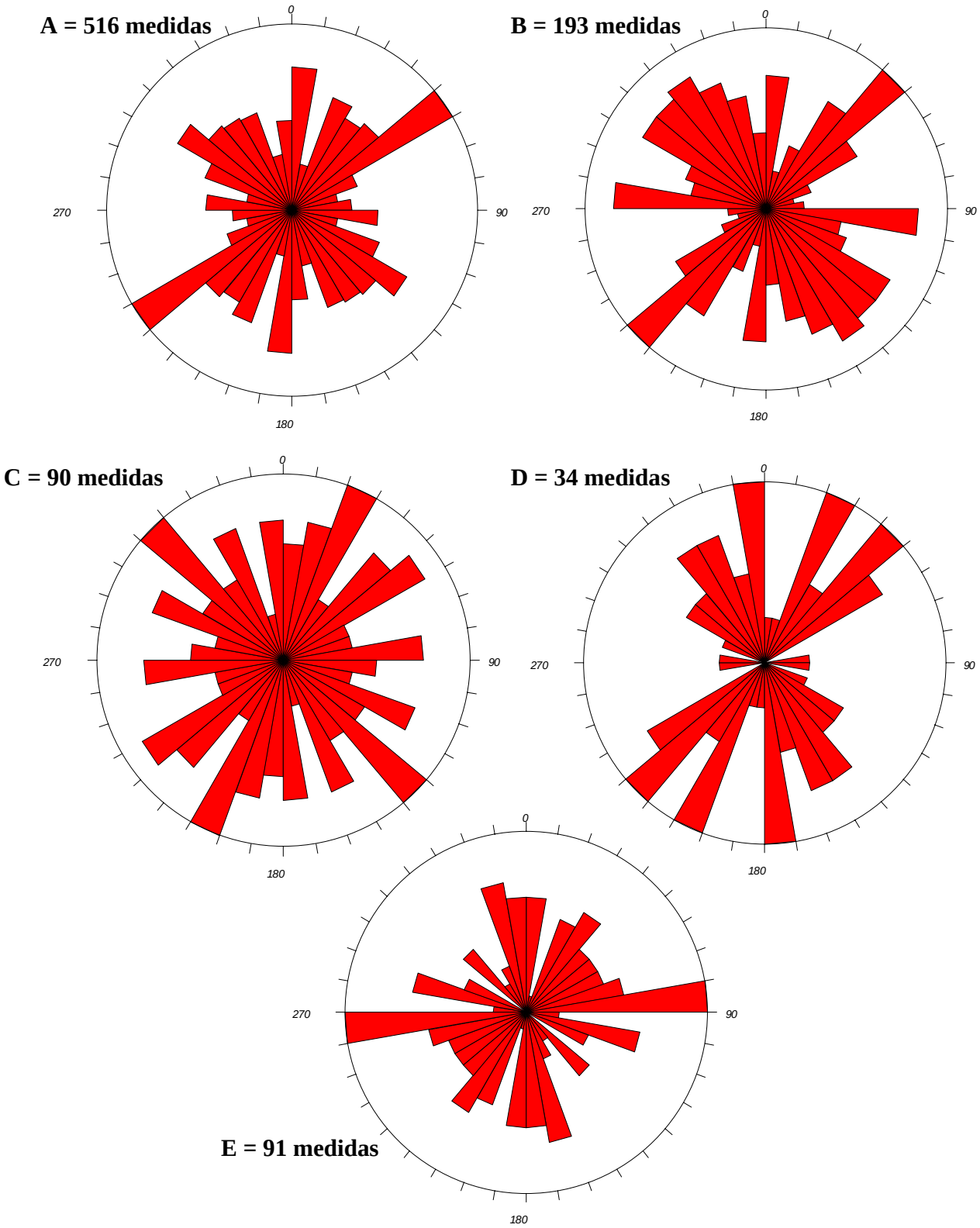


Figura 5.1.29: Rosáceas dos alinhamentos de 1º ordem (A) , 2º ordem (B) , 3º ordem (C), 4º ordem (D) e 5º ordem (E)

O tratamento integrado das medidas das duas sub-bacias mostrou que regionalmente os alinhamentos mais destacados orientam-se segundo oito direções principais: N0º-10ºW, N20º-30ºW, N40º-50ºW, N60º-70ºW, E-W, N30º-40ºE, N40º-50ºE e N60º-70ºE (Figura 5.1.30). Estas direções, quando plotadas em mapa, se interceptam definindo formas romboédricas.

Os lineamentos representam a orientação dos principais escoamentos de drenagem da área de Castanhal. À direção N30º-40ºE, que é uma das mais freqüentes, corresponde o Braço Esquerdo do Rio Marapanim e Igarapés Tracoá, Moura e Canará. À direção N40º-50ºW se relaciona ao Rio Marapanim, aos Igarapés Pau Amarelo, Diretoria, Santa Cruz e do Quatro, entre outros. À direção N60º-70ºE corresponde o principal alinhamento do Rio Inhangapi, o qual sofre inflexão para E-W. O rio Apeú tem direção N10º-20W com inflexão para NE.

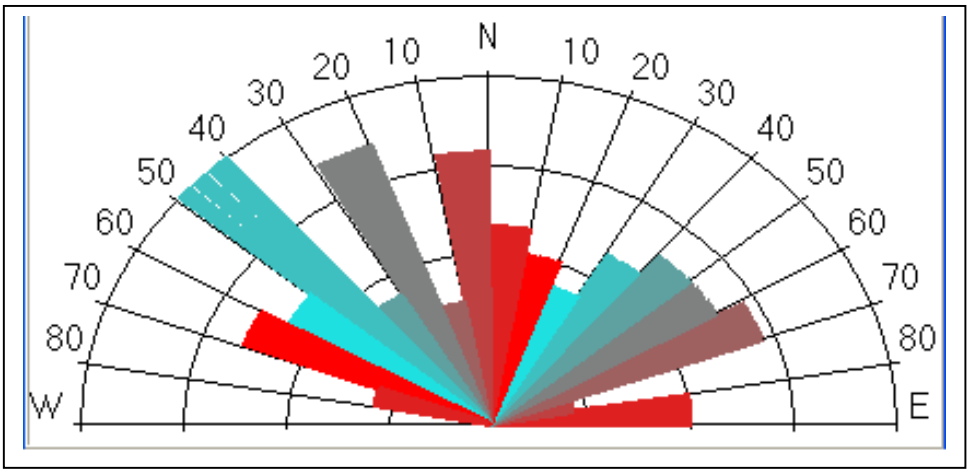


Figura 5.1.30: Rosácea composta por todos os alinhamentos de drenagem da área estudada.

5.1.3 **Análise Integrada**

A área de estudo está dentro de um quadro tectônico regional, onde os sismos não são tão freqüentes e nem tão intensos como em regiões de bordas de placas litosféricas, mas são representantes da atual dinâmica intraplaca e essenciais para estudos de neotectônica.

Berrocal *et al* (1984) fez um inventário dos sismos ocorridos até 1981, no qual estão registrados os sismos ocorridos no nordeste do Pará:

O primeiro registro foi um tremor de terra sentido pela primeira vez em Vigia, dia 12 de julho de 1860.

O segundo ocorreu em Belém no dia 07 de outubro de 1946, sentido em prédios residenciais e comerciais, com rápida oscilação de móveis e janelas.

O terceiro tremor de terra de considerável intensidade sentido em Belém, Ananindeua, Mosqueiro, Abaetetuba, Castanhal e Vigia (Figura 5.1.31), ocorreu no dia 12 de janeiro de 1970, com duração de 10 segundos e magnitude de 4,5º na escala Richter.

O quarto sismo, ocorreu no nordeste da ilha do Marajó a 02 de agosto de 1977, com magnitude de 4,8º na escala Richter.

O quinto, também no Marajó, no dia 18 de outubro de 1980 e magnitude de 3,1º na escala Richter.

O sexto sismo ocorreu na Lat 02,83ºS / Long 49,13ºW, nordeste do Pará, com magnitude de 2,8º na escala Richter, ocorrido no dia 14 de novembro de 1980. E ainda, um outro no dia 09 de fevereiro de 1981, com magnitude de 2,7º na escala Richter, também no nordeste do Pará (Lat 02,85ºS / Long 50,60ºW).

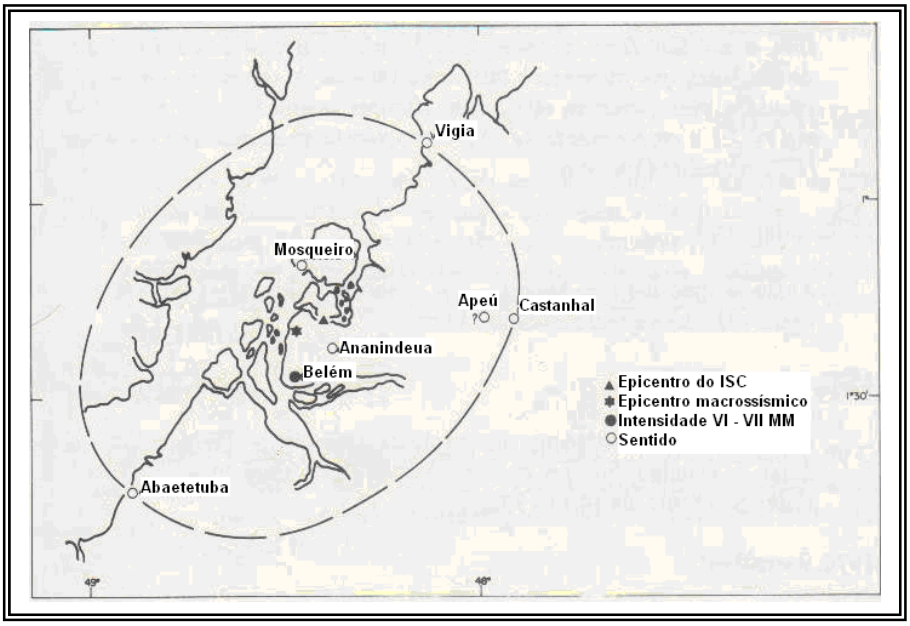


Figura 5.1.31: Sismo de 12 de janeiro de 1970 em Belém – PA (BERROCAL *et al.*, 1984).

Baseado nos dados históricos dos sismos ocorridos, pode se dizer que na área o quadro morfoestrutural é considerado morfotectônico, no qual alguns dados geométricos e cinemáticos foram observados e descritos a seguir.

5.1.3.1 Aspectos geométricos

A integração dos dados de relevo e de drenagem associados à geologia da área permitiu gerar um mapa morfoestrutural (Figura 5.1.33) que mostra:

- ✓ Três unidades morfológicas interceptadas por alinhamentos de direção: N0º-10ºW, N20º-30ºW, N40º-50ºW, N60º-70ºW, E-W, N30º-40ºE, N40º-50ºE e N60º-70ºE;
- ✓ Padrões retilíneos e assimetrias de drenagens, evidenciando um controle estrutural caracterizado por falhas normais, responsáveis por deslocamentos verticais de blocos. Estas falhas possuem duas direções preferências NE-SW e NW-SE.

Na porção noroeste da área (Figura 5.1.33) observa-se falhas de direção NE-SW, com mergulhos no sentido SE, indicando um abatimento de blocos no sentido SE. Na porção centro oeste observa-se falhas de direção NW-SE formando um *graben*. A sudeste as falhas de direção NE-SW possuem mergulhos no sentido SE.

5.1.3.2 Aspectos Cinemáticos

Na área foram observados indicadores de movimentação como: assimetria da drenagem (indicativos de movimentação vertical) e mudanças no padrão de drenagem. Trechos retilíneo que se tornam sinuosos com brusca mudança de orientação, o que pode significar uma falha ou um bloco abatido; anomalias em Z e S, controladas por deslocamentos de superfícies estruturais, que podem indicar movimentação de blocos.

A integração das informações dos aspectos geométricos e cinemáticos do relevo e da drenagem, pode associar esses elementos a um controle tectônico, que geralmente esta relacionada a modelos de deformações.

Nesse caso, o modelo utilizado para compatibilizar e explicar esses elementos estruturais geométricos foi o de *Riedel* (Figura 5.1.32) que trata da deformação rúptil não coaxial.

Verificou-se que a área tem suas estruturas compatibilizadas ao funcionamento de um binário dextral E-W, gerando dois planos principais com direção N60º-70ºW, com indicação de deslocamento dextral, o que pode ser comprovado pelas formas em “Z” nas drenagens nestas

direções e outro lineamento N10º-20ºW com indicação de movimento sinistral, comprovado pelas formas em "S" nas drenagens.

O rio Inhangapi nesse modelo estaria na direção de δ3, ou seja, é um lineamento correspondente a uma fratura fechada.

Os alinhamentos de direção N20º-40ºW, correspondentes aos Igarapés Pau Amarelo e Rodrigues, Maracanã, estariam encaixadas, segundo o modelo proposto nos planos distensivos. 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 aqüíferos rasos e profundos.

Esses dados do meio físico estão condizentes com o padrão regional apresentado por Costa et al. (1996), no qual mostram que a neotectônica do nordeste do Pará, onde esta inserida a área de estudo, é caracterizada por falhas normais com direção NW-SE, correspondente a transtensão vinculada à atuação de sistemas transcorrentes dextrais.

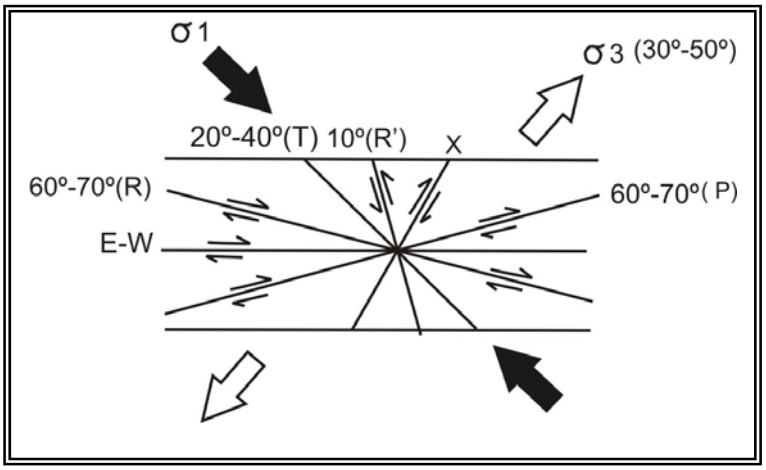


Figura 5.1.32: Diagrama de Riedel da área de estudo regional.

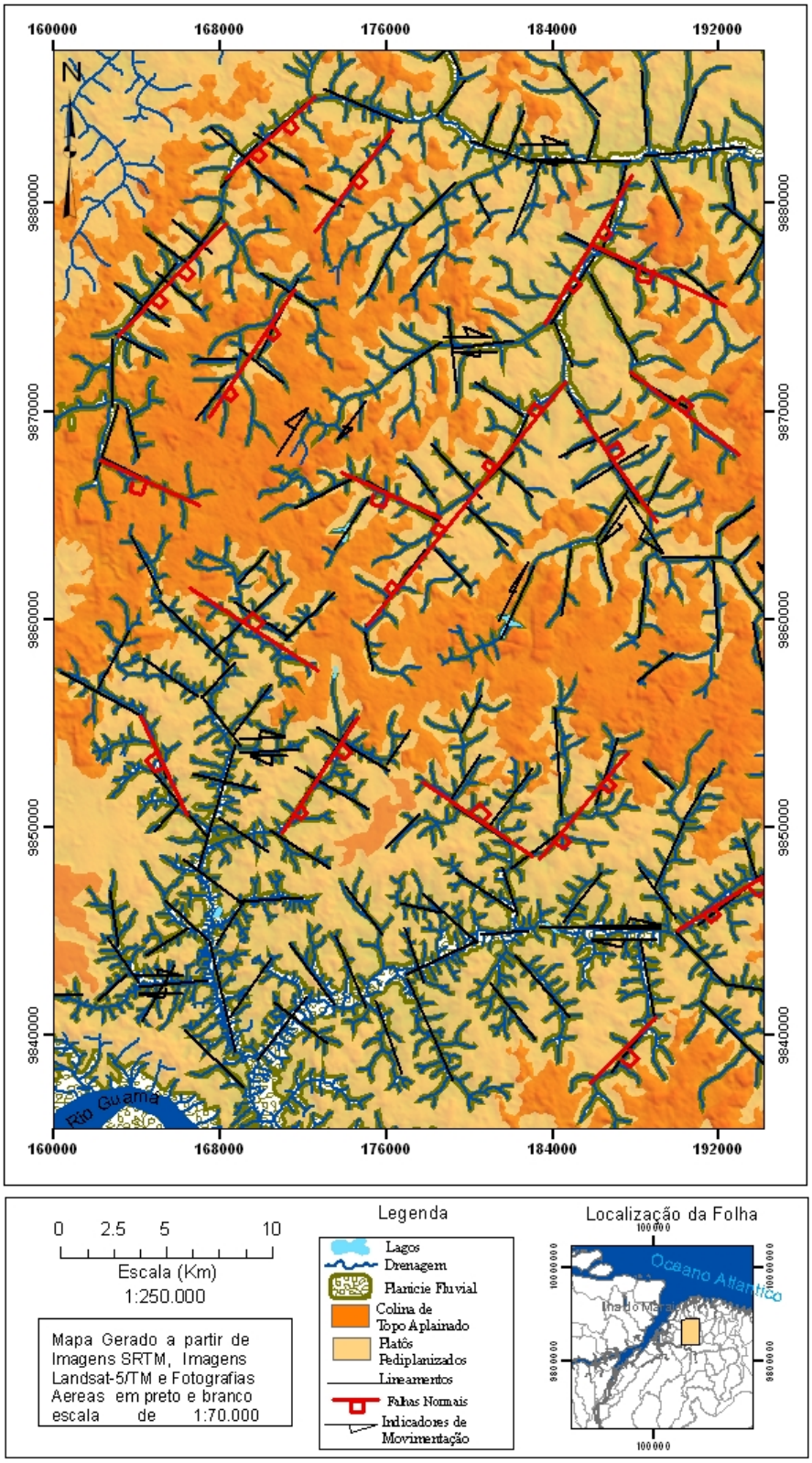


Figura 5.1.33: Mapa Morfoestrutural Regional mostrando as principais unidades de relevo condicionadas a um arranjo geométrico estruturado.

5.2 ANÁLISE EM ESCALA DE SEMIDETALHE

A análise em escala de semidetalhe do relevo e da drenagem da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO, permitiu estabelecer padrões e características especificas para essa área, tratados a seguir.

5.2.1 **Análise do Relevo**

O relevo foi analisado tanto no aspecto morfológico, quanto em termos de *landforms* tectônicos primários.

5.2.1.1 Unidades Morfológicas

O relevo da área é sustentado pelo Grupo Barreiras, com suas coberturas lateríticas, pelos sedimentos do Pós Barreiras, além dos sedimentos aluvionares.
Morfologicamente a área é composta por três unidades (Figura 5.2.1):

- ✓ Colinas de topos aplainados: recobrem a maior parte da área, apresentam cotas que variam entre 40 e 55m, estão caracterizados por um relevo aplainado com suaves ondulações, apresentam declividade variando entre 0º e 1,7º e vales fechados;
- ✓ Relevo colinoso pediplanizado: localizado na porção sudoeste e leste da área, são caracterizados por um relevo bastante ondulado, com cotas que variam entre 25 e 40m. Mostram declividade próxima a 1,7º (Figura 5.2.1);
- ✓ Planícies Fluviais: localizadas nas proximidades das drenagens, apresentam uma declividade que varia entre 3,4º e 12,5º (Figura 5.2.2).

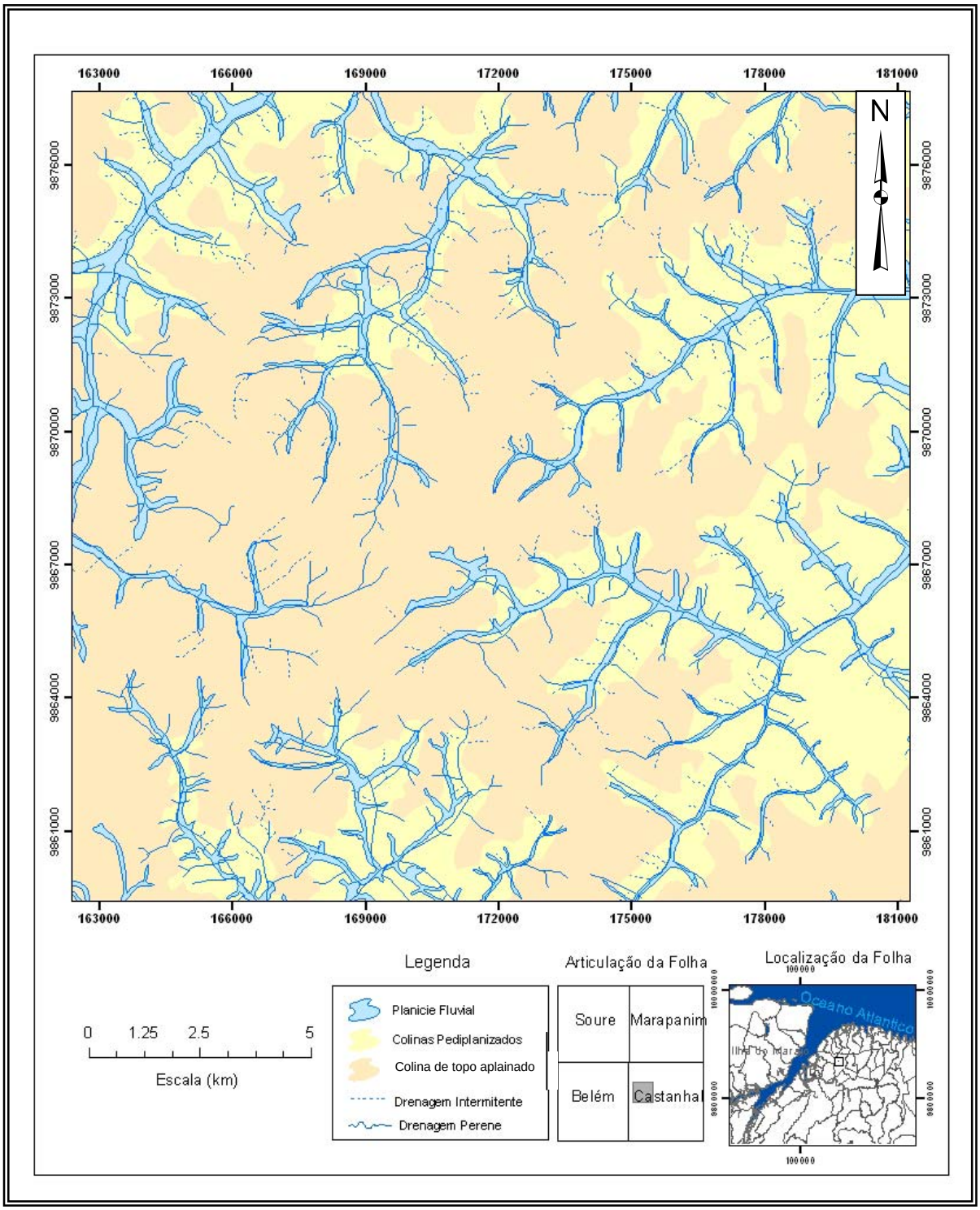


Figura 5.2.1: Mapa morfológico da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.

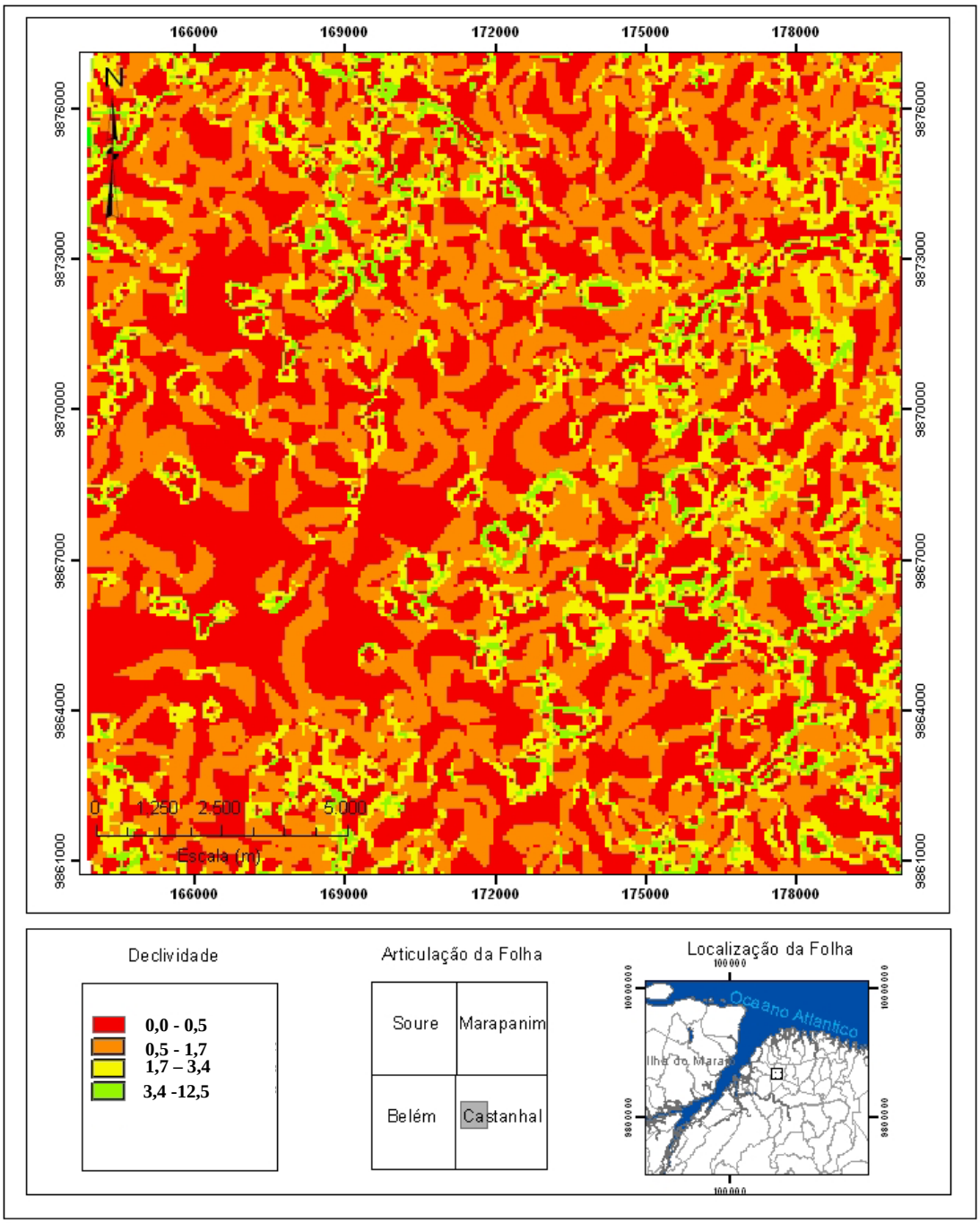


Figura 5.2.2: Mapa de declividade da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO. Mostram que as maiores declividades (verde) estão na mesma direção que as planícies fluviais e os principais alinhamentos de drenagem da área. Mapa Elaborado a partir de imagens SRTM e processamento no programa Arc Map 9.2.

5.2.1.2 *Landforms* Tectônicos

✓ *Landforms* Tectônicos Primários

Na área de estudo os *landforms* tectônicos primários mostram apenas as direções das escarpas de linha de falha com direções preferenciais: N40º - 50ºW, N50º - 60ºW, N40º - 50ºE e N50º - 60ºE, e algumas prováveis linhas de falha nas direções N-S e E-W (5.2.3 e 5.2.4).

As direções N50º - 60ºW e N40º- 50ºE são os alinhamentos de maior incidência na área de estudo e fazem ângulo de aproximadamente 90º, formando poliedros.

✓ *Landforms* Tectônicos Secundários

Os *landforms* tectônicos secundários (*hog-back, costões ou cuestas*) não foram observados na área, pois não havia afloramentos.

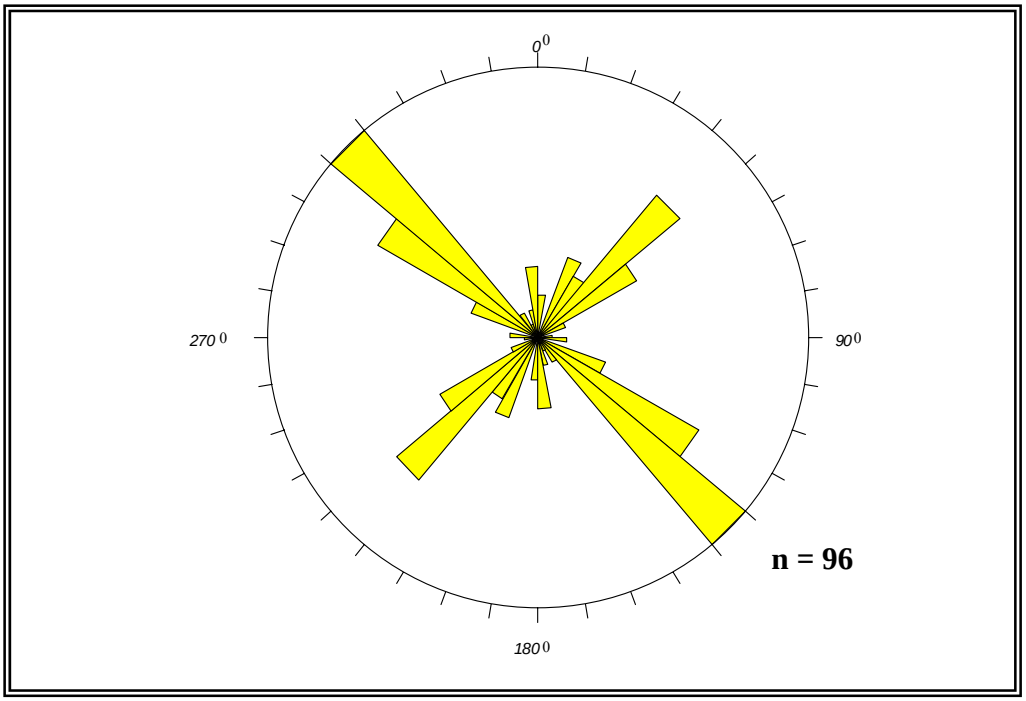


Figura 5.2.3: Rosácea dos alinhamentos do relevo da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO, onde se destacam duas direções principais N40º-50ºW e N40º-50ºE.

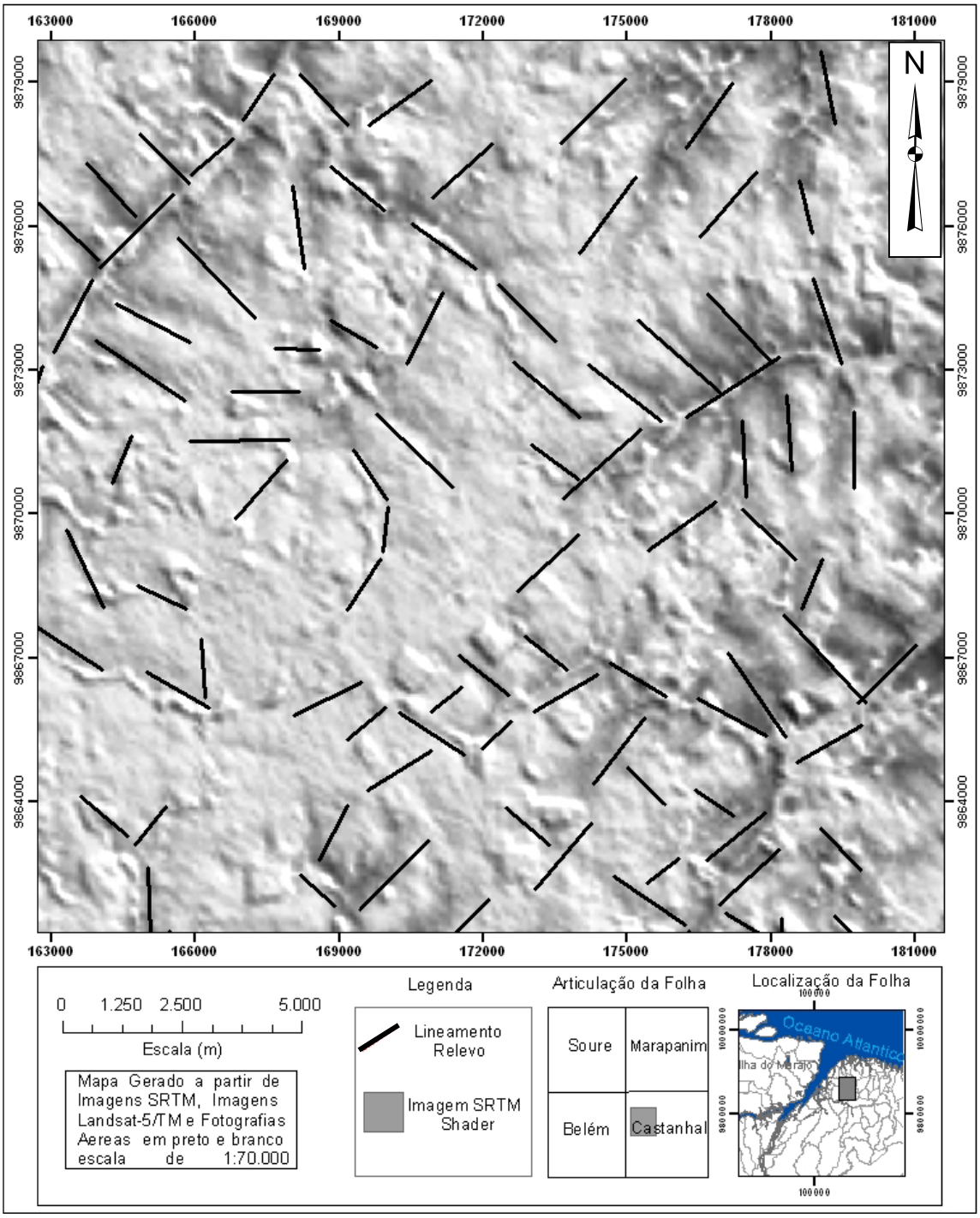


Figura 5.2.4: Mapa de alinhamentos do relevo da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.

Com base nas seções (Figura 5.2.5 a 5.2.9) pode se observar às unidades morfológicas e a quebra do relevo da área de Castanhal.

Figura 5.2.5: Seção 1- Perfil paralelo à porção norte do Braço Esquerdo do rio Marapanim e transversal às drenagens secundárias deste. Nesta seção pode ser observada a presença de colinas pediplanizadas.

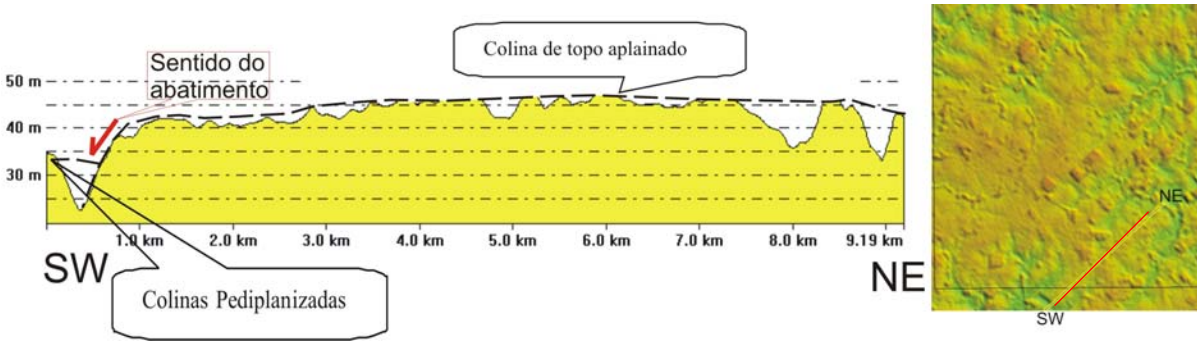


Figura 5.2.6: Seção 2 - Perfil mostrando as feições geomorfológicas: colinas de topo aplainado e colinas pediplanizadas. Observa-se, também, abatimento de blocos no sentido SW.

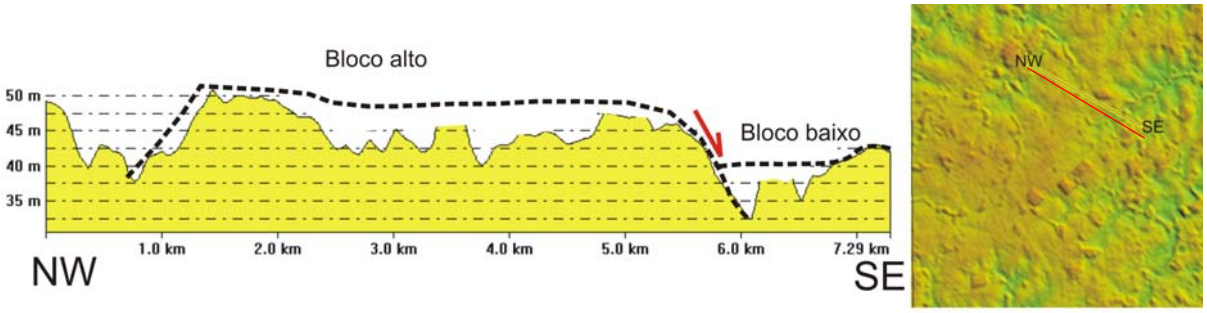


Figura 5.2.7: Seção 3 - Perfil mostrando as quebras de relevo e o abatimento de blocos pra SE.

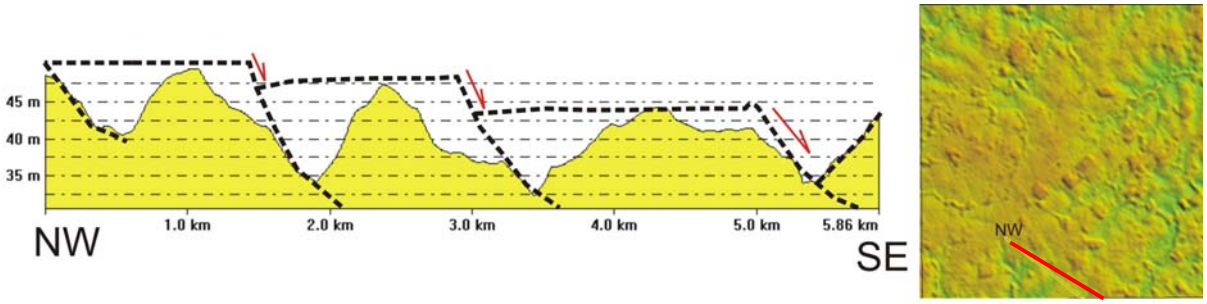


Figura 5.2.8: Seção 4 – Perfil ao sudeste da área, atravessando prováveis blocos, abatidos no sentido SE.

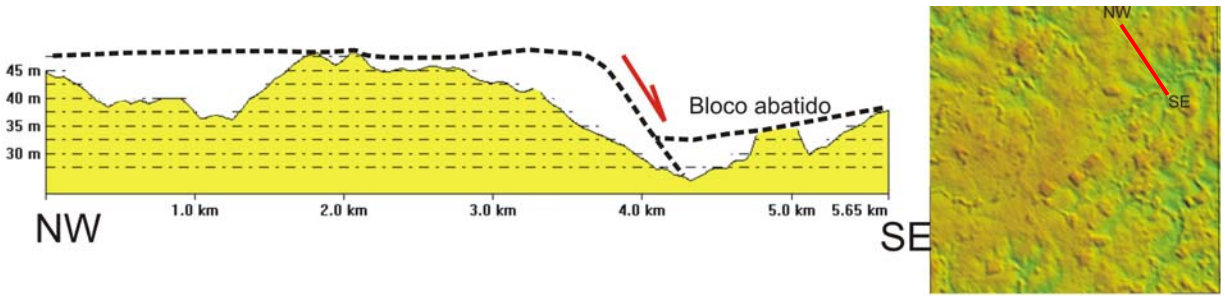


Figura 5.2.9: Seção 5 – Exibindo abatimento de bloco no sentido SE.

5.2.2 **Análise da Drenagem**

A drenagem foi analisada conforme seus padrões e a alinhamentos

5.2.2.1 Caracterização da Drenagem

No geral, a área apresenta padrão de drenagem treliça direcional a retangular, com as drenagens principais na direção NE-SW e os tributários transversais com direção NW-SE, com confluências que apresentam ângulos que variam entre 60º e 90º.

A densidade de drenagem é média, a sinuosidade mista, a angularidade média e a tropia preferencial bidirecional com direção preferencial NE-SW e NW-SE, sendo que algumas drenagens apresentam direção N-S e E-W. Anomalias com formas em arco e em cotovelo podem ser observadas (Figura 5.2.10).

A assimetria de drenagem é forte e pode ser observada na figura 5.2.10, onde percebe-se que no Braço esquerdo do Marapanim, no Igarapé do Curió e Igarapé Defunto a drenagem do lado esquerdo é mais longa que do lado direito, indicando provavelmente um abatimento de blocos no sentido SE. O Igarapé Moura também é assimétrico porém a drenagem do lado direito é mais longa do que o esquerdo evidenciando um abatimento para NW. O Igarapé Diretoria apresenta a

drenagem ao sudoeste mais longa do que o lado nordeste indicando provavelmente um abatimento para sudoeste.

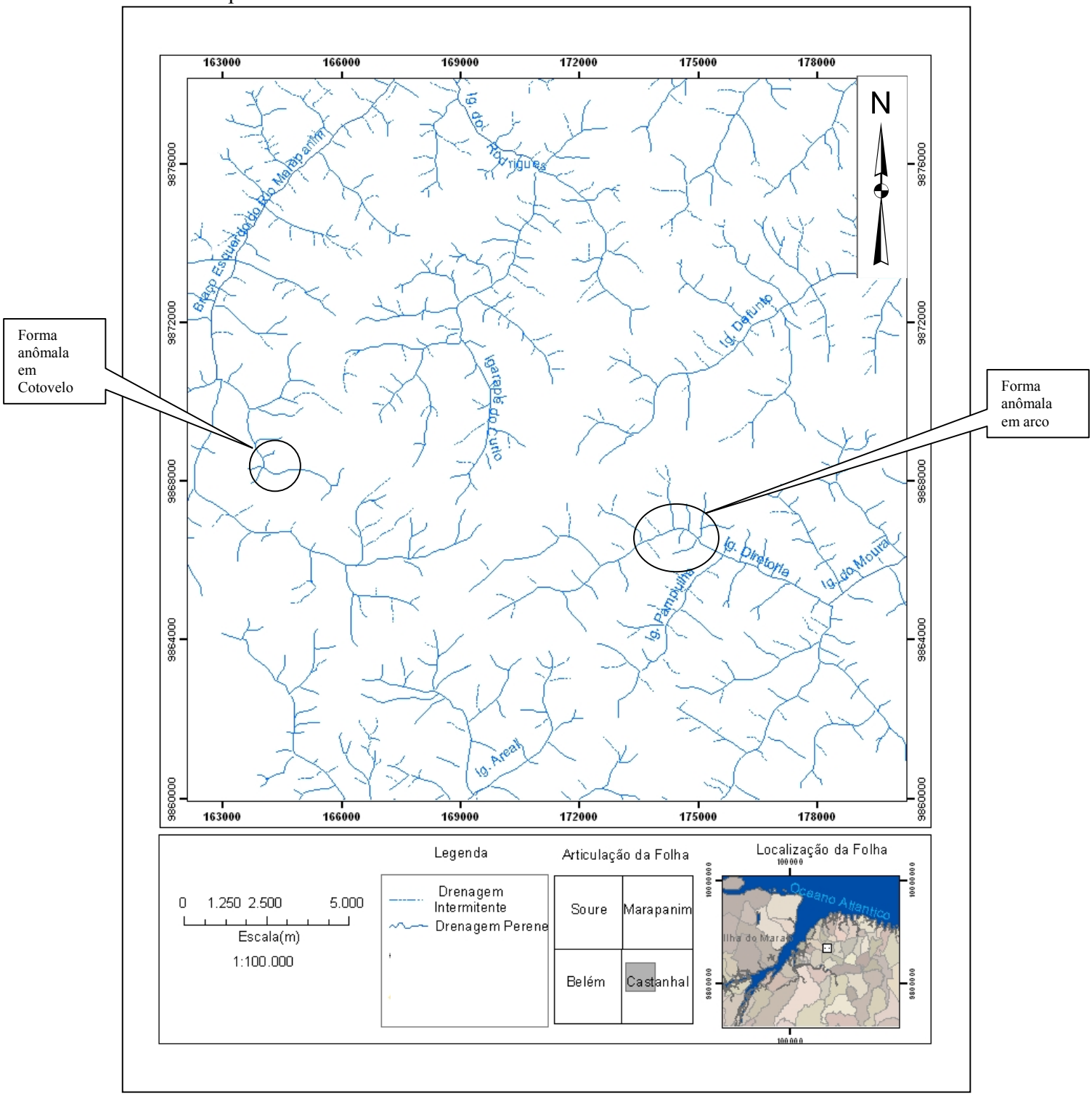


Figura 5.2.10: Mapa de drenagem da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO, mostrando uma forte assimetria de drenagem, formas anômalas e um padrão retangular

5.2.2.2 Análise das Lineações e dos Alinhamentos da Drenagem

Com base na hierarquização da rede de drenagem (Figura 5.2.11) foi possível gerar rosáceas para os alinhamentos de drenagem de acordo com as ordens da mesma, pois as drenagens mais novas, como as de 1º , 2º e 3º ordem, tendem a se ajustar mais rapidamente à estruturação provocada por movimentação tectônica.

De acordo com as figuras 5.2.13 - A, B, C e D, percebe-se que os alinhamentos de primeira ordem, considerados os mais recentes, tem direção preferencial NE-SW e NW – SE; os alinhamentos de segunda ordem N - S e NW – SE; os de terceira ordem NW – SE; e os de quarta ordem NE - SW.

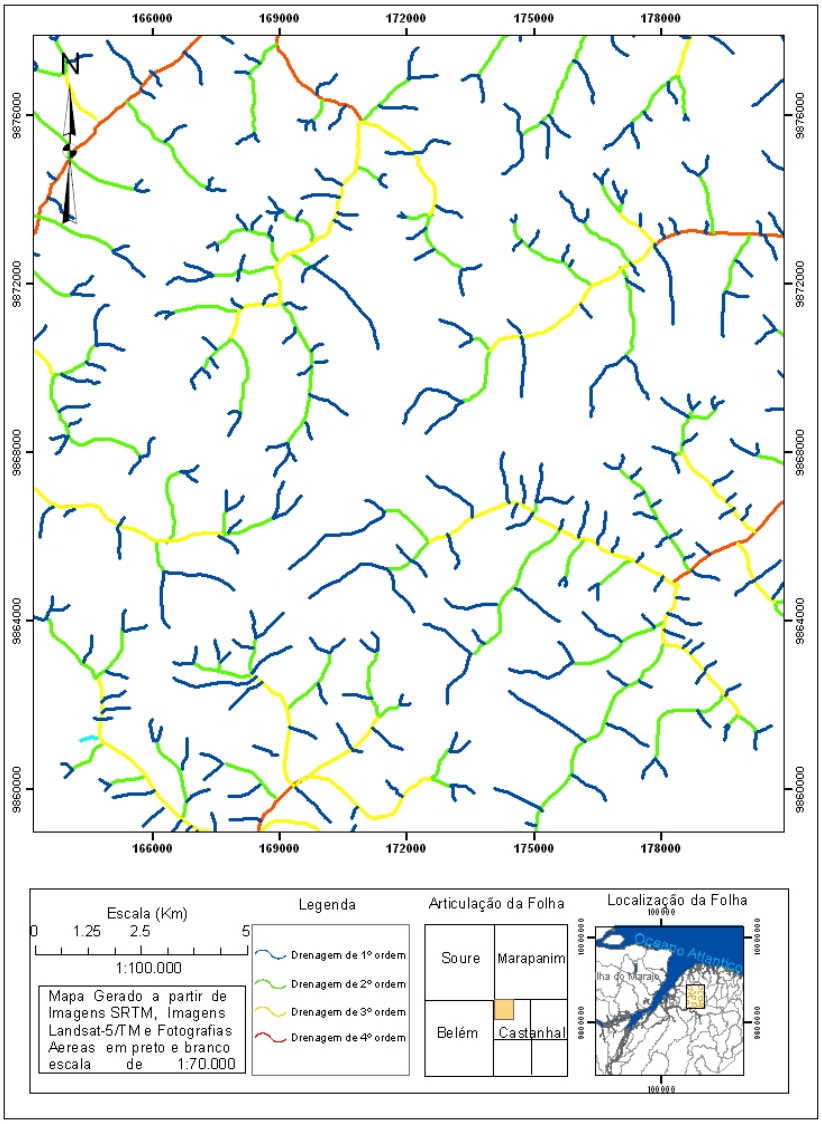


Figura 5.2.11: Mapa de ordem de drenagem (Folha SA-23 – V - C - I -1-SO).

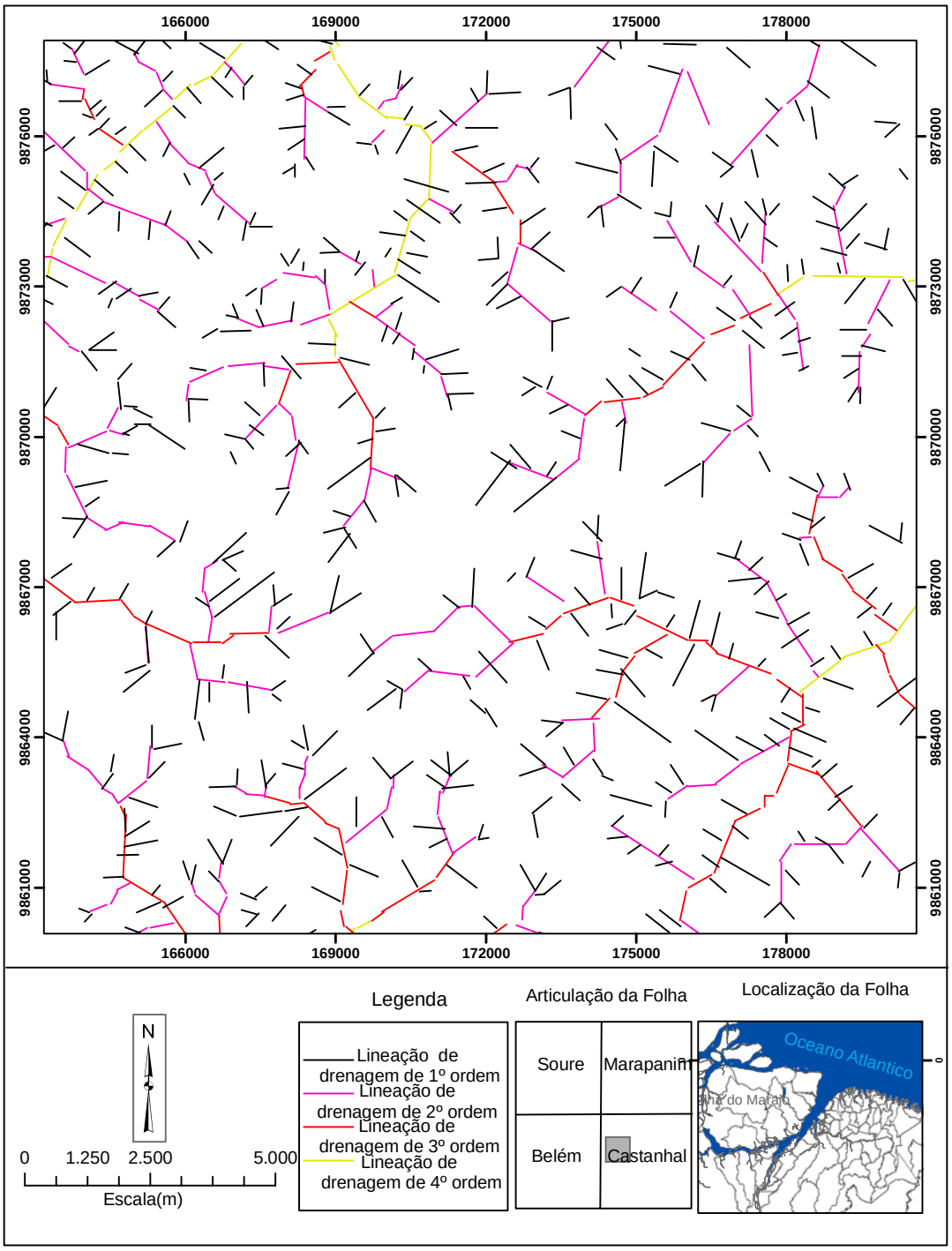


Figura 5.2.12: Mapa de lineações de drenagem da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO, elaborado a partir do mapa das ordens de drenagem. Mostrando que os alinhamentos de quarta ordem tem direção preferencial NE-SW, os de terceira NW-SE, os de segunda N-S e os de primeira NW-SE e NE-SW.

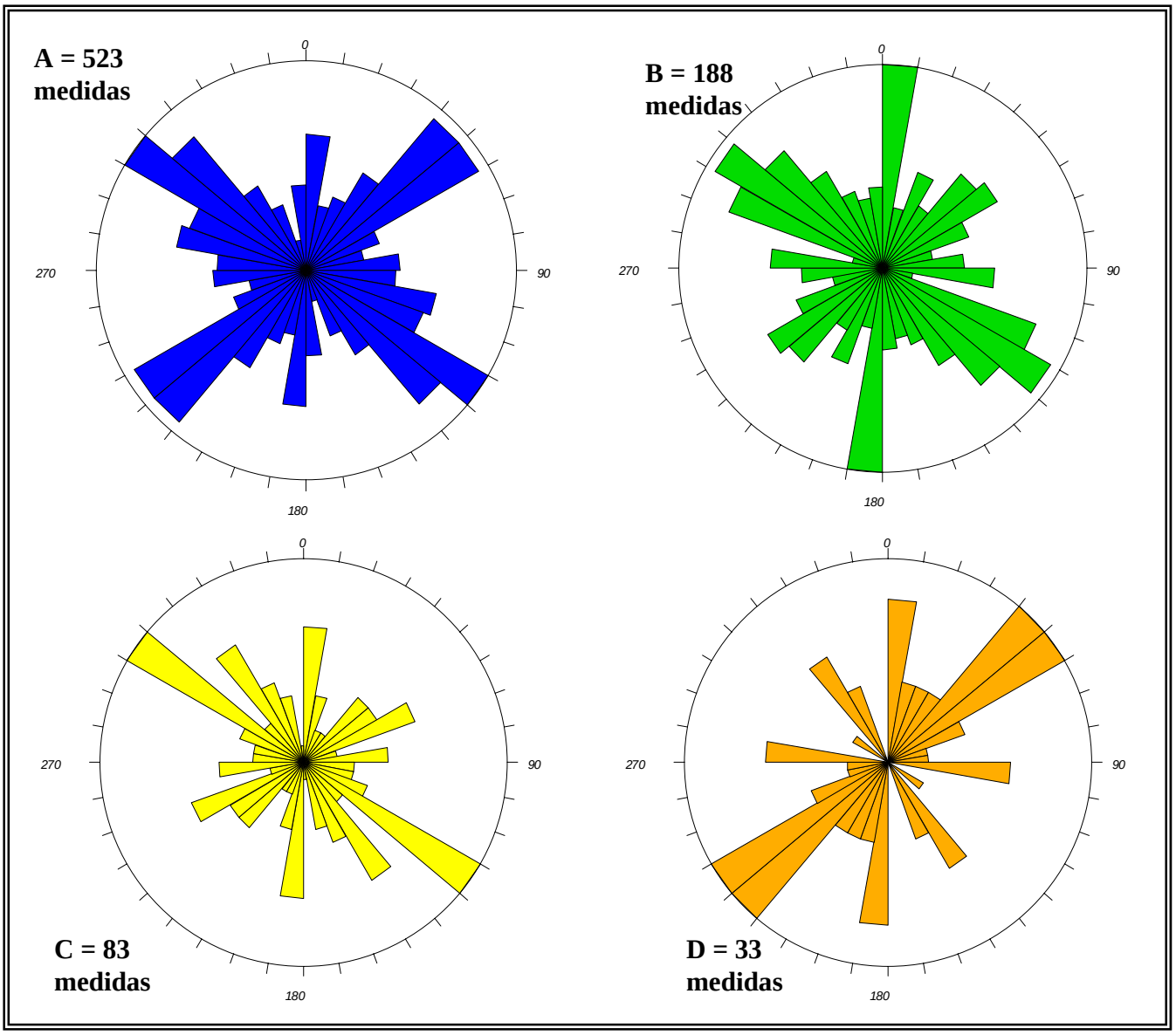


Figura: 5.2.13: Rosácea das lineações de drenagem 1º ordem (A) 2º ordem (B) , 3º ordem (C) e 4º ordem (D) das drenagens.

5.2.3 **Análise Integrada**

O estudo morfoestrutural mostrou que a drenagem apresenta padrões como treliça, retangular e paralelo, anomalias como retilinearidade, aparecimento abrupto e localizado de meandros, assimetrias distintas relacionadas ao comprimento dos seus afluentes, que comprovam o abatimento de blocos, estreitamento anômalo de vales ou canais, curvas anômalas e um relevo alinhado segundo duas direções principais: N50º-60ºW e N40º-50ºE.

Estas evidências reforçam a idéia de que a área em questão está sobre um controle estrutural, no qual foi possível adotar a metodologia proposta por Costa (2004), que se baseia nos padrões da drenagem e do relevo para esboçar um arranjo geométrico bidimensional.

Portanto, foi gerado um mapa morfoestrutural onde se destacam três unidades morfológicas, seccionadas por alinhamentos de drenagens e de relevo com direções NW- SE, NE-SW, N-S, E-W, que formam polígonos, na sua grande maioria retangulares (Figura 5.2.14).

Os alinhamentos maiores, de direção NE-SW, seccionados por alinhamentos menores de direção NW-SE, definiram 16 blocos com arestas maiores variando entre 5 e 8Km e as menores variam entre 3 e 7 km. Estes blocos foram abatidos em quatro sentidos principais NE, SW, NW, SE, descritos a seguir:

- ✓ O bloco 2, localizado na porção noroeste do mapa morfoestrutural (Figura 5.2.14), apresenta dimensões de aresta maior em torno de 7 km e a menor em torno de 6Km, direção principal NE-SW e abatimento em relação ao bloco 1 no sentido SE;
- ✓ O bloco 4, localizado a nordeste da figura 5.2.14 apresenta aresta maior com valor de 7,5 km e a menor em torno de 5 km, direção principal NW-SE e abatimento em relação ao bloco 7 no sentido NE;
- ✓ O bloco 7, localizado na porção central da figura 5.2.14, apresenta dimensões de aresta maior em torno de 7 km e a menor em torno de 5,5 km, direção principal NE-SW. É caracterizado como um *horst* , por ser um bloco alto, limitado por falhas normais.
- ✓ O bloco 8, localizado na porção leste da figura 5.2.14, apresenta dimensões de aresta maior em torno de 8 km e a menor em torno de 6,5 Km e direção principal NE-SW. Foi abatido no sentido SE em relação ao bloco 7 e no sentido NW em relação ao bloco 12, caracterizando um *graben*.
- ✓ O bloco 10 localizado no centro da área e o bloco 11 localizado na porção sudeste da figura 5.2.14 apresentam direção NW – SE e mostram abatimento no sentido SW.

As seções do relevo associadas aos perfis geofísicos, mostram que este mosaico bidimensional está associado também a uma terceira dimensão, configurado pela propagação em sub-superfície de descontinuidades estruturais, definindo, portanto, um conjunto de blocos tectônicos que foram abatidos e provocaram rejeitos verticais.

A análise integrada da drenagem e do relevo, relacionadas às informações geológicas do terreno e dos perfis geofísicos, mostrou que a área de estudo em escala de semi-detalhe 1:25.000, assim como a de estudo regional 1:100.000 enquadram-se no contexto regional descrito por Costa *et al.* (1996), ou seja, estão inseridas num contexto estrutural neotectônico, onde as direções NW-SE seriam as mais distensivas.

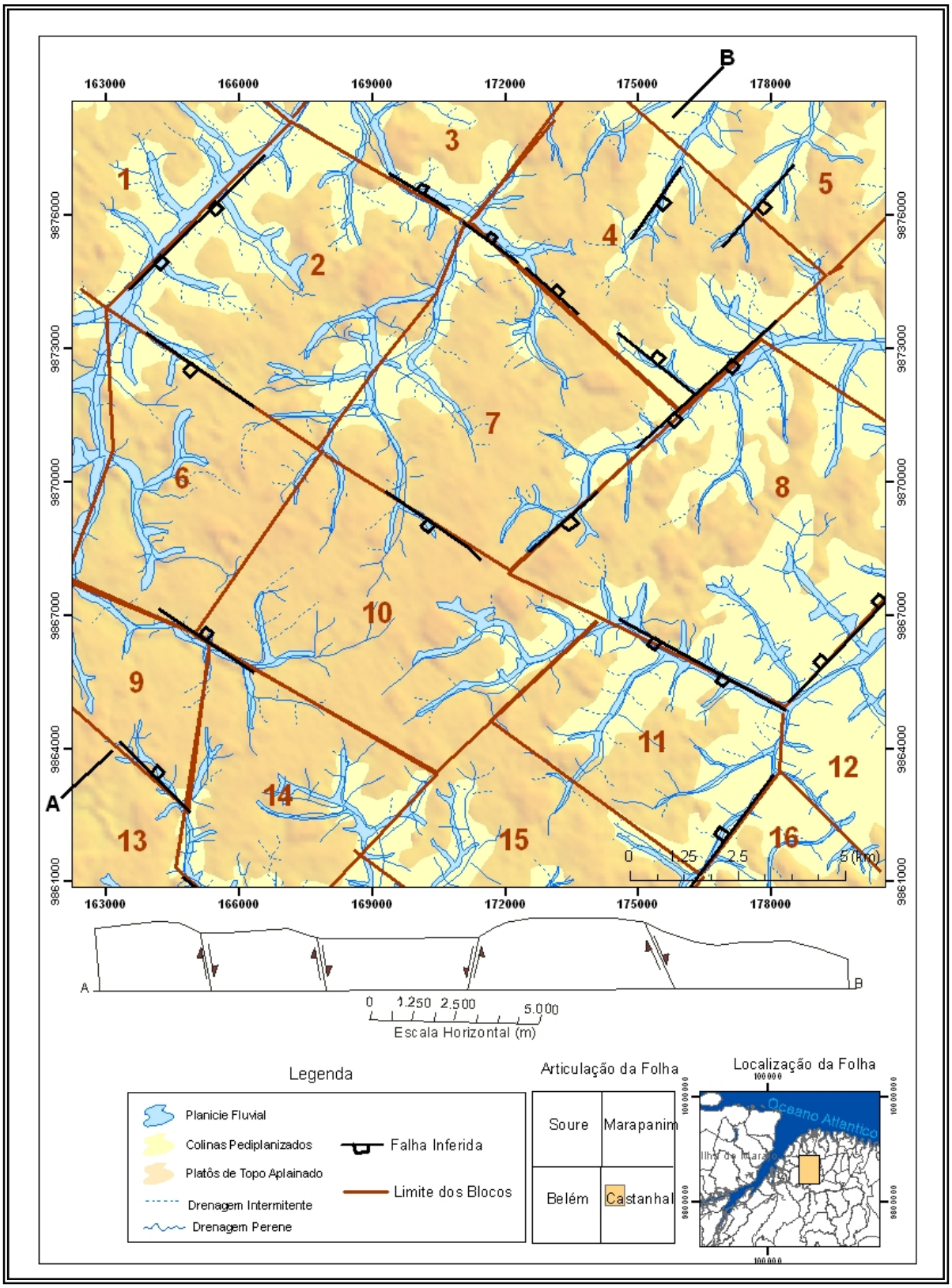


Figura 5.2.14: Mapa morfoestrutural da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO, mostrando a relação entre morfologia e os 16 blocos estruturais

6 HIDROGEOLOGIA

A caracterização hidrogeológica enfatizará a recarga dos sistemas hidrogeológicos que ocorrem na Folha SA-23 – V - C - I -1-SO, tendo como base estudos geométricos dos mesmos e dados do comportamento do fluxo subterrâneo do sistema hidrogeológico livre.

6.1 GEOMETRIA DOS SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS

Com base no quadro estrutural da área de estudo pode-se avançar sobre o entendimento da geometria dos aqüíferos. Como mencionado no capítulo anterior, o arranjo espacial dos pacotes sedimentares foi modificado pela atuação neotectônica, refletindo-se em mudanças no caimento das camadas que agora se encontram em posições diferentes daquelas que tinham quando da sua deposição. Essas mudanças influem sobre as características dos aqüíferos quanto a continuidade lateral, fluxo, recarga , vazão, etc.

Para definir a geometria dos sistemas hidrogeológicos da área foi realizado um levantamento geofísico utilizando o método geoelétrico de eletroresistividade, mais especificamente sondagens elétricas verticais – SEV. Para um melhor entendimento dos aspectos geológicos da área, essas SEVs foram correlacionadas aos perfis de poços próximos a estas.

6.1.1 **Sondagem Elétrica Vertical**

Com base em oito sondagens elétricas verticais, posionadas perpendicurlamente aos principais alinhamentos de drenagem (Figura 6.1.1), foi possível avançar no entendimento da disposição das camadas litológicas em sub-superfície, definindo profundidade do topo das mesmas, bem como suas espessuras.

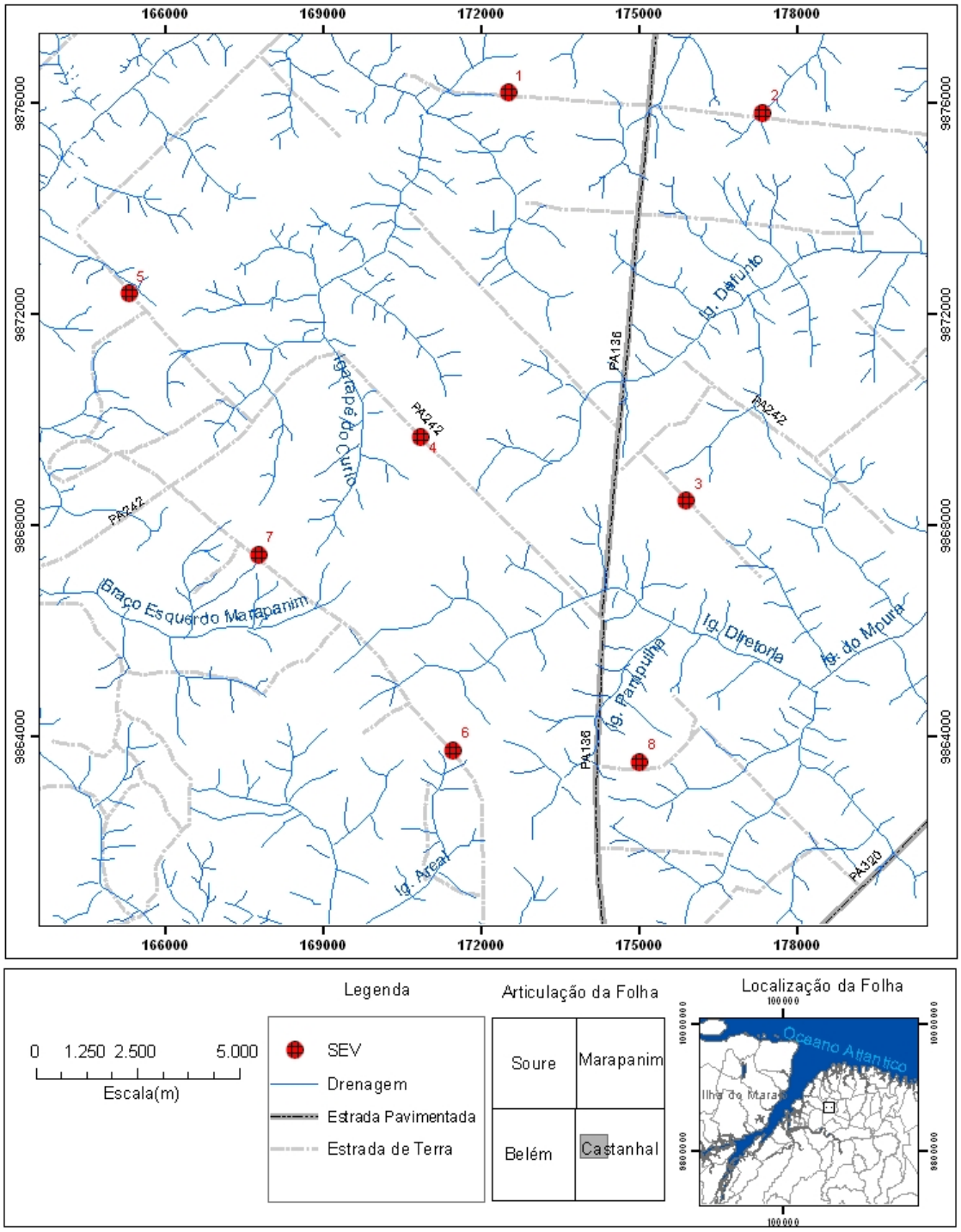


Figura 6.1.1: Mapa de localização das Sondagens Elétricas Verticais (SEVs).

✓ Sondagem Elétrica Vertical Nº1 (SEV1)

Com a interpretação da curva de campo (Figura 6.1.2), foi gerado uma curva calculada (6.1.3) que auxiliada pela geologia de superficie e perfis de poços próximos as SEVs mostram que a SEV 1 inicia-se com uma resistividade de 1090 Ohm e tende a um aumento chegando no máximo de 6049 ohm. Na profundidade entre 1,02m e 3,4m a resistividade tende a um ligeiro rebaixamento que atinge 4100 ohm, indicando provavelmente um solo argilo - arenoso. A partir de 3,50m a resistividade atinge 2150 Ohm, indicando provavelmente o nível da água do aqüífero livre da área (compatível com os dados de nível da água do aqüífero livre). A resistividade aumenta a partir de 11m e permanece relativamente alta até 17m (2500 Ohm). Com 23m começa a baixar e aos 33m atinge seu menor valor 159 ohm, permanecendo baixa até 72m, indicando uma provável camada argilosa com camadas de silte. Dos 72m de profundidade a resistividade aumenta novamente indicando provavelmente uma camada areno – argilosa. Aos 105m de profundidade a resistividade é de 3700 Ohm.

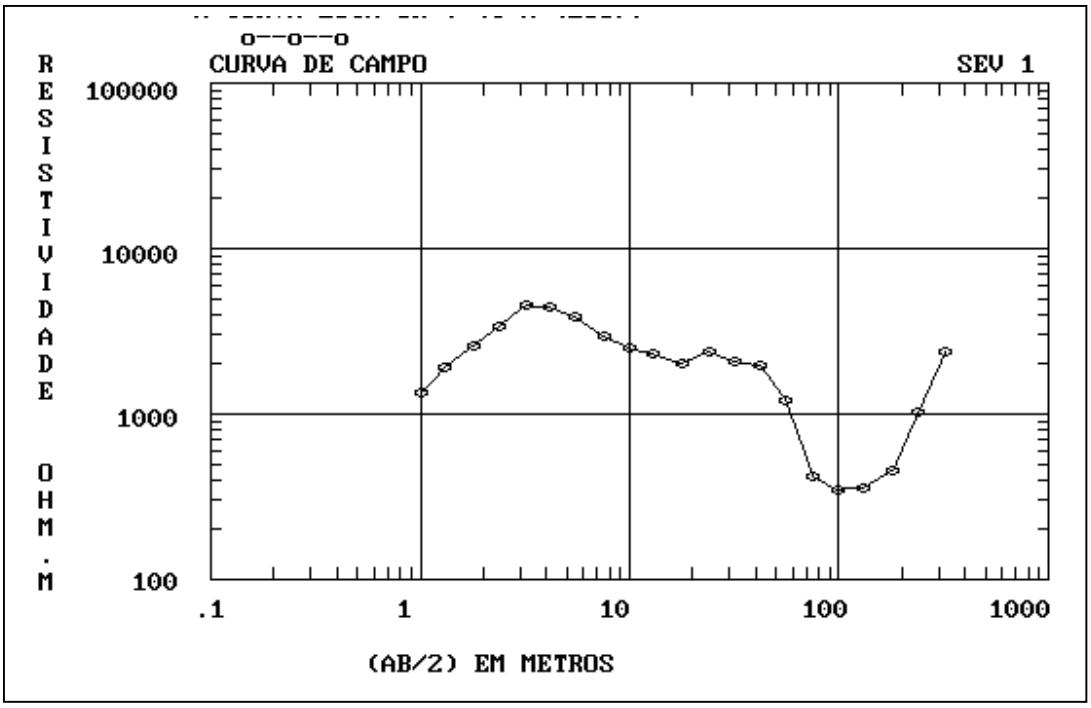


Figura 6.1.2: Curva de Campo mostrando a resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV1.

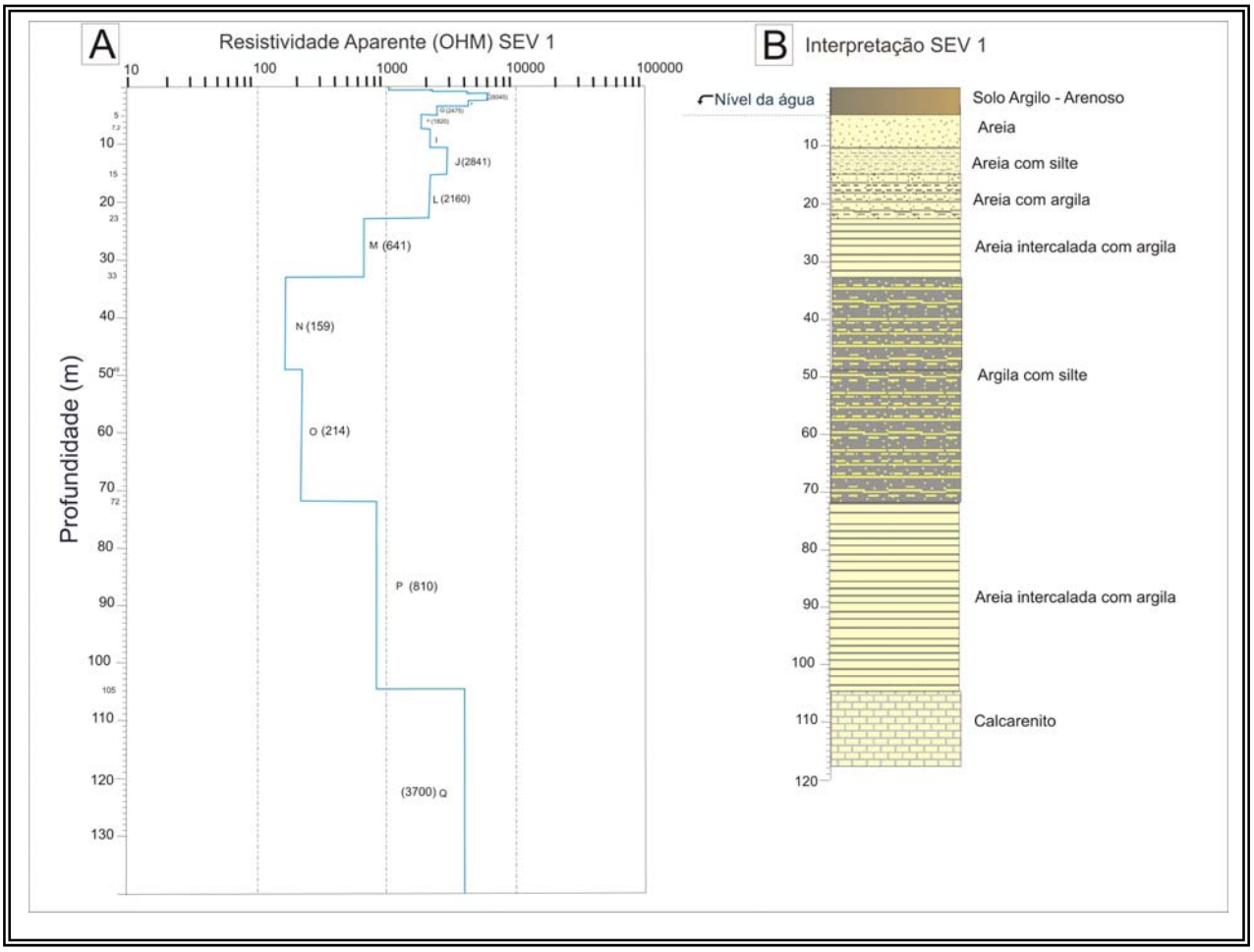


Figura 6.1.3: (A) Curva calculada mostrando a resistividade aparente e a profundidade em metros; (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº1.

✓ Sondagem Elétrica Vertical Nº2 (SEV2)

Mostra a resistividade variando entre 550 e 13700 Ohm, o que configura uma forte variação (Figura 6.1.4).

Com os dados da curva calculada (Figura 6.1.5), pode-se indicar que até 5m de profundidade ocorre um solo areno - argiloso, condizente com uma resistividade de 5216 Ohm. A partir de 4,5m a resistividade atinge 1700 Ohm indicando provavelmente o nível da água do aqüífero livre da área . A resistividade começa a aumentar a partir de 9,5m e permanece relativamente alta até 30m, com variação entre 6800 e 8650 Ohm, indicando possivelmente a ocorrência de camada arenosa com intercalações de camadas lateríticas e lentes de silte e argila. Dos 30m aos 45m de profundidade encontra-se uma camada arenosa intercalada com silte. Dos 45m aos 65m a resistividade apresenta uma queda, chegando ao valor de 710 Ohm, indicando provavelmente uma camada areno - argilosa. Aos 65m a resistividade decresce ainda mais até o valor de 550 Ohm, indicando o topo de uma camada argilo - arenosa. Aos 95m aumenta novamente para 2930 Ohm, caracterizando provavelmente o topo de uma camada areno – argilosa.

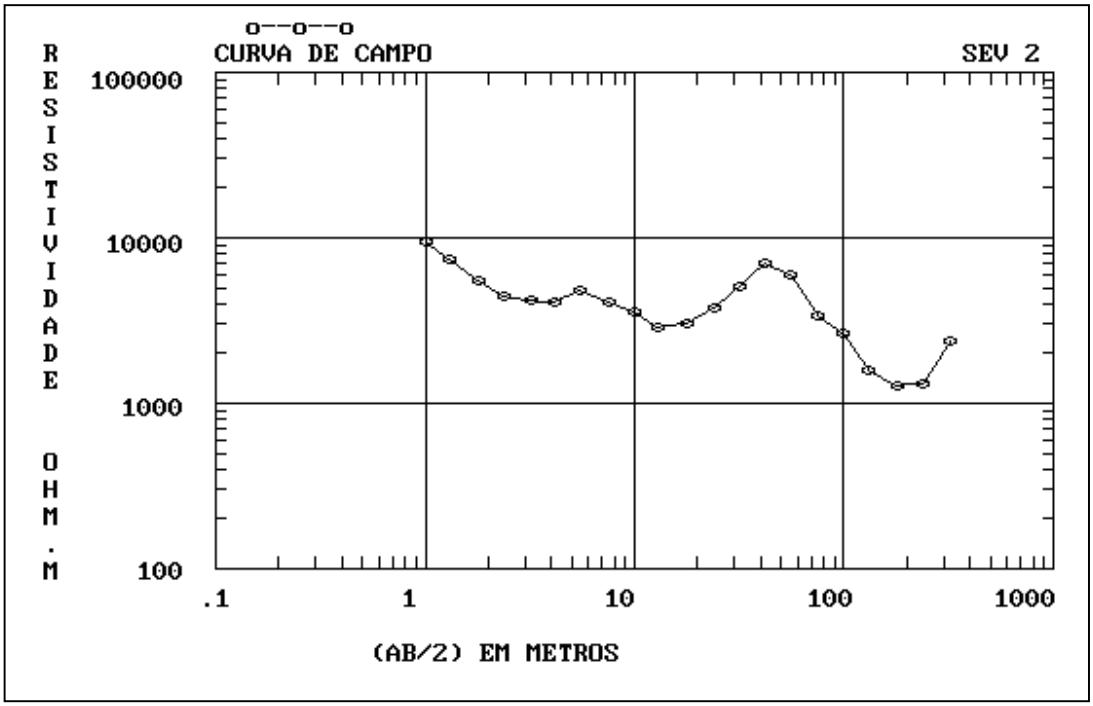


Figura 6.1.4: Curva de Campo mostrando a resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV2.

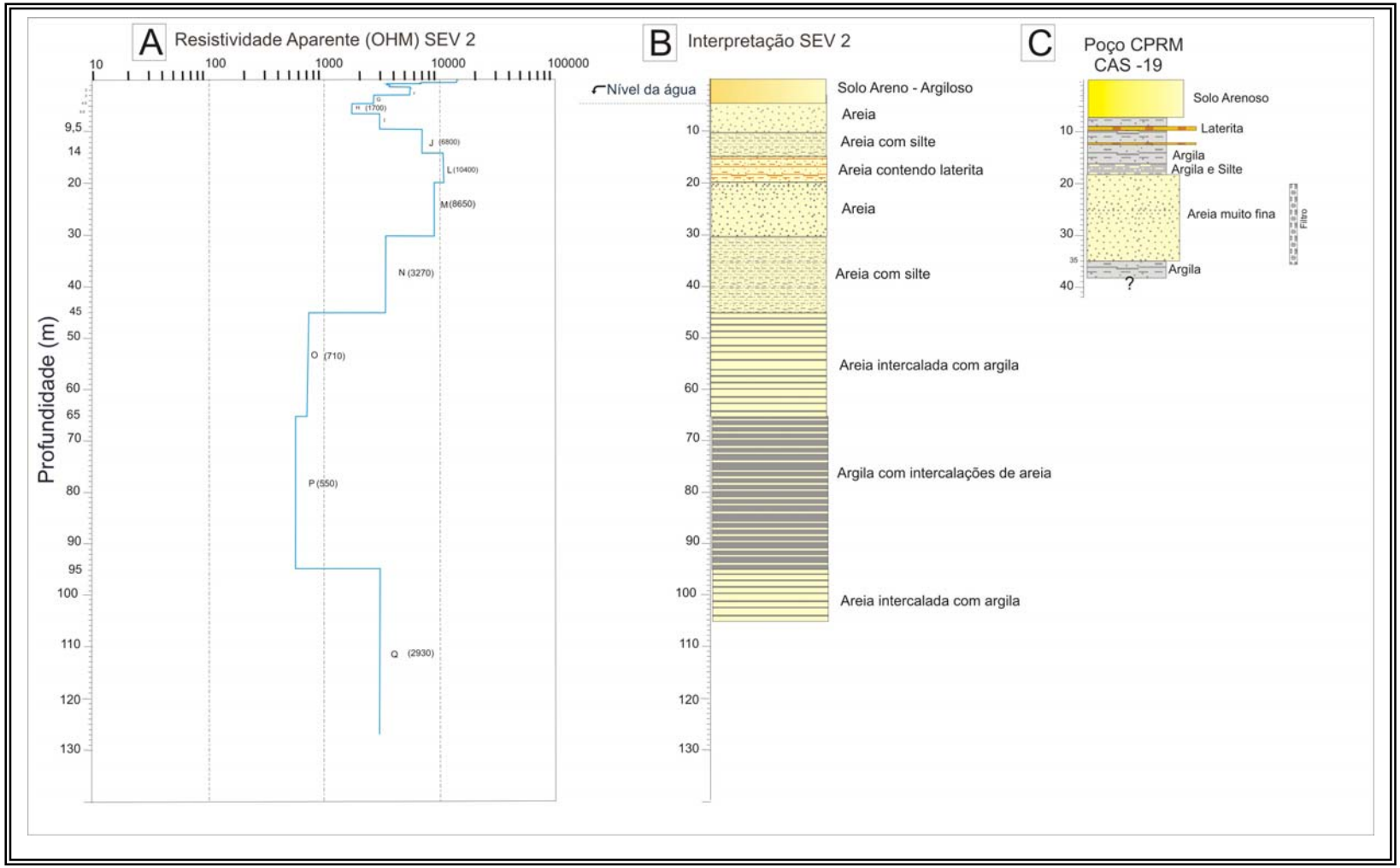


Figura 6.1.5: (A) Curva calculada mostrando a resistividade aparente e a profundidade em metros; (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº2, (C) Poço CPRM .

✓ Sondagem Elétrica Vertical Nº3 (SEV3)

Nessa SEV a resistividade varia entre 240 e 4320 Ohm (Figura 6.1.6). Segundo os dados obtidos o perfil geo - elétrico (6.1.7), teria a seguinte configuração: a partir de 3,5m de profundidade um solo argilo - arenoso, quando a resistividade atinge 994 Ohm indicando provavelmente o nível da água do aqüífero livre da área. A resistividade começa a aumentar com 7,5m e permanece relativamente alta até 23m, com variação de 1900 a 2420 Ohm, indicando possivelmente uma camada arenosa com intercalações de silte. Dos 23m aos 33m de profundidade encontra-se uma camada arenosa intercalada com argila. Dos 33m aos 48m a resistividade apresenta uma queda chegando ao valor de 350 Ohm, indicando provavelmente uma camada argilo – silto - arenosa. Dos 48m aos 72m a resistividade é de 240 Ohm, provavelmente relacionada à ocorrência de uma camada mais argilosa. Dos 72m aos 105m a resistividade sofre um ligeiro aumento, alcançando 440 Ohm o que indica o topo de uma camada argilo - arenosa. Aos 105m a resistividade aumenta novamente até o valor de 910, caracterizando provavelmente o topo de uma camada calcarenitica.

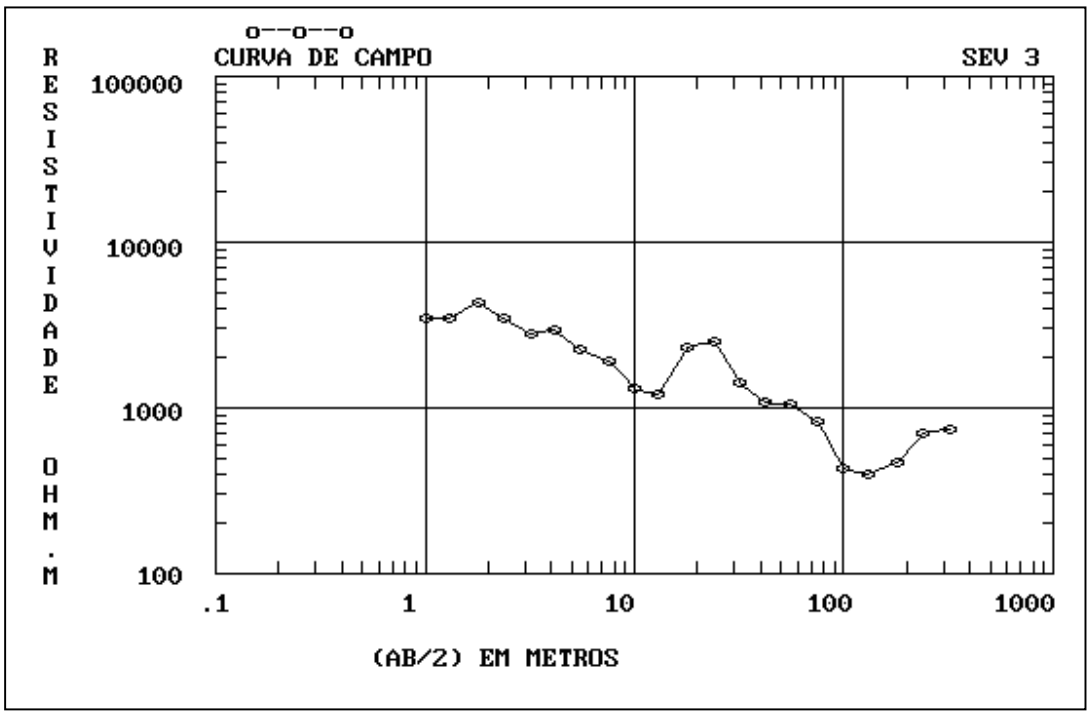


Figura: 6.1.6: Curva de campo mostrando a resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV3.

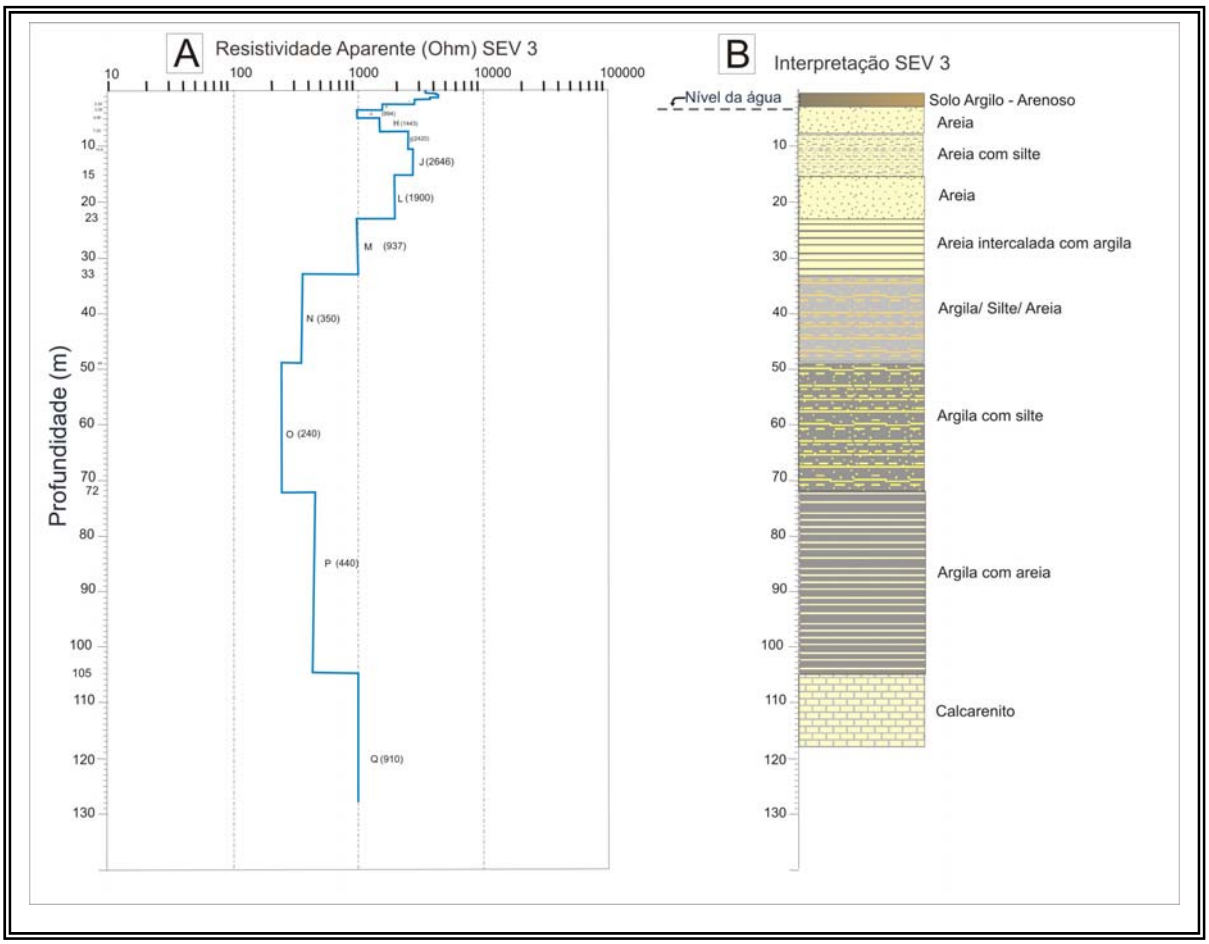


Figura 6.1.7: (A) Curva calculada mostrando a resistividade aparente e a profundidade em metros; (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº3.

- ✓ Sondagem Elétrica Vertical Nº4 (SEV4)

Nessa SEV os valores de resistividade variam entre 23 e 4610 ohm (Figura 6.1.8). Segundo os dados obtidos propõe-se o seguinte perfil geo - elétrico (Figura 6.1.9): a partir de 5,5m de profundidade ocorre um solo argilo - arenoso, com a resistividade atingindo 785 Ohm correspondente provavelmente ao nível da água do aqüífero livre da área . A partir de 8m ela aumenta e permanece relativamente alta até 25m, com variação de 400 a 1050 ohm indicando possivelmente uma camada arenosa com intercalações de silte. Entre 25m e 37m ocorre uma camada argilosa,com algumas intercalações de silte e areia . Dos 37m aos 55m a resistividade apresenta uma queda chegando ao valor de 91 Ohm, indicando provavelmente uma camada argilo- siltosa. Dos 55m aos 118m a resistividade é muito baixa variando de 23 a 28 Ohm, indicando provavelmente uma camada mais argilosa. Aos 118 m sofre um ligeiro aumento com valor de 75 Ohm indicando o topo de uma camada calcarenítica.

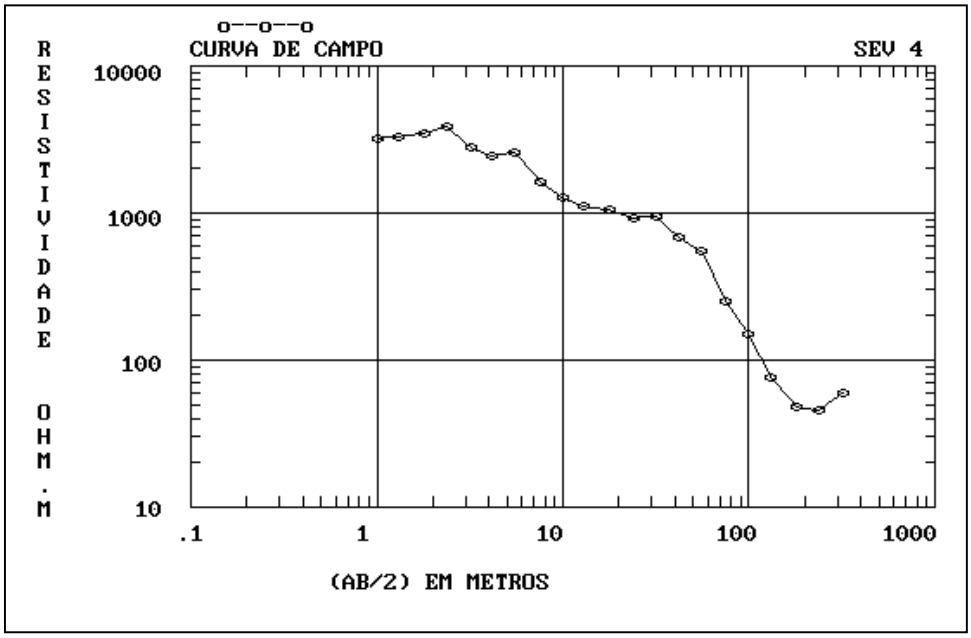


Figura 6.1.8: Curva de Campo - Resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV4.

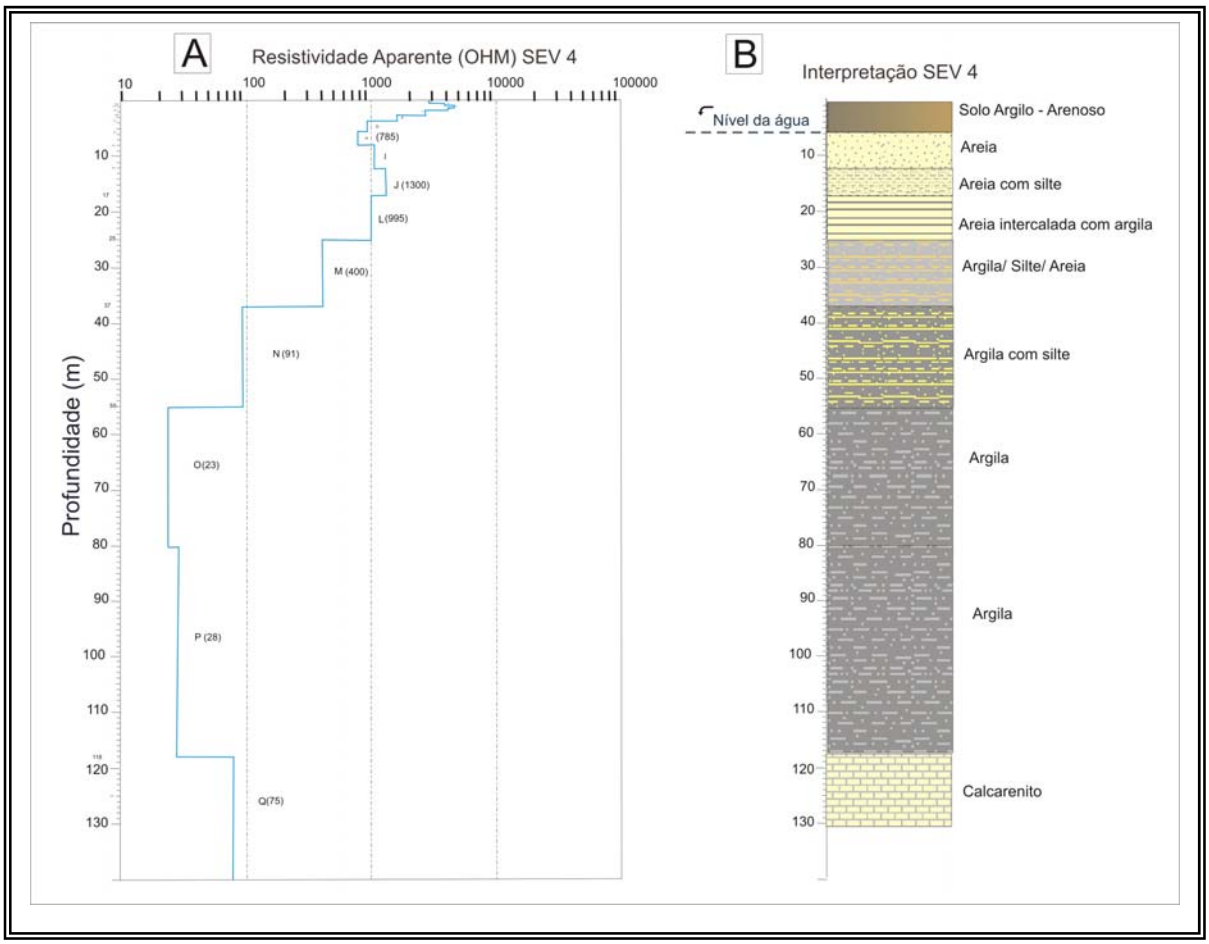


Figura 6.1.9: (A) Curva calculada mostrando a resistividade aparente e a profundidade em metro; (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº4.

✓ Sondagem Elétrica Vertical Nº5 (SEV5)

Com a resistividade variando entre 120 e 10220 ohm (Figura 6.1.10). Propõe-se o perfil geo - elétrico a seguir (6.1.11): até 7m de profundidade ocorre um solo argilo - arenoso, a partir de 7,2m a resistividade atinge 540 Ohm indicando provavelmente o nível da água do aqüífero livre da área . Dos 10m aos 23m a resistividade varia de 347 a 270 Ohm, indicando uma camada argilo - arenosa. Dos 23m aos 49m permanece entre 124 e 120 Ohm, representando uma camada ainda mais argilosa. Dos 49m aos 72m tem valor de 268 Ohm, e pode ser atribuída a uma camada argilo - siltosa. Dos 72 m a 105m a resistividade atinge 765 Ohm , indicando uma camada areno - argilosa. A partir de 105m apresenta um aumento, atingindo o valor de 2321 Ohm indicando o topo da camada contendo calcarenito.

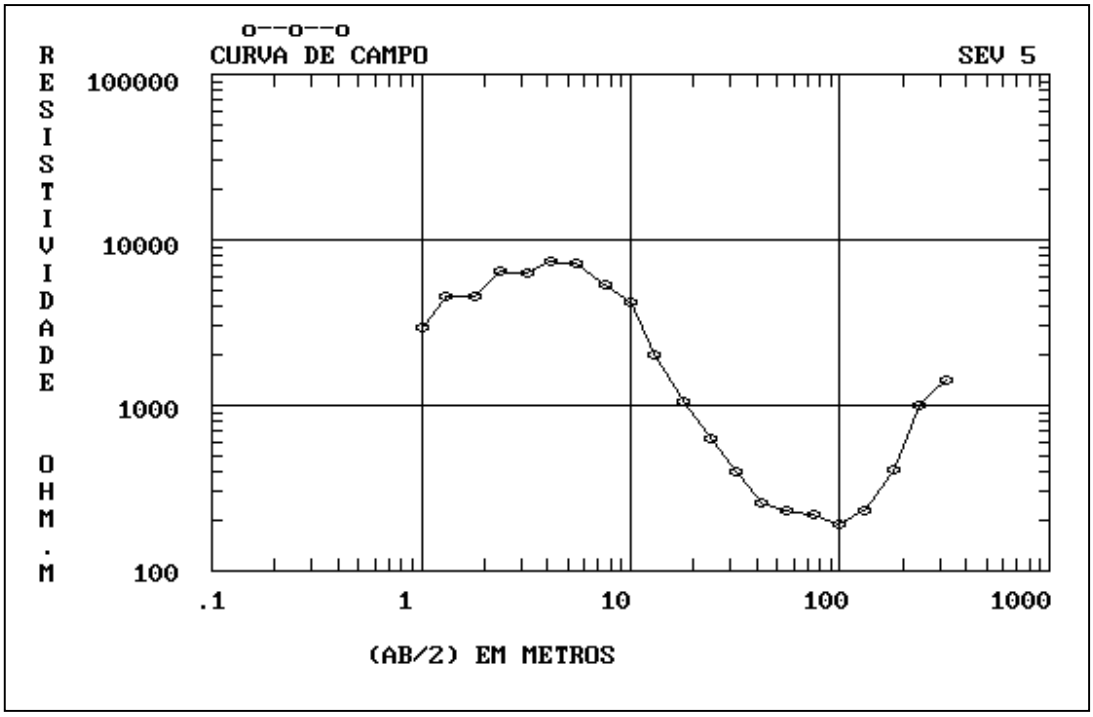


Figura 6.1.10: Curva de Campo mostrando a resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV5.

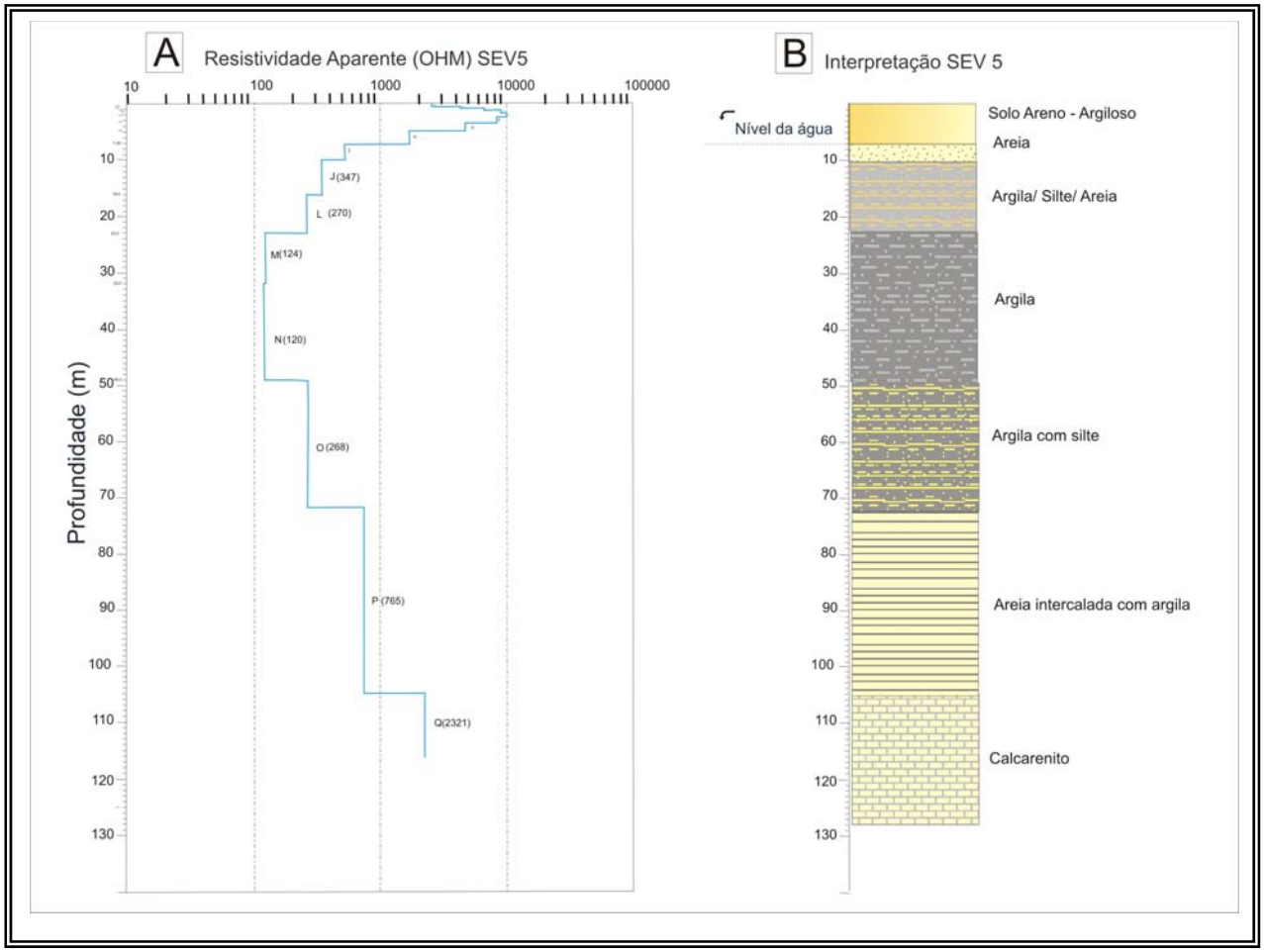


Figura 6.1.11: (A) Curva calculada mostrando a resistividade aparente e a profundidade em metros, (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº5.

- ✓ Sondagem Elétrica Vertical Nº6 (SEV6)

Com resistividade variando entre 88 e 7790 ohm (Figura 6.1.12), pode-se construir o seguinte perfil geo - elétrico (6.1.13): a partir de 5,5m de profundidade ocorre solo areno - argiloso, com 6m a resistividade atinge 2600 ohm marcando o nível da água do aqüífero livre da área. Dos 11m aos 17m com valor de 772 ohm, tem-se uma camada areno - argilosa. Dos 17m aos 25m e de 430 ohm, ocorreria uma camada mais argilo - arenosa. Dos 25m aos 37m e 340 Ohm, a camada seria argilo – silto - arenosa. Dos 37 m aos 80m a resistividade variando entre 135 e 88 ohm, indicaria camada argilosa. De 80m a 117m atingindo 221 ohm indicaria uma camada argilo – siltosa. A partir de 105m a resistividade apresenta um aumento, atingindo o valor de 1045 ohm indicando o topo da camada contendo calcarenito.

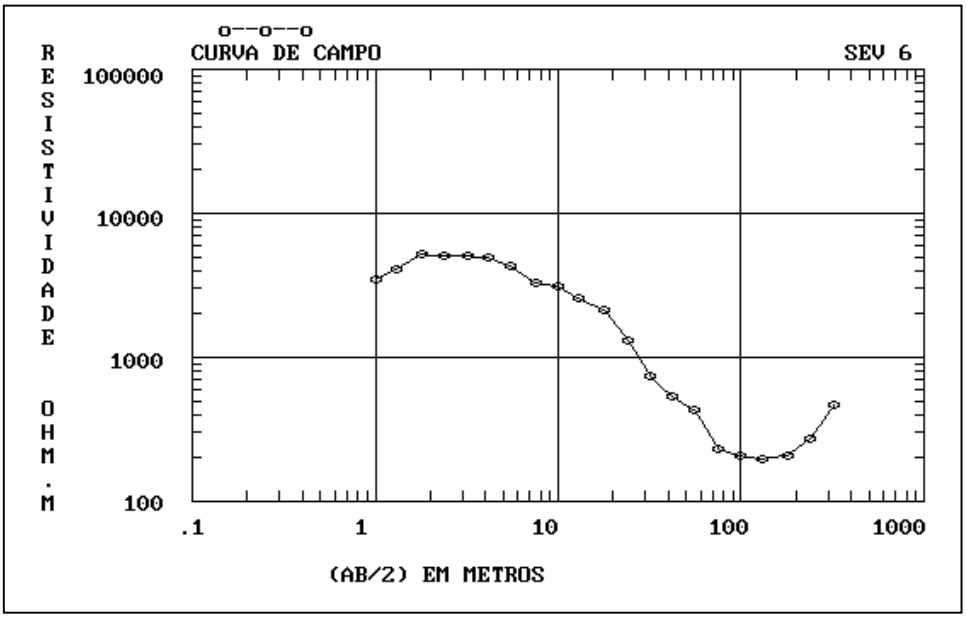


Figura 6.1.12: Curva de Campo – Resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV6.

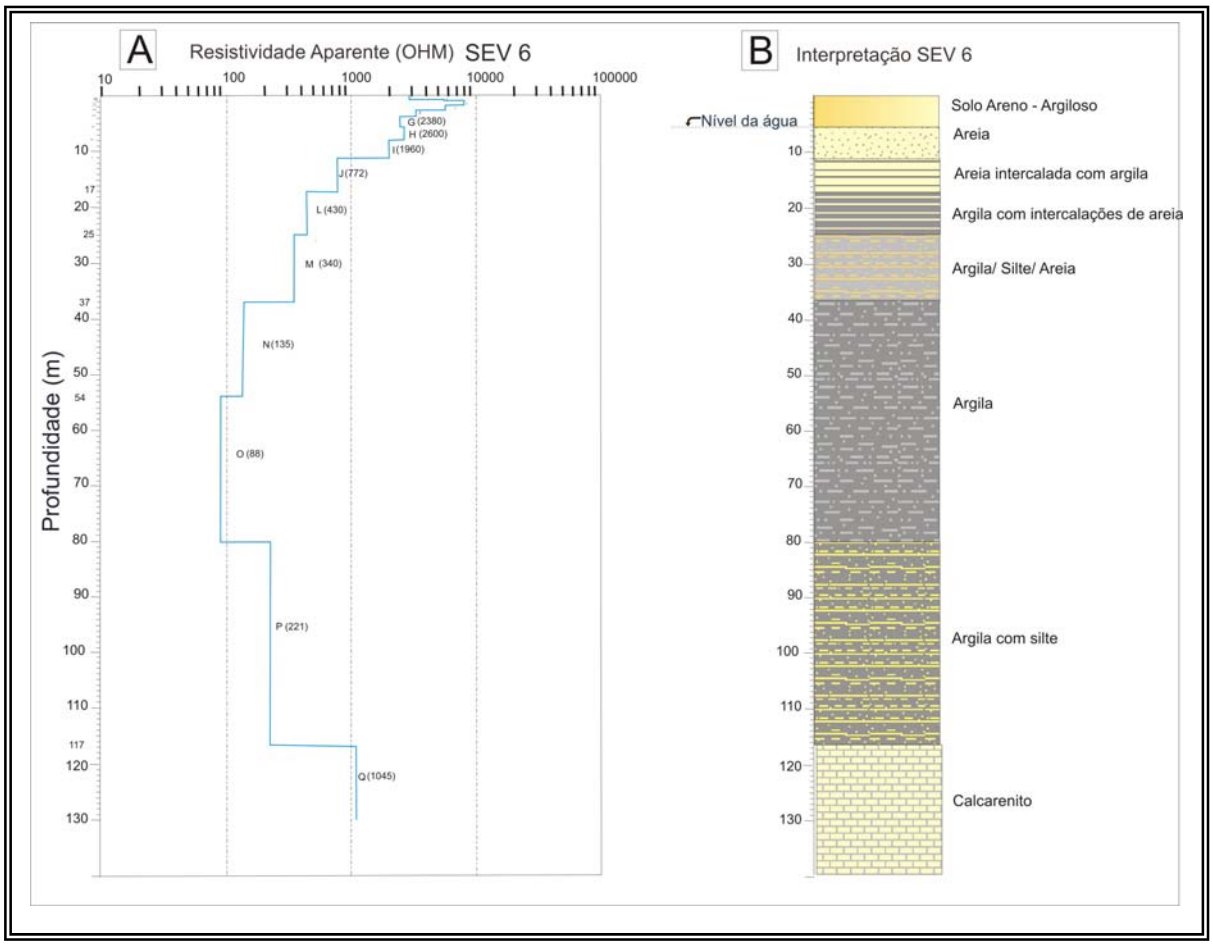


Figura: 6.1.13: (A) Curva calculada mostrando a resistividade aparente e a profundidade em metro; (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº6.

✓ Sondagem Elétrica Vertical Nº7 (SEV7)

Com valores variando entre 78 e 2490 ohm (Figura 6.1.14), propõe-se o perfil geo - elétrico constante na figura 6.1.15: solo areno- argiloso até 3m de profundidade. A partir de 3,5m a resistividade atinge 1030 ohm marcano o nível da água do aqüífero livre da área . Dos 3,5m aos 11m a resistividade varia de 1030 a 910 ohm, indicando possivelmente uma camada arenosa. Dos 11m aos 16m e resistividade de 1630 Ohm, pode-se inferir uma camada areno - argilosa. Dos 16m aos 23m a resistividade tem valor de 2490 Ohm, indicando uma camada areia siltosa. Dos 23 m aos 33 m a resistividade é de 2030Ohm , indicando uma camada areno - argilosa. De 33m a 49m a resistividade atinge 620 Ohm indicando uma camada areno - argilosa. De 49m a 105m a resistividade varia de 78 a 80Ohm indicando uma camada argilosa A partir de 105m a resistividade apresenta um aumento, atingindo o valor de 1790 Ohm indicando o topo da camada contendo calcarenito.

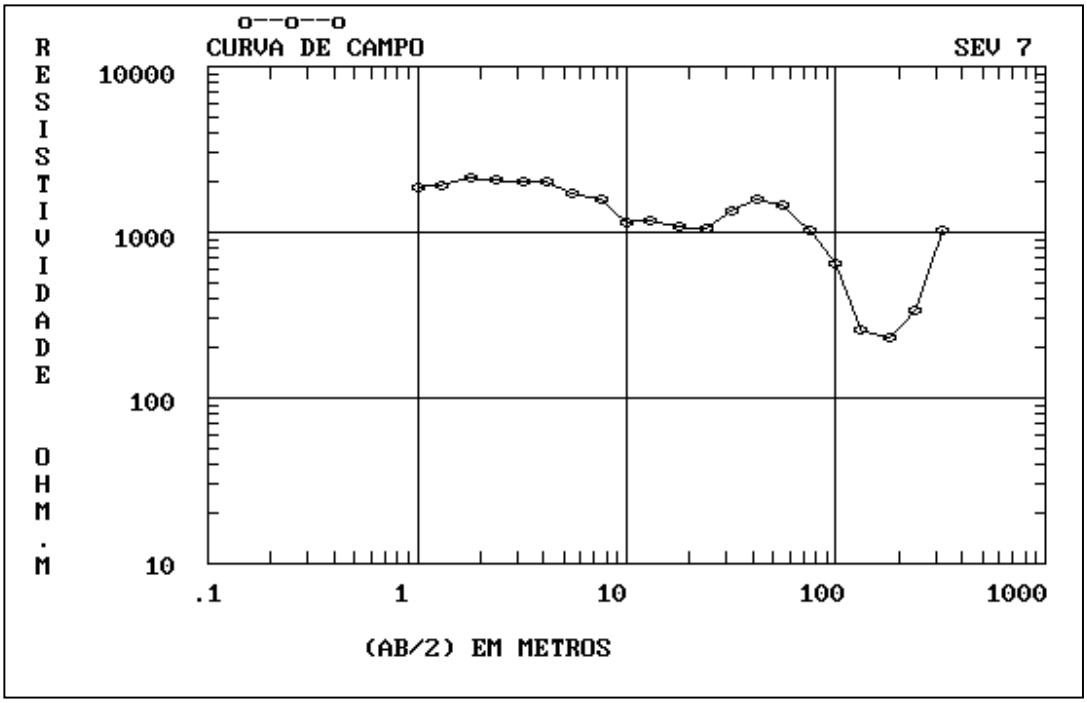


Figura 6.1.14: Curva de Campo mostrando a resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV7.

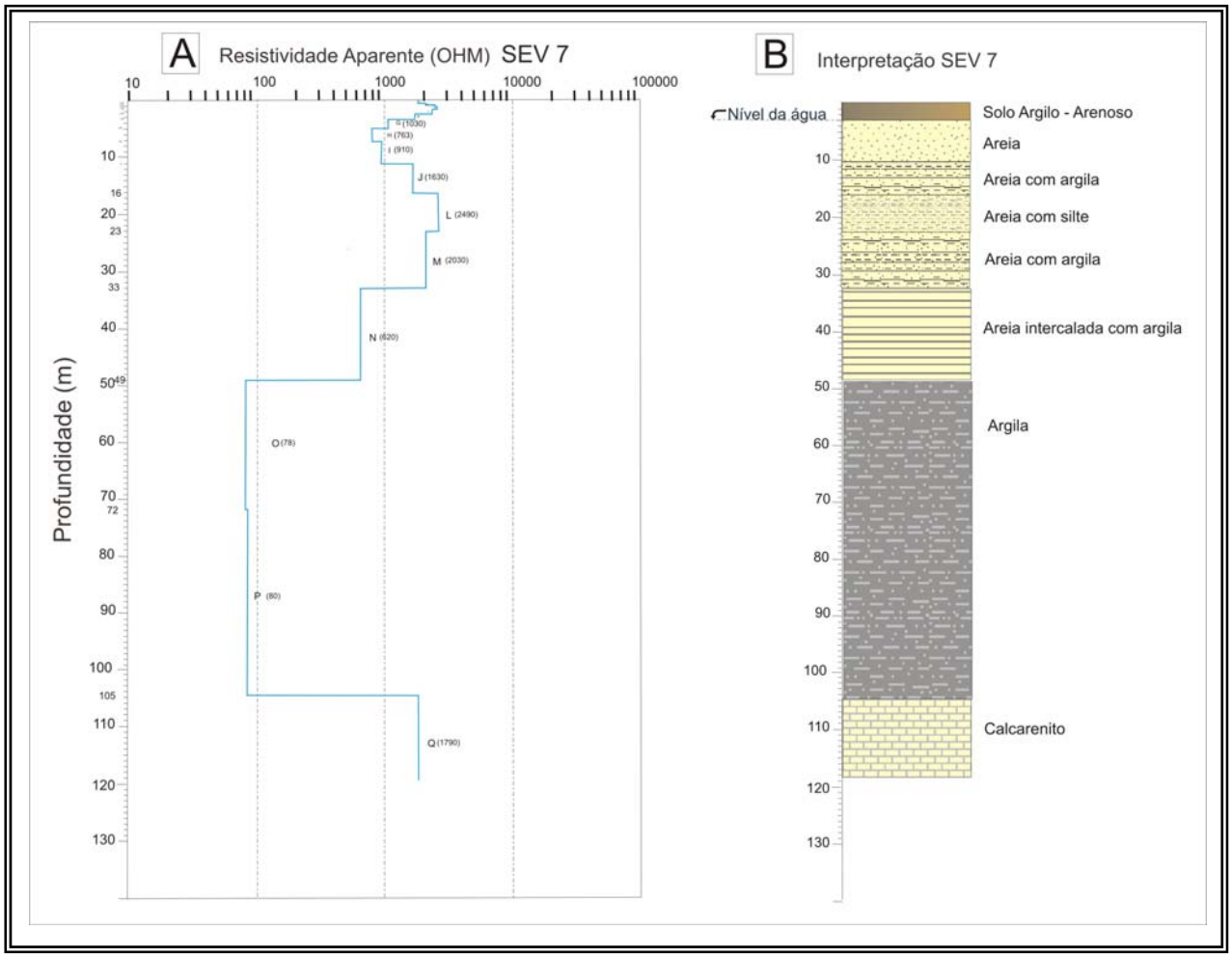


Figura 6.1.15: (A) Curva calculada mostrando a resistividade aparente e a profundidade em metros; (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº7.

✓ Sondagem Elétrica Vertical Nº8 (SEV8)

A resistividade nessa SEV varia de 22 a 2400 ohm (Figura 6.1.16) e o perfil tem a seguinte configuração (6.1.17): solo argilo – arenoso a partir de 5m de profundidade. Dos 8,5m aos 19m e resistividade de 2250 a 2230 ohm, indicaria possivelmente uma camada arenosa. Dos 19m aos 27m e de 1450 ohm, ocorreria uma camada areno - argilosa. Dos 27m aos 40m e valor de 290 ohm, existiria uma camada argilo- arenosa. Dos 40 m aos 85 m a resistividade varia 22 a 42 ohm, indicando uma camada argilosa. A partir de 85m a resistividade apresenta um ligeiro aumento, atingindo o valor de 425 ohm, indicando o topo da camada argilo - arenosa.

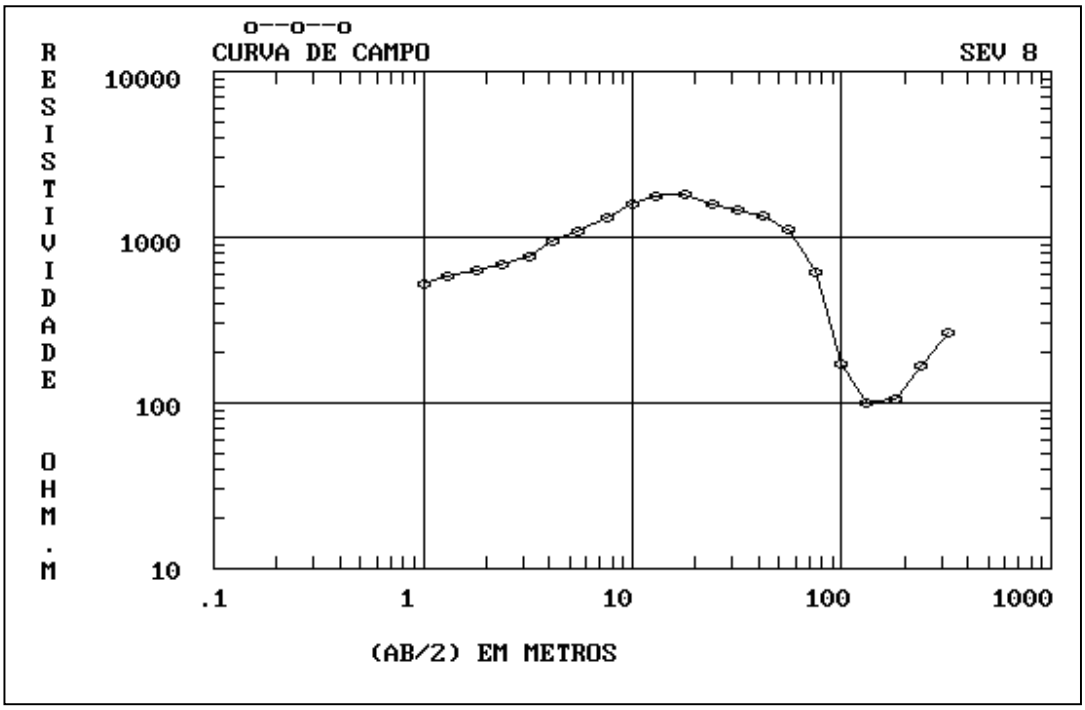


Figura 6.1.16: Curva de Campo mostrando a resistividade aparente e a distância AB/2 da SEV8.

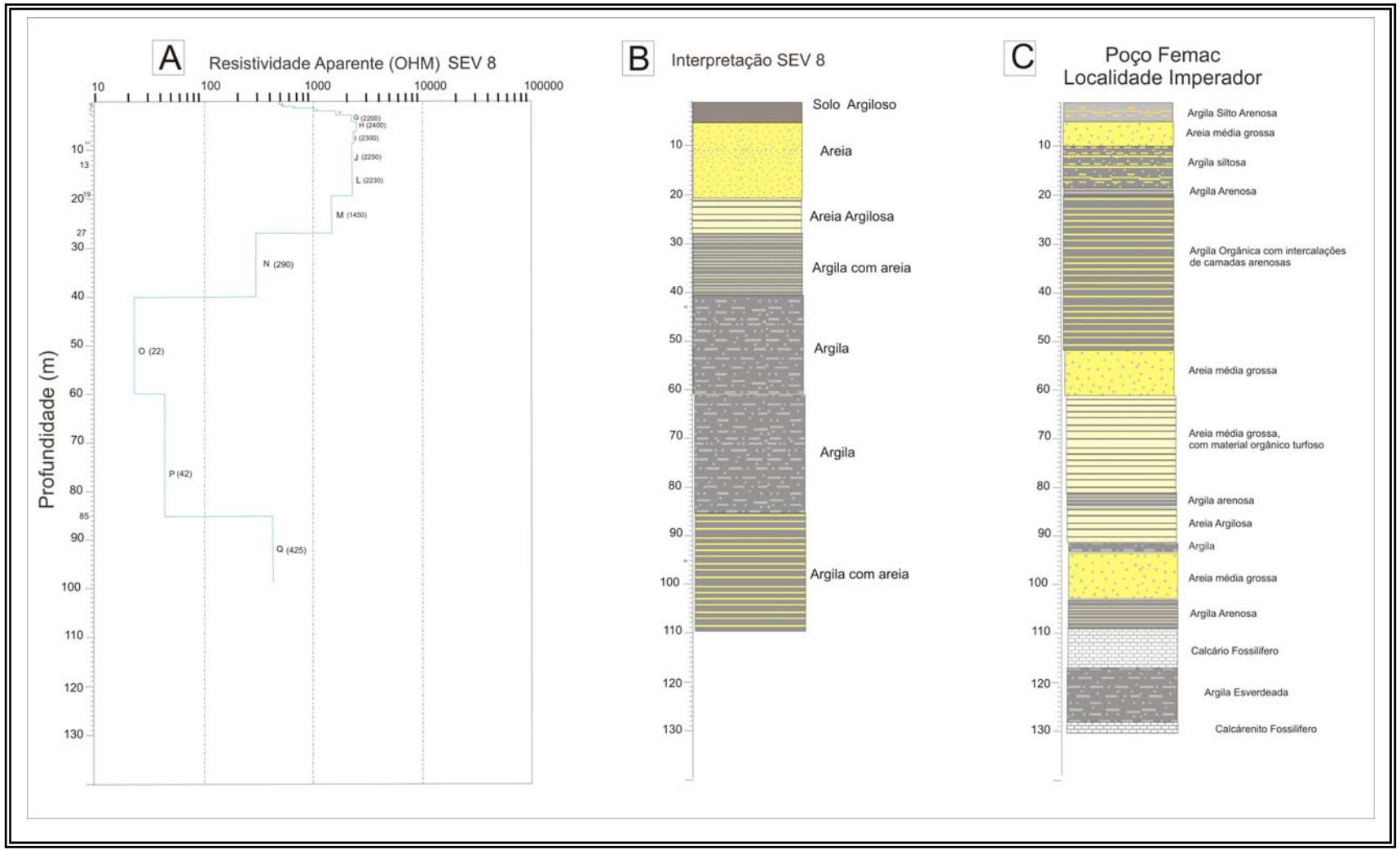


Figura 6.1.17: (A) Curva calculada mostrando a resistividade aparente e a profundidade em metros; (B) Interpretação da Sondagem Elétrica Vertical Nº8.

6.1.2 **Seções das camadas sedimentares**

Com a interpretação das sondagens elétricas verticais foi possível elaborar seções das camadas litológicas em sub-superfície (Figura 6.1.18 a 6.1.23). Nestas seções pode se observar:

- ✓ As prováveis camadas aqüíferas são compostas por arenitos e calcarenitos, justapostos a camadas impermeáveis a semi-permeáveis representadas geralmente por argilitos, folhelhos e siltitos;
- ✓ Descontinuidades (prováveis falhas) com rejeitos verticais impostas pela atuação neotectônica alcançam dezenas de metros, com desníveis que alcançam mais de 25m;
- ✓ Variação lateral das espessuras de camadas, além de eventuais desaparecimento de camadas, observadas em seções contíguas.
- ✓ Indicação de desenvolvimento de um arranjo estrutural em blocos com formação de estruturas do tipo *horst* e *graben*.

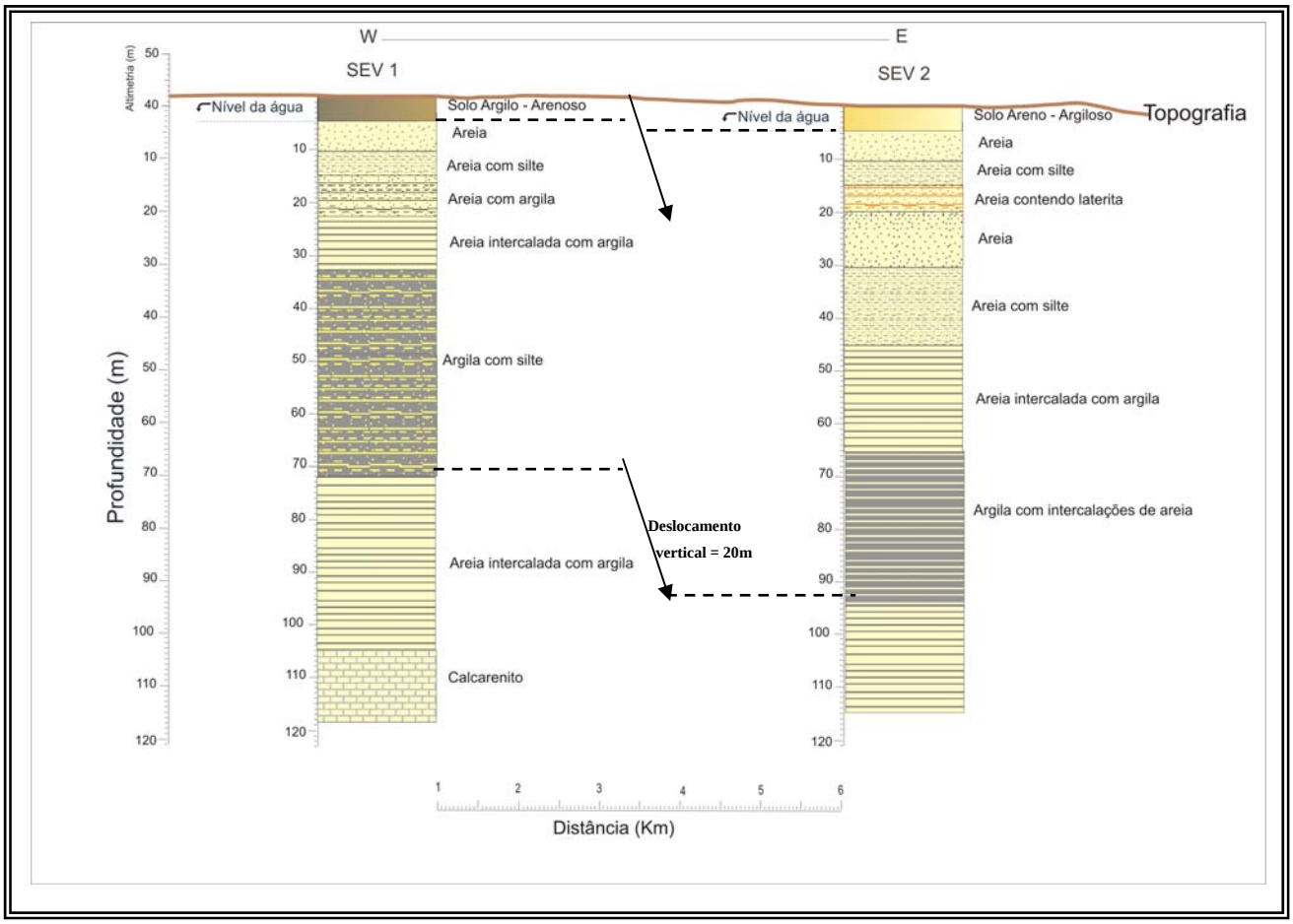


Figura 6.1.18: Seção W-E mostrando o deslocamento das camadas (areia com silte) e indicação de falha com mergulho no sentido leste.

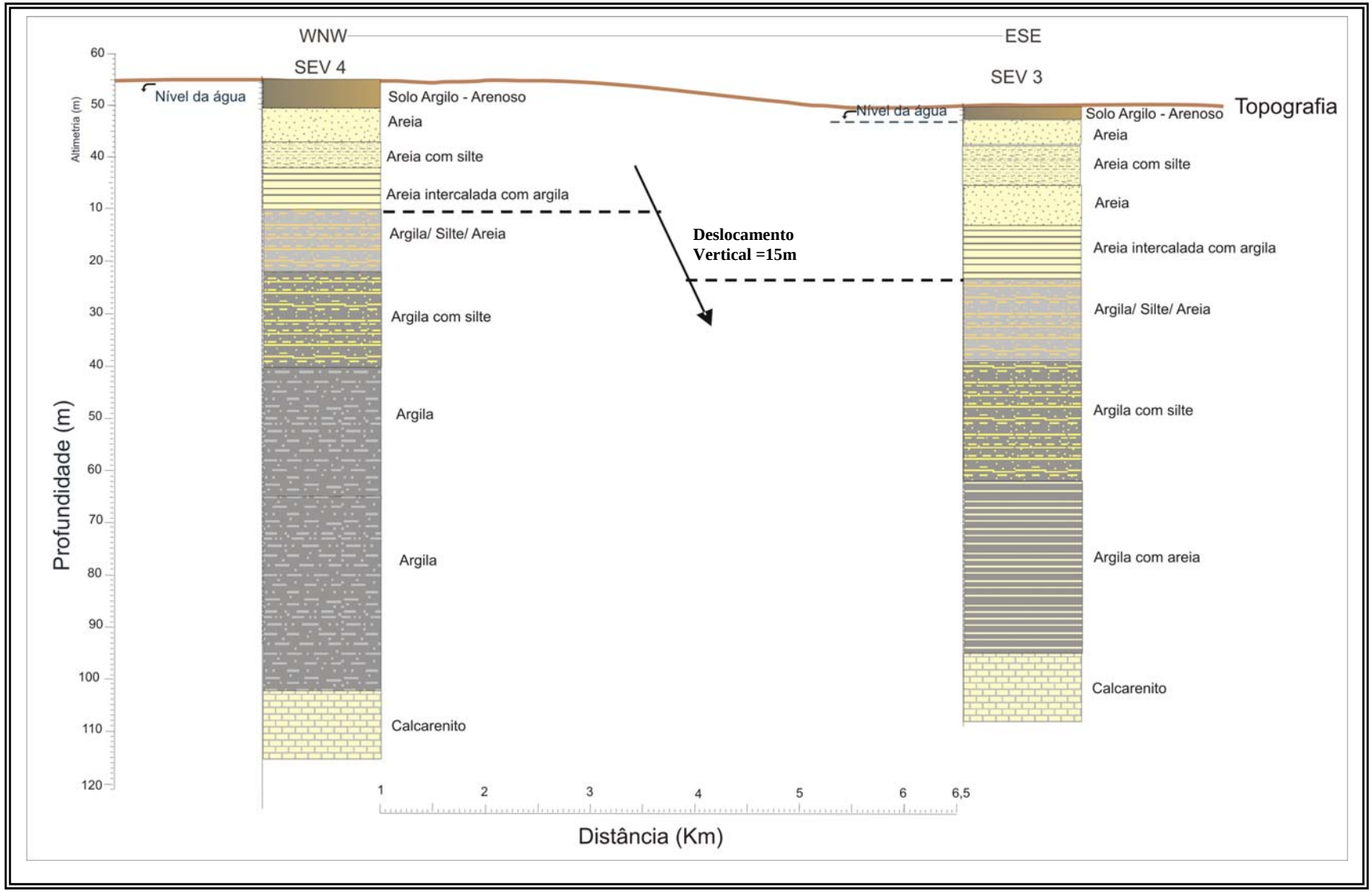


Figura 6.1.19: Seção WNW-ESE mostrando o deslocamento das camadas, com prováveis falhas com mergulho para ESE.

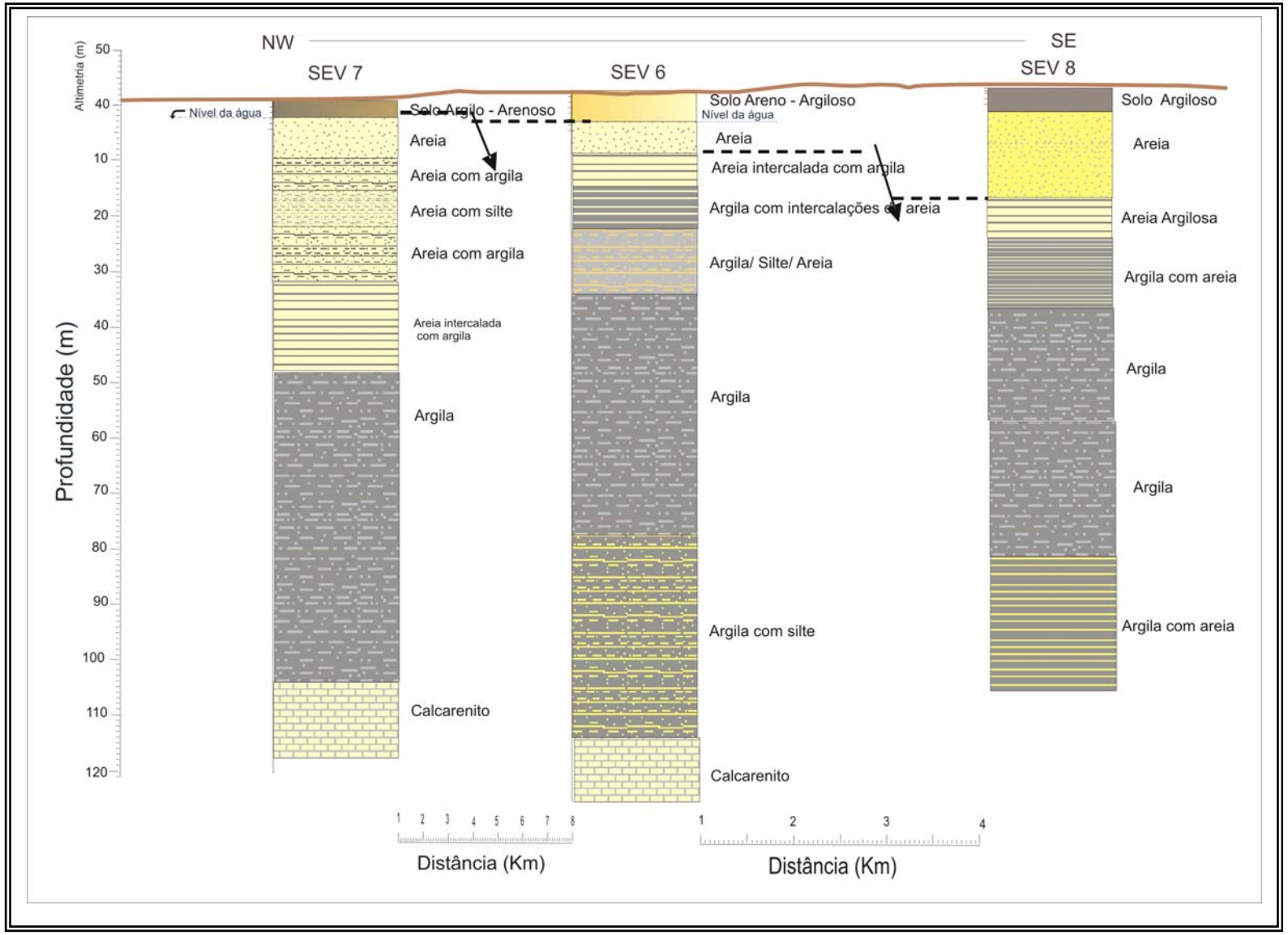


Figura 6.1.20: Seção NW-SE mostrando as camadas deslocadas por prováveis falhas com mergulho no sentido SE

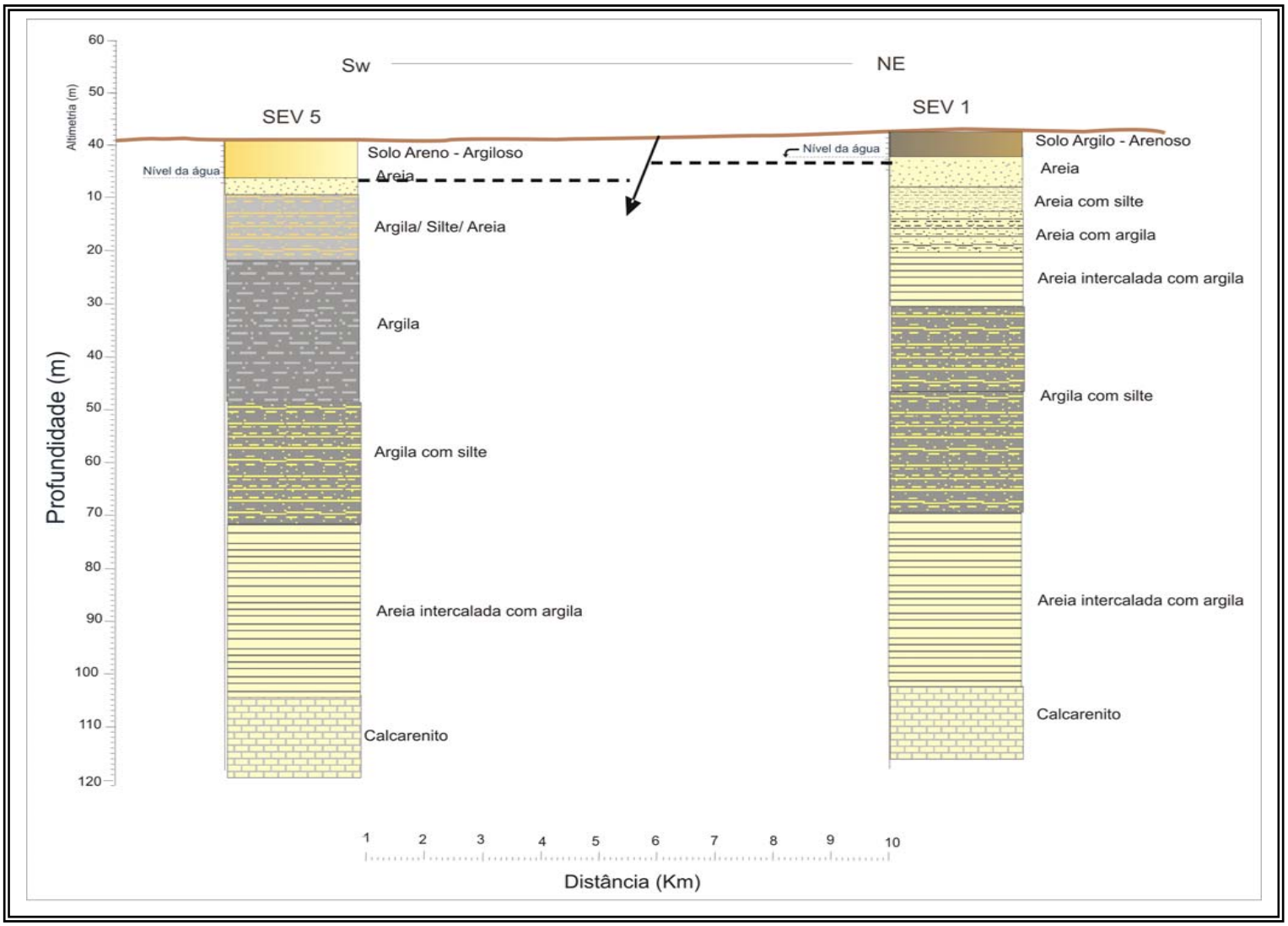


Figura 6.1.21: Seção SW-NE – mostrando descontinuidades, falhas inferidas, com mergulho no sentido SW.

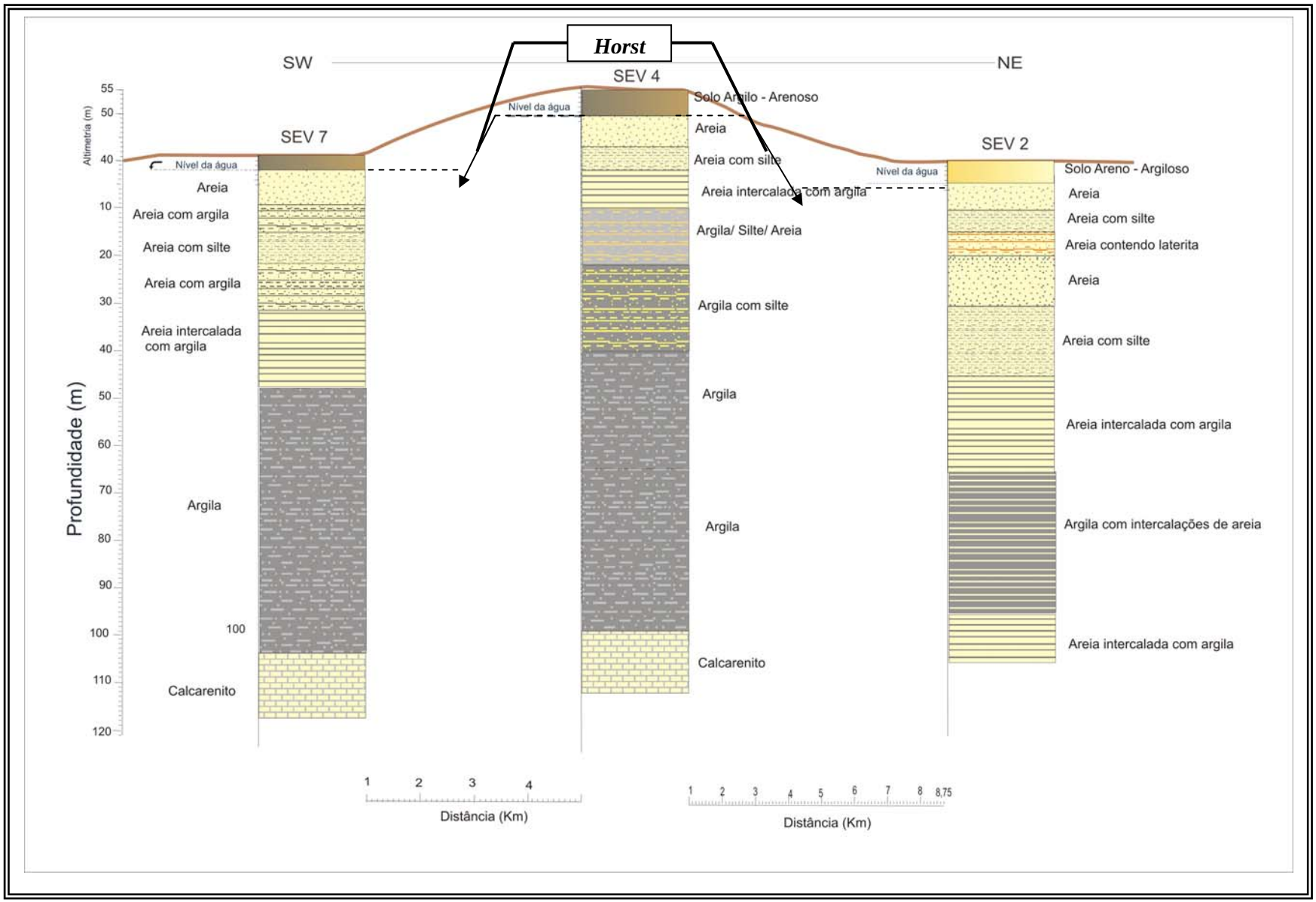


Figura 6.1.22: Seção NW-SE – mostrando mergulho das prováveis falhas no sentido SW e para NE, além de um provável horst

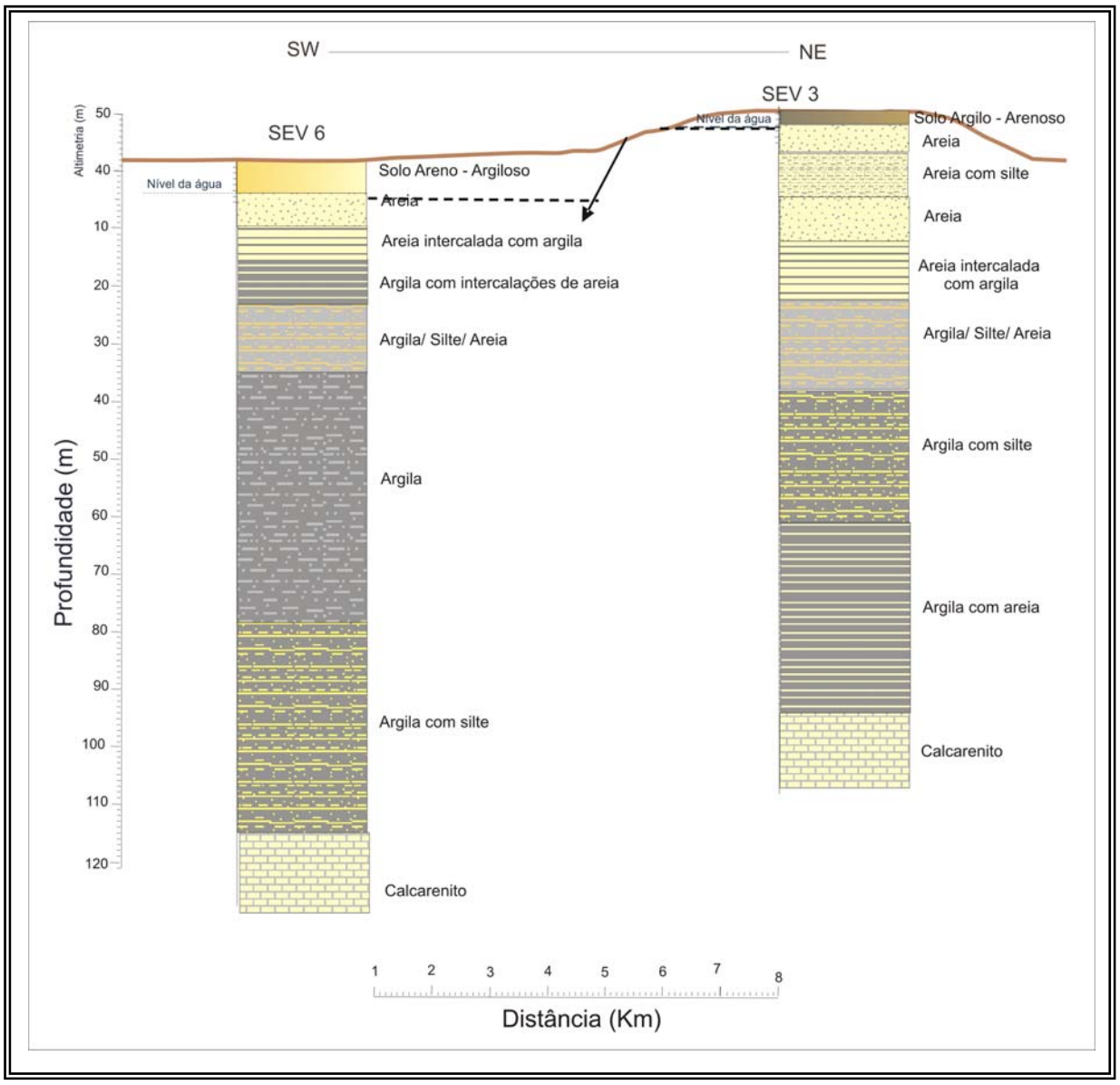


Figura 6.1.23: Seção NW-SE – mostrando prováveis falhas mergulhando para SW.

6.1.3 **Integração dos Dados**

A visão integrada dos dados de SEVs, associados às informações da geologia de superfície e dados de poços da CPRM (Figura 6.1.5) e Femac (Figura 6.1.17), permitiram definir três sistemas hidrogeológicos: Superior, Barreiras e Pirabas.

O Sistema Hidrogeológico Superior pode ser encontrado a partir de 2 a 8m de profundidade e é considerado livre .

O Sistema Hidrogeológico Barreiras encontra-se entre 20 a 30m de profundidade, com espessura média de 25m. Caracterizado como livre a semiconfinado.

O topo do Sistema Hidrogeológico Pirabas pode ser encontrado entre 90 e 115m de profundidade. Este sistema é sobreposto por uma camada argilosa espessa, que caracteriza o sistema como confinado. Com os dados disponíveis esse sistema se prolonga até profundidades de 150m

6.2 MAPEAMENTO DO FLUXO SUBTERRÂNEO

O mapeamento do fluxo hídrico subterrâneo considerou os sistemas hidrogeológicos livres, ou seja, o Superior e provavelmente o Barreiras (livre e/ou semiconfinado). Não pode ser feito um estudo do fluxo para o sistema hidrogeológico Pirabas, pela insuficiência de dados principalmente relatórios de poços, além de haver poucos poços profundos (acima de 50m de profundidade) que alcancem este sistema hidrogeológico.

Foi feito o mapeamento do fluxo subterrâneo no mês de menor precipitação (Setembro) e no de maior precipitação (Março), para entender melhor como funciona o sentido do fluxo hídrico, além da possibilidade de interpretação de possíveis áreas de recarga e descarga do Sistema Hidrogeológico Superior da região de Castanhal.

A partir de medidas do nível estático de 38 poços (Tabela 6.2.1) foram construídos: dois mapas de profundidade do nível estático (Figuras 6.2.2 e 6.2.3); dois mapas de fluxo subterrâneo (Figuras 6.2.4 e 6.2.5) e bloco diagrama em três dimensões do comportamento da superfície potenciométrica (Figura 6.2.6)

Tabela 6.2.1: Características dos Poços Utilizados para o Mapa de Fluxo Subterrâneo.

Poço	X(W)	Y(N)	Cota	Nível Estático (Período mais chuvoso- março)	Nível Estático (Período menos chuvoso - setembro)
C01	175113	9877242	41	7	7,5
C02	174019	9878216	39	6	6,4
C03	176620	9875832	43	6,5	7
C04	179736	9875506	46	10	10,7
C05	179485	9873558	35	11	11,7
C06	174126	9876122	47	5	5,8
C07	172054	9876260	43	6,1	6,9
C08	170479	9876592	33	5,6	5,9
C09	174980	9874016	50	8	8,3
C10	172725	9874142	40	3	3,9
C11	174474	9870968	37	2,5	2,6
C12	176558	9870532	42	5	7,6
C13	178774	9868762	38	5,5	7,4
C14	175834	9871158	35	4	4,8
C15	174309	9866238	37	3,7	4,1
C16	175996	9864496	42	5,3	7
C17	178227	9862080	34	1,8	2,1
C18	176558	9860060	37	2,5	3,1
C19	172235	9868374	45	2	2,8
C20	170588	9870044	51	6	6,7
C21	169137	9871258	37	2,8	3,3
C22	166529	9871080	46	4	4,4
C23	164303	9873546	41	7	7,8
C24	166533	9875530	34	3	3,2
C25	168315	9876362	33	2	3,8
C26	164774	9869984	46	0,9	2,8
C27	165302	9868314	46	0,8	2,1
C28	167536	9867714	51	0,8	2,9
C29	170375	9865106	46	1,4	2
C30	171011	9863162	43	4,8	5
C31	171976	9861788	45	8,4	8,8
C32	174319	9860056	51	10,9	10
C33	174165	9863422	41,5	3,4	3,5
C34	175971	9864274	47,5	8	8,7
C35	178980	9861344	38	3,9	5,2
C36	162539	9867568	38,5	2	2,7
C37	165265	9865210	45,5	1,8	2,5
C38	166497	9862334	47	6,7	7,2

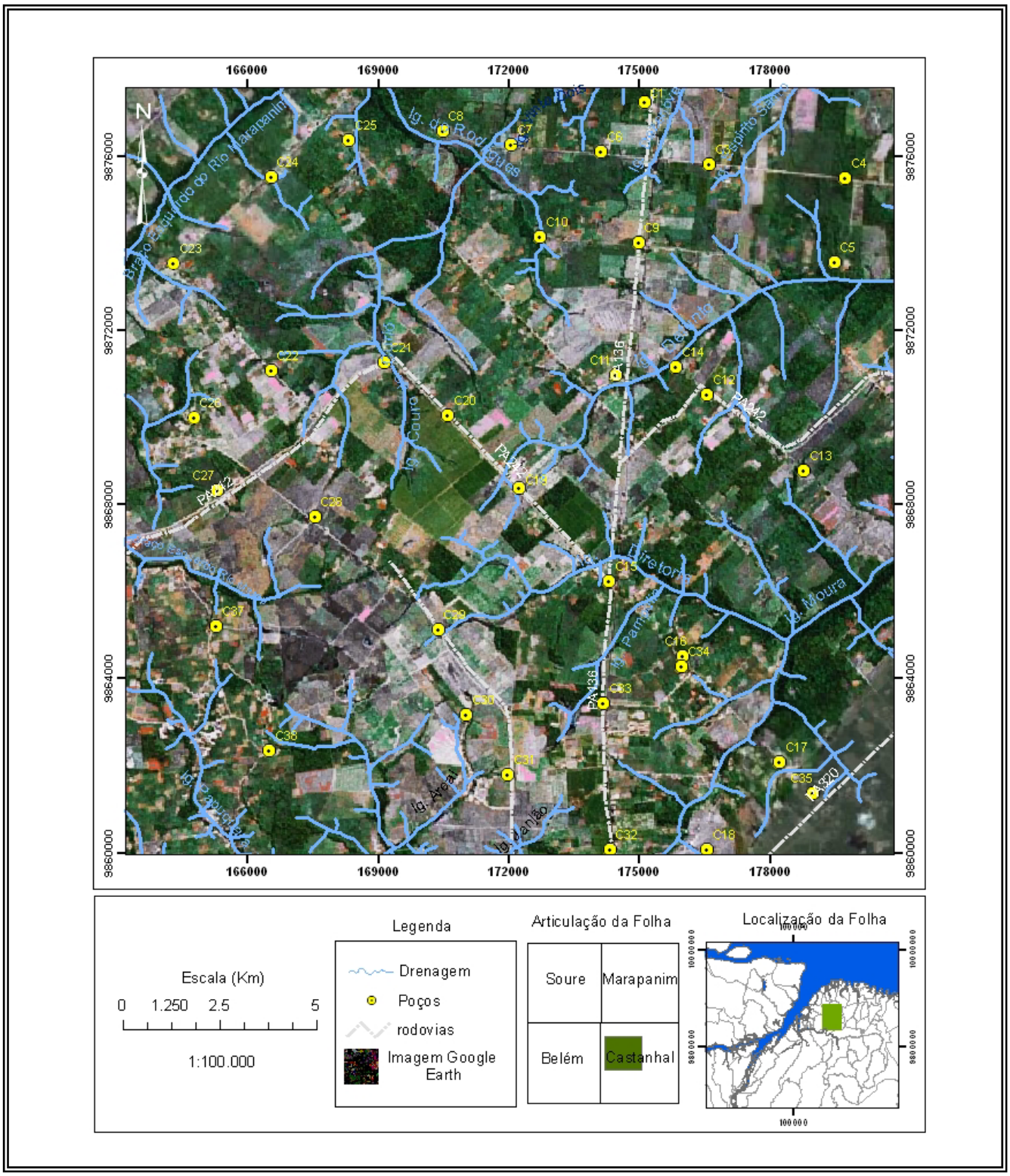


Figura 6.2.1: Mapa de localização dos poços utilizados para o mapeamento do fluxo hídrico do Sistema Hidrogeológico Superior da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.

6.2.1 **Comportamento do Nível Estático**

O comportamento do nível estático foi analisado tanto no período chuvoso quanto no menos chuvoso em 38 poços.

50% desses poços apresentam nível estático menor que 5m e aproximadamente 10% dos poços apresentam nível acima de 10m.

6.2.1.1 Período mais chuvoso

Os dados de nível estático do período chuvoso são mais rasos que do período de menor precipitação. Este efeito esta relacionado a recarga dos aqüíferos através das chuvas.

Analisando-se a figura 6.2.2 pode se verificar que os valores de nível estático variam de 0,8m até cerca de 10,9m, sendo que a porção centro oeste apresenta os menores valores, ou seja, o nível da água está mais próximo a superfície. Está variação está relacionada aos deslocamentos das camadas saturadas em água, causados por efeitos tectônicos.

6.2.1.2 Período menos chuvoso

Tanto os mapas (Figuras 6.2.2 e 6.2.3) quanto na tabela 6.2.1, pode se notar diferenças do nível da água entre o período chuvoso e o menos chuvoso.

A tabela 6.2.1 mostra que o nível da água, dos poços, no período menos chuvoso sofreu um rebaixamento entre em 0,3m e 2,6m em relação ao período mais chuvoso ocasionado por um defict de precipitação. Os mapas exibem valores distintos de nível da água para uma mesma área.

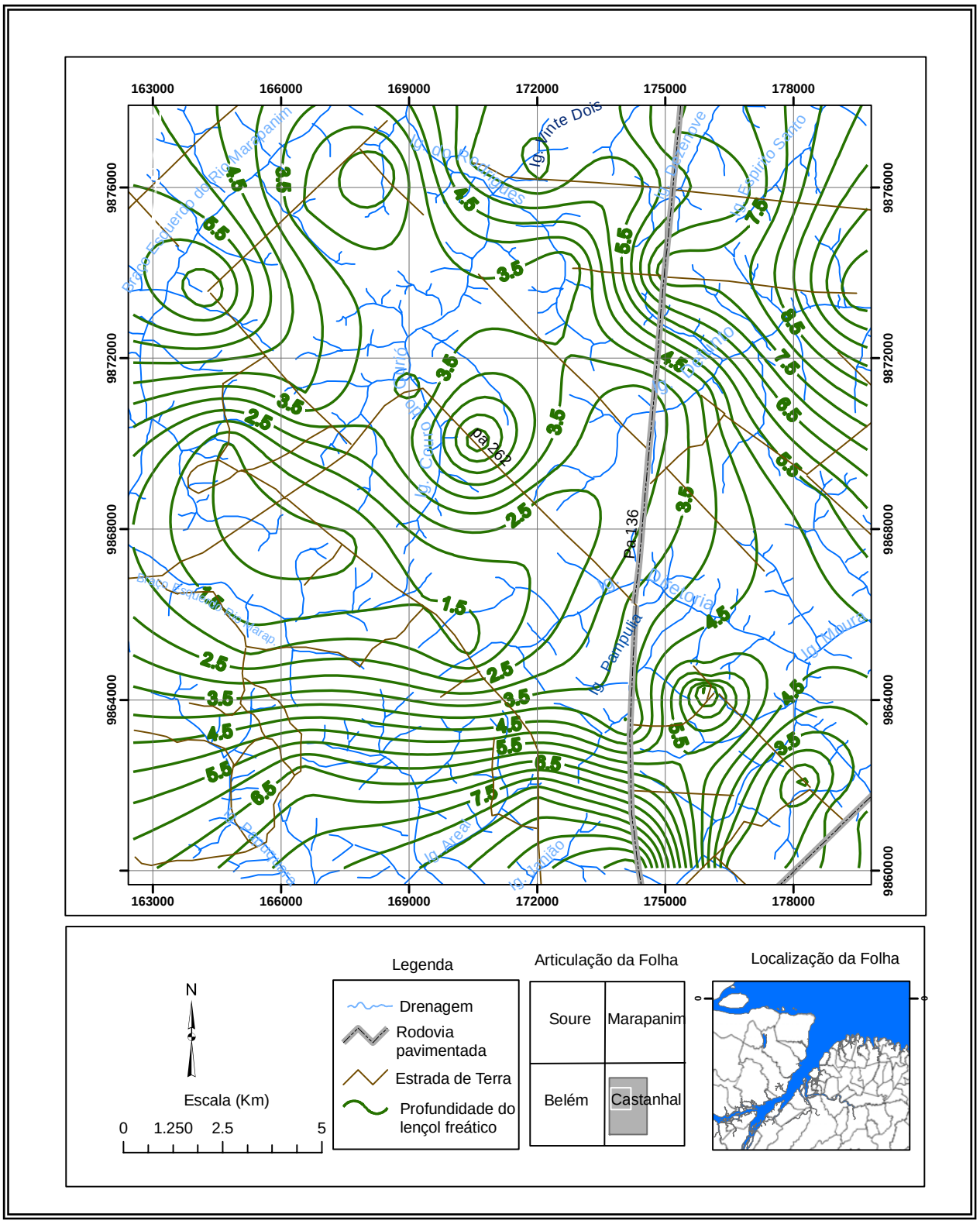
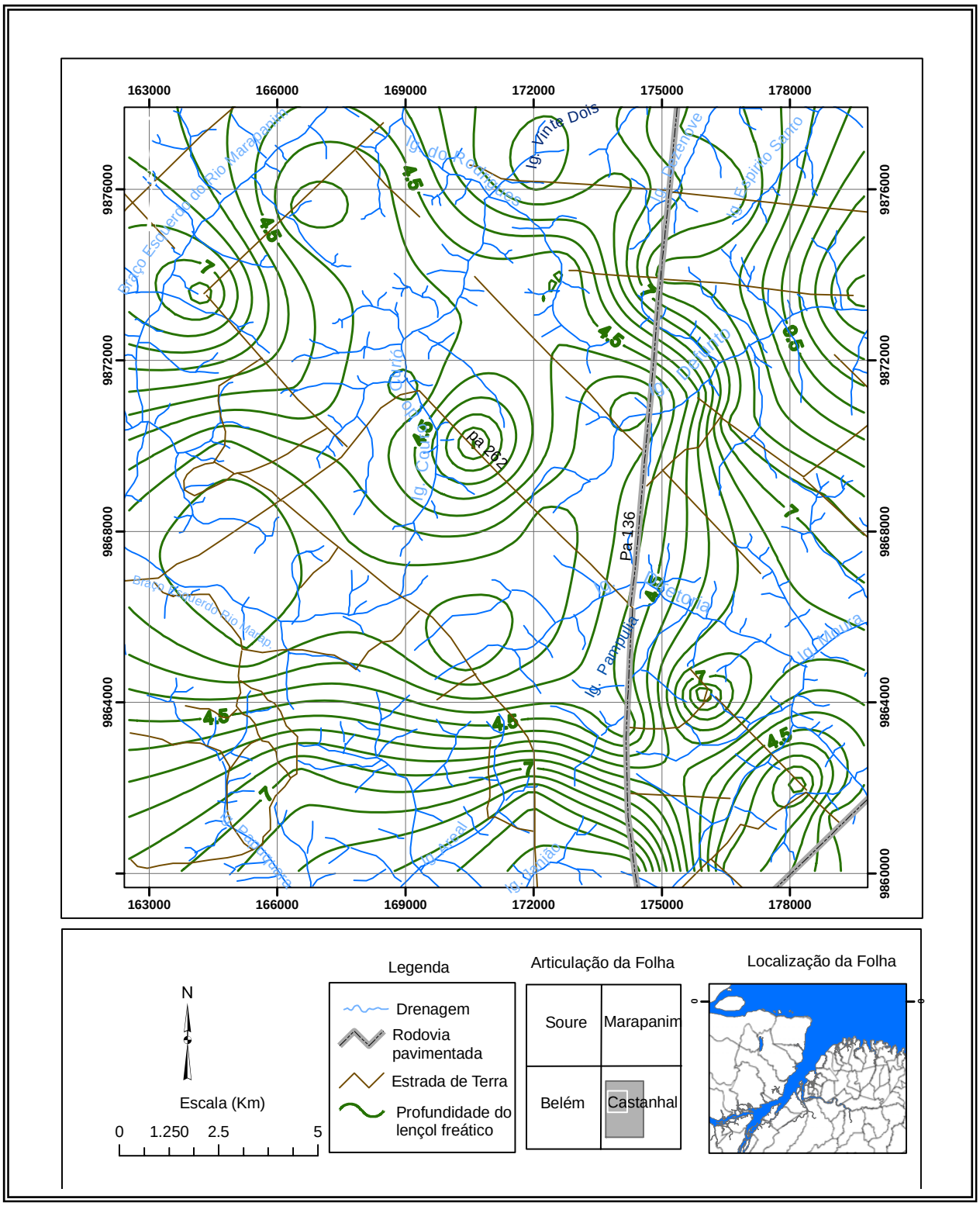


Figura 6.2.2: Mapa de profundidade do nível estático no período mais chuvoso da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.


163000
166000
169000
172000
175000
178000
9876000
9872000
9868000
9864000
9860000
Braço Esquerdo do Rio Marapanim
Ig. Vinte Dois
Ig. Dezenove
Ig. Espírito Santo
Ig. Quatro
Ig. Dois
Ig. Pampula
Ig. Cinquenta
Ig. Cinquenta
Ig. Cinquenta

6.2.2 **Comportamento do Fluxo Subterrâneo**

A visualização do mapa de fluxo de um sistema hidrogeológico pode mostrar a posição das áreas de descarga e recarga. Como a área de estudo é composta por sistemas hidrogeológicos sub horizontais, é possível traçar as isolinhas de potenciais hidráulicos para a representação da superfície potenciométrica e entender o comportamento da zona saturada em relação ao meio.

6.2.2.1 Período Chuvoso

Analisando-se o comportamento da superfície potenciométrica (Figura 6.2.4) percebe-se que o fluxo hídrico subterrâneo possui direção do centro oeste pra noroeste e leste.

Os valores das cotas desta superfície variam desde máximos acima de 48m, no setor centro-oeste até menos de 23m no norte e nordeste da área.

Esse comportamento da superfície potenciométrica caracteriza o curso d'água superficial da região de Castanhal como efluente nas águas subterrâneas. Isso significa um fluxo da água subterrânea no sentido das águas superficiais.

O Gradiente Hidráulico varia na área, ou seja, indicando uma mudança de velocidade do fluxo. Na porção noroeste o valor do gradiente varia de 0,0024 a 0,001 , já na porção norte o valor é de 0,0035, indicando fluxo mais veloz. Na porção nordeste o valor é de 0,0034, no leste é de 0,0008,fluxo com velocidade menor. No oeste é de 0,0023 velocidade mediana. No centro é de 0,0022, no sudeste é de 0,0018, no sudoeste é de 0,001. Isso implica um condicionante ambiental, pois as áreas com gradiente hidráulico maior como na porção norte (próximo ao Igarapé Rodrigues), noroeste (montante do Igarapé couro de Curió) e nordeste (montante do Igarapé espírito Santo) terão uma rapidez maior na dispersão de contaminante se houver na área, uma fonte potencial de contaminação.

O mapa de fluxo subterrâneo do Sistema Hidrogeológico Superior quando analisado no contexto da base física construída para a área estudada (Figura 6.2.4), mostra de forma bastante clara a existência de, pelo menos, duas áreas de recarga do sistema aqüífero superior. A região de recarga é caracterizada pelo padrão divergente dos vetores de fluxo, e pode ser observado na porção centro-oeste do mapa (Figura 6.2.4), nas proximidades do Igarapé Couro do Curió. Outra área de recarga que pode ser identificada na porção nordeste da área próximo ao Igarapé Defunto.

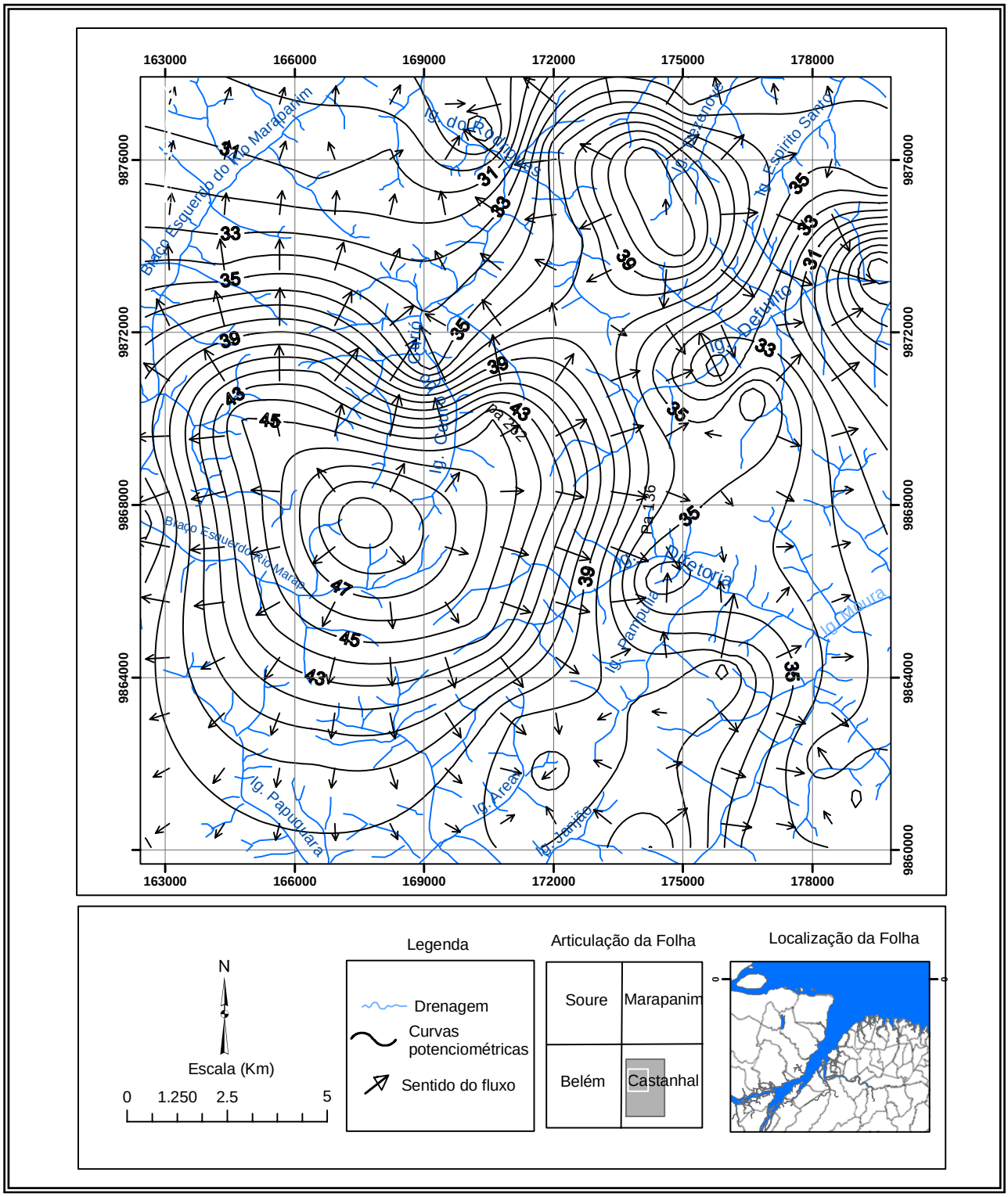


Figura 6.2.4: Mapa de Equipotencial Hidráulico do período mais chuvoso da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.

6.2.2.2 Período menos chuvoso

No comportamento da superfície potenciométrica mostrada em duas e três dimensões (Figura 6.2.5 e 6.2.6) percebe-se que a mesma esta condizente com o comportamento mostrado para o período chuvoso, ou seja, o fluxo exibe uma inclinação do centro oeste pra noroeste e leste, ou seja, acompanha a inclinação do relevo.

Devido estas semelhanças os gradientes hidráulicos não tiveram variação assim como as áreas de recarga e descarga continuaram as mesmas.

Mesmo havendo um aumento dos valores do nível da água nos poços, devido o baixo volume pluviométrico do período não chuvoso, o fluxo permaneceu no sentido das águas subterrâneas para as águas superficiais, ou seja, não houve inversão de fluxo.

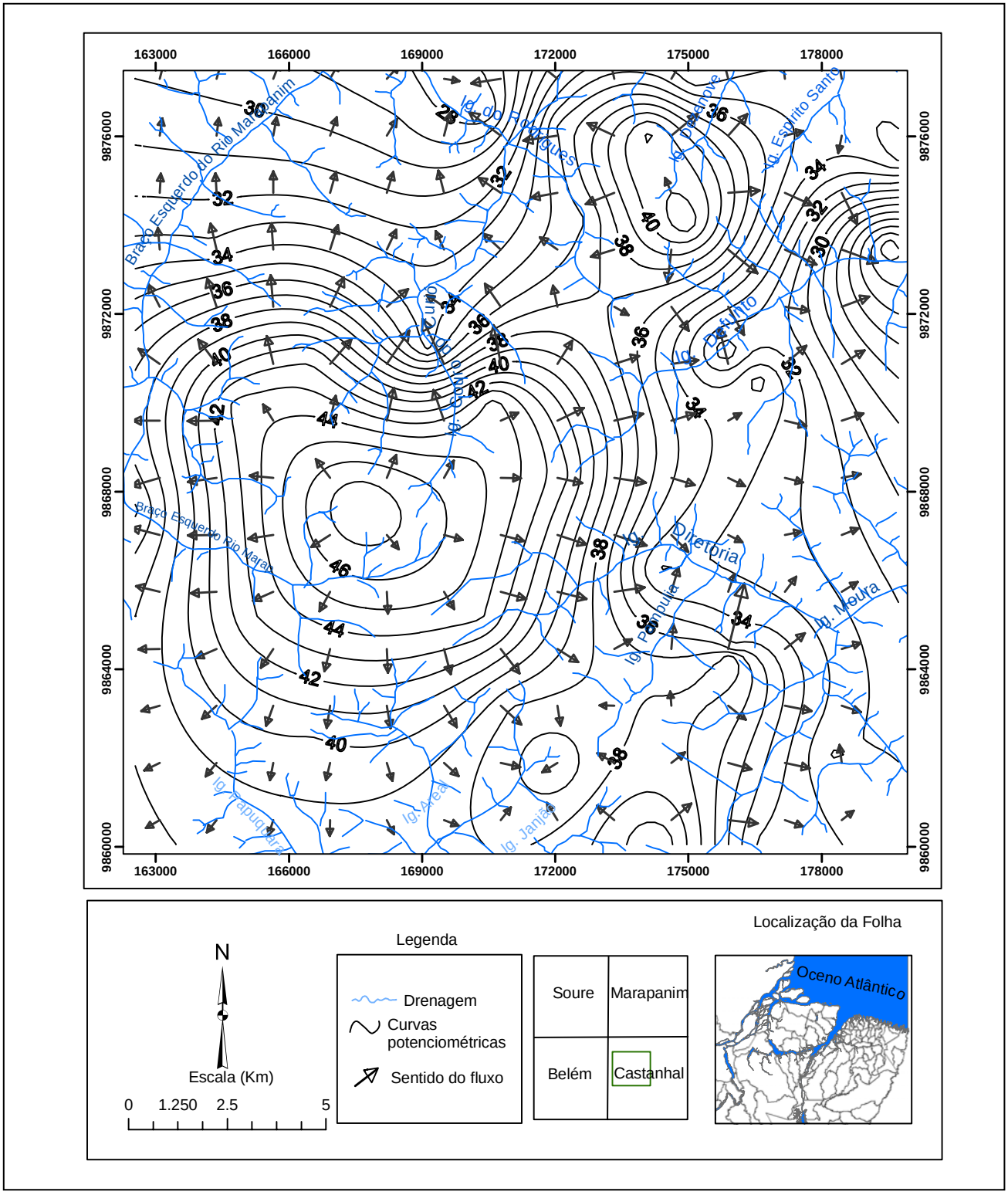


Figura 6.2.5: Mapa de Equipotencial Hidráulico do período menos chuvoso da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.

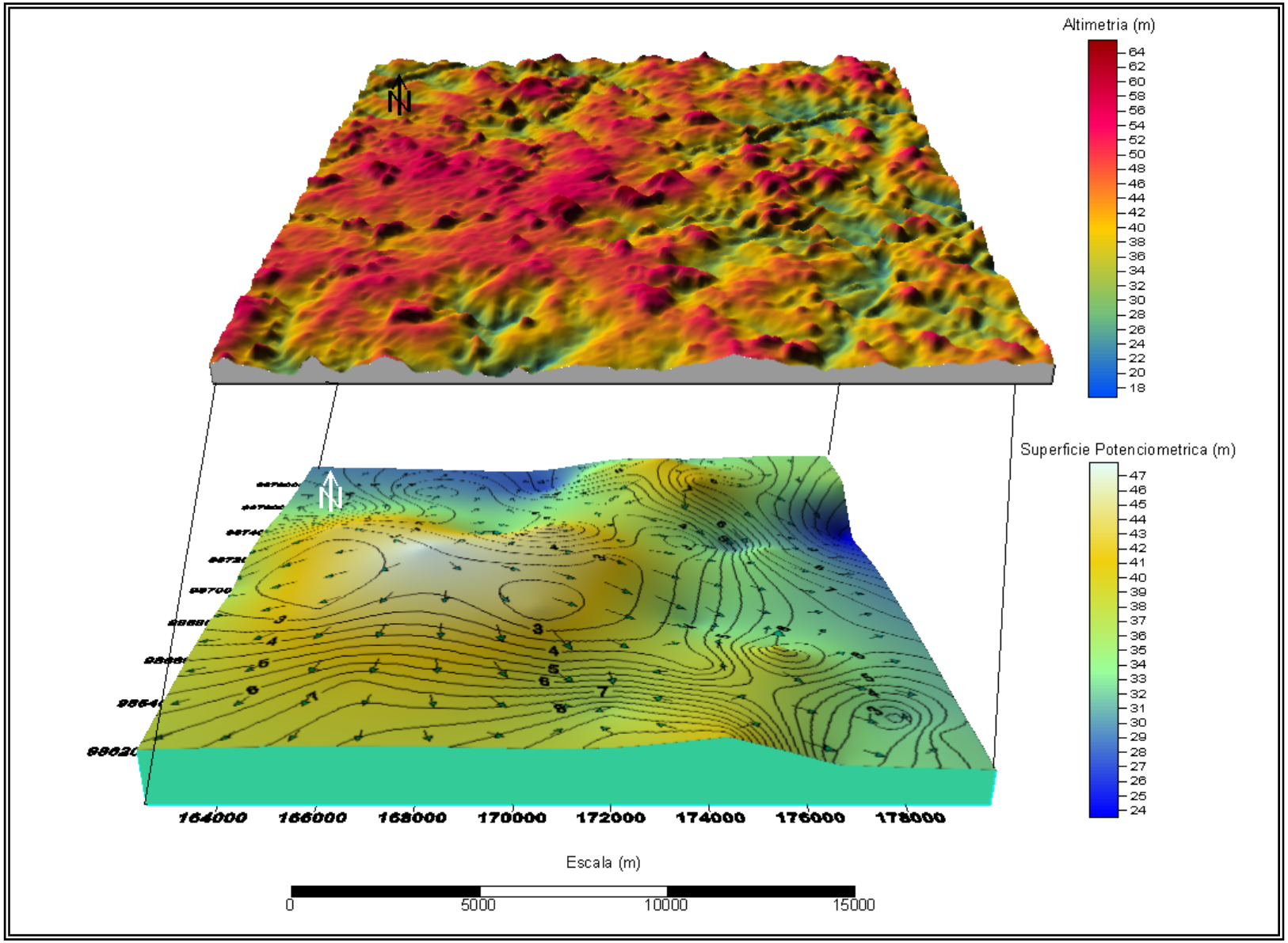


Figura 6.2.6: Bloco diagrama exibindo o fluxo subterrâneo e a topografia da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO

6.3 RECARGA DOS SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS

A recarga dos sistemas hidrogeológicos comporta diferentes situações que podem ser assim descritas:

a) A recarga dos sistemas hidrogeológicos livres (Superior e Barreiras) se dá basicamente pela precipitação direta a partir da água da chuva na porção centro-oeste da área de estudo, ou seja, nas proximidades do Igarapé Couro do Curió e na porção nordeste próximo ao Igarapé Defunto (Figura 6.3.1). Esta recarga é favorecida pela geologia da área caracterizada por sedimentos permeáveis, pelas condições atmosféricas e pelo condicionantes impostos pela neotectônica

c) Duas possibilidades podem ser consideradas para a recarga dos sistemas hidrogeológicos confinados (Pirabas) a semi-confinados (Barreiras).

A primeira seria a infiltração a partir das áreas onde essas formações geológicas afloram, situadas distalmente em relação a Castanhal, ou seja, nos municípios de Salinas, São João de Pirabas, Capanema, etc. A partir dessas áreas a água migraria, recompondo os depósitos subterrâneos, nos locais de maior para menor pressão. Uma dificuldade nesse caso seriam os deslocamentos verticais provocados por falhas que interrompem a continuidade lateral das camadas aqüíferas, dificultando essa migração.

A segunda possibilidade estaria relacionada a um condicionamento estrutural, no qual a recarga ocorreria diretamente na área de Castanhal, onde a infiltração aconteceria, através dos condutos naturais que seriam as zonas de falhas e fraturas que interceptam as formações geológicas e permitem a conexão hidráulica entre os sistemas hidrogeológicos mais superiores e esses mais profundos (PINHEIRO, no prelo). Dentre essas merecem destaque às posições trativas que na área são basicamente aquelas orientadas NW-SE, conforme os modelos cinemáticos estabelecidos, os locais de maior favorabilidade de recarga dos sistemas hidrogeológicos. Estas áreas de recarga apresentam uma certa compatibilidade às zonas de recarga definidas com base na análise do mapa de fluxo para o sistema hidrogeológico superior (Figura 6.3.1).

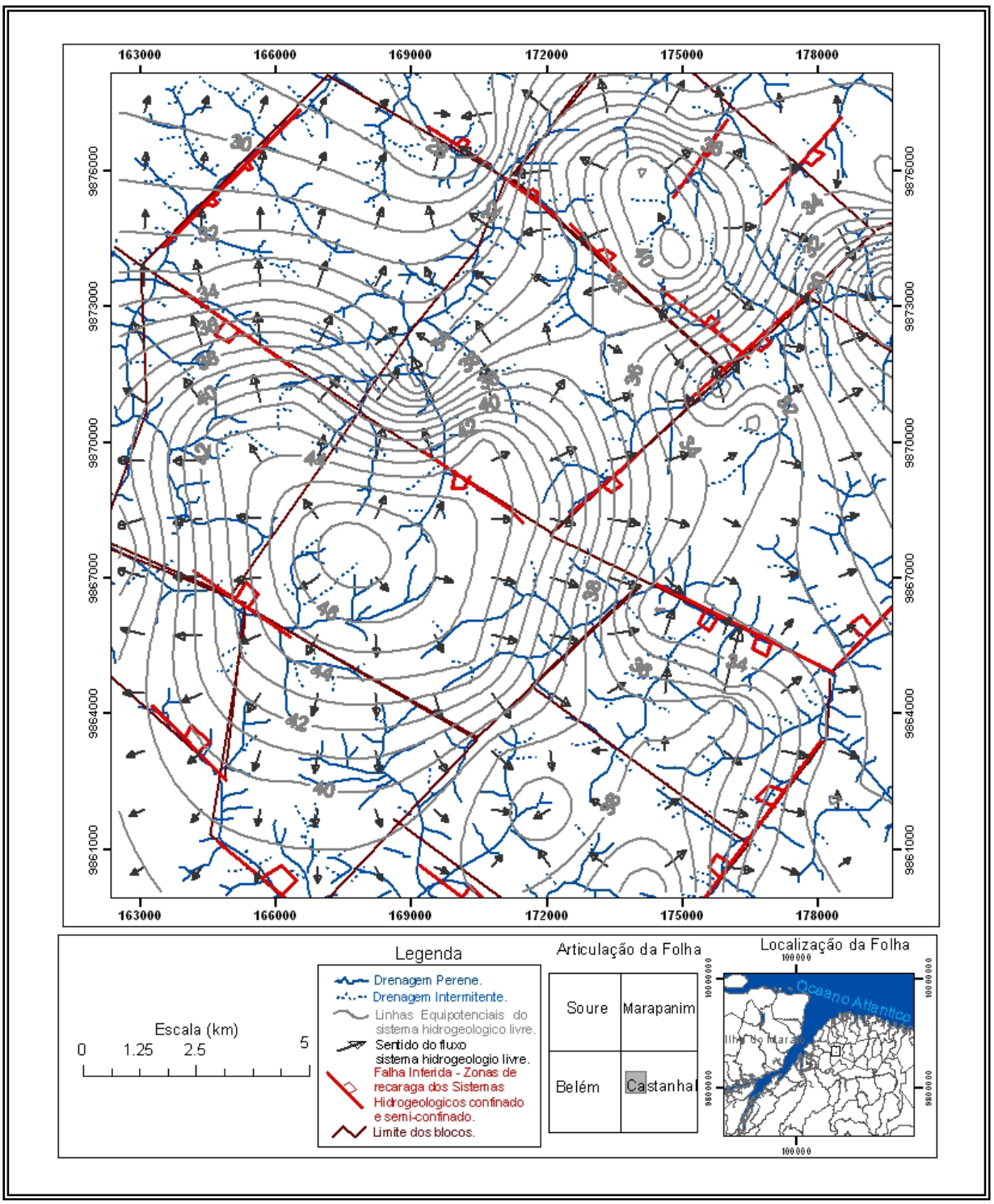


Figura 6.3.1 : Mapa das prováveis áreas de recarga na Folha SA-23 – V - C - I -1-SO.

7 INTERRELAÇÃO NEOTECTÔNICA E HIDROGEOLOGIA

A interrelação estabelecida, considerando a análise morfoestrutural, a geologia e a geotectônica permitiu esboçar um modelo de evolução para a área, que pode ser assim sumarizada:

a) No Terciário Superior (Mioceno-Plioceno), movimentos neotectônicos caracterizados por transcorrências, com componente transpressivo NW-SE e transtensivo NE-SW, desenvolveram falhas normais na direção NW-SE com mergulhos no sentido NE, responsáveis pela formação de uma extensa área abatida (bacia), que foi invadida pelo mar, resultando na deposição da seqüência carbonática da Formação Pirabas. (COSTA et al., 1996).
b) Um soerguimento na borda da bacia, permitiu a regressão do mar e a deposição dos sedimentos siliciclásticos do Grupo Barreiras (COSTA et al., 1996).
c) A partir do estabelecimento dessa nova paisagem seguiu-se um período de estabilidade no Pleistoceno, no qual foi desenvolvido, sob um clima tropical, uma cobertura laterítica ferrugionosa, autóctone e imatura sobre o Grupo Barreiras (COSTA, op cit.).
d) No Holoceno inicia-se um segundo pulso de movimentação neotectônica, no qual houve a deposição dos sedimentos Pós – Barreiras (COSTA, op cit.). O estudo morfoestrutural e sondagens elétricas verticais mostraram que esse pulso provocou reativações de falhas normais na direção NW-SE, provocando desnivelamento de blocos, responsáveis pela geração de *landforms* tectônicos alinhadas segundo duas direções principais: NW-SE e NE – SW; aparecimento de falhas normais também na direção NE-SW e falhas transcorrentes dextrais na direção E-W, comprovado pelo aparecimento de formas anômalas em Z na porção leste dos rios Inhangapi e do rio Marapanim. Este quadro estrutural mostra que não houve mudança nas orientações de tensões em relação ao primeiro pulso neotectônico, ou seja, as direções NW-SE continuaram como um componente transpressivo e NE-SW como transtensivo.
e) As falhas normais passaram a interagir com as transcorrentes formando um arranjo alternado de blocos altos e baixos com mergulhos no sentido NE e outros no sentido SW.
f) Estas falhas também impuseram um condicionamento estruturado no relevo: planícies fluviais, colinas pediplanizadas e colinas de topos aplainados, alinhadas segundo as direções: N20º-40ºW, N60º-70ºW, N30º-50ºE e N60º-70ºE; drenagem: padrões treliça, retangular e

paralelo e anomalias de drenagens: retilinearidade, aparecimento abrupto e localizado de meandros, estreitamento anômalo de vales ou canais e curvas anômalas desenvolvimento de lagos. Este arranjo em blocos também impôs modificações na configuração geométrica das camadas sedimentares em sub-superfície como:

- mudanças de atitudes das mesmas, devido aos deslocamentos e basculamentos;
- deslocamentos de 8 a 20m de rejeito vertical colocam lateralmente camadas não tão espessas e composição diferentes, interrompendo o fluxo subterrâneo e criando obstáculos para o fluxo a partir das áreas de recarga onde as formações afloram. Ou seja, a configuração em blocos gera comportamentos diferenciados para o fluxo hidráulico, condicionando a velocidade do mesmo ao basculamento das camadas, gerando assim superfícies potenciométricas distintas para cada bloco. Portanto, os mapas das superfícies potenciométricas devem ser avaliados com cuidado, levando em consideração cada bloco;
- caráter interdigitado das camadas, dificultando a determinação das espessuras saturadas. Sendo assim a estruturação em blocos introduz a necessidade de se estabelecer metodologias de calculo de reservas subterrâneas, pra cada bloco individualmente.

g) A distribuição das tensões na área, com base nas interpretações dos elementos estruturais identificados, produziram falhas normais de direção NW-SE, caracterizadas como zonas trativas ou superfícies potenciais de menor pressão que:

- constituem locais de maior favorabilidade para recarga dos sistemas hidrogeológicos. Logo os sistemas semiconfinados Barreiras e confinado Pirabas mesmo não aflorando na área de estudo, estão sendo alimentados a partir de águas pluviais e pelas drenagens controladas por essas falhas;
- possibilitam a conexão hidráulica entre os sistemas hidrogeológicos. Esta ligação permite que as águas do sistema hidrogeológico livre e menos profundo cheguem até os sistemas semiconfinado Barreiras e confinado Pirabas, provocando mistura das águas, fato confirmado por dados de Paranhos (no prelo) para a cidade de Belém, distante 56km da área de estudo. Logo estas zonas constituem áreas potencialmente condutoras tanto de água de boa qualidade, assim como substâncias nocivas a saúde humana, caracterizando - se como zonas vulneráveis aos sistemas hidrogeológicos mais profundos como o Pirabas, considerado o melhor sistema para captação de água de boa qualidade;

- quando atravessam as camadas calcárias trazem a potencialização dos mecanismos de dissolução, justamente por serem áreas de fluxo mais evidente. Daí a grande probabilidade do desenvolvimento de edifícios cársticos.

8 GEOPROCESSAMENTO-SIG

A principal utilidade do SIG 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 mesmos.

Durante os trabalhos foi gerado um total de 32 layers de informações estruturadas no SIG associados a um banco de dados, divididos em 5 grupos temáticos a saber:

- ✓ Layers do grupo temático localização
  1. Estado do Pará
  2. Zoom área de trabalho Regional e Semidetalhe
  3. Estrada de Terra
  4. Estrada Asfaltada
- ✓ Layers do grupo temático imagem
  1. imagem Landsat composição colorida RGB 543 da Folha SA-23 – V - C - I -1-SO
  2. imagem Landsat pancromática recorte Zona Homologa A.
  3. imagem Landsat pancromática recorte Zona Homologa B.
  4. imagem Landsat pancromática recorte Zona Homologa C.
  5. imagem Landsat pancromática recorte Zona Homologa D.
- ✓ Layers do grupo temático Modelamento Digital de Terreno
  1. Radar SRTM
  2. MDT porção oeste da folha SA-23 – V - C - I
  3. MDT folha SA-23 – V - C - I -1-SO
- ✓ Layers do grupo temático análise Morfoestrutural
  1. Rede de drenagem regional
  2. Rede de drenagem perene semidetalhe
  3. Drenagem efêmera semidetalhe
  4. Sub-bacias
  5. Microbacias
  6. Zonas Homologas A, B, C e D

7. Ordem de Drenagem Regional
8. Ordem de drenagem semidetalhe
9. Lagos
10. Lineamentos Regionais
11. Lineamentos semidetalhe
12. *Landforms* tectônicos Regionais
13. *Landforms* tectônicos semidetalhe
14. Elementos cinemáticos Regionais
15. Planície Fluvial
16. Colina de topo aplainado
17. Colinas pediplanizadas

- ✓ Layers do grupo temático hidrogeologia
    1. Localização dos poços
    2. Nível estático do período chuvoso e não chuvoso
    3. Fluxo Subterrâneo do período chuvoso e não chuvoso
    4. Localização das sondagens elétricas verticais

9 CONCLUSÕES

As pesquisas, análises e interpretações realizadas neste trabalho permitiram concluir que :

1. Os produtos utilizados: fotografias aéreas, imagens SRTM, Landsat e os programas computacionais como Global Mapper 8.0, Arc Gis 9.2, SPRING 4.3 e Arc-View 3.2 permitiram gerar informações sobre a rede de drenagem e as unidades do relevo, as quais integradas levaram a compreensão da geometria dos sistemas hidrogeológicos, bem como foram úteis para a agregação e cruzamento das diversas informações tratadas;
2. As informações cartográficas e alfanuméricas utilizadas neste trabalho possibilitaram o desenvolvimento de um SIG, que juntou todos os dados em uma única base, dando maior agilidade à sua consulta. Isso possibilita a disponibilização de uma memória técnica em formato digital que pode auxiliar os tomadores de decisão no estabelecimento de propostas de gerenciamento dos mananciais subterrâneos, assim como um planejamento urbano da área em questão;
3. A metodologia para a interpretação morfoestrutural, baseada na análise dos padrões de drenagem e relevo e o estudo hidrogeológico baseado em dados de sondagens elétricas verticais, e mapeamento do fluxo subterrâneo, possibilitaram mostrar que a área apresenta:

   - Em escala regional, cinco zonas homólogas, com drenagens seguindo as direções gerais: N20º-30ºW, N40º-50ºW, N60º-70ºW, E-W, N30º-40ºE, N40º-50ºE e N60º-70ºE. Na escala de semidetalhe, as direções N40º-50ºW, N50º-60ºW , N40º-50ºE e N50º-60ºE e secundárias nas direções N-S e E-W;
   - Três unidades de relevo como planícies fluviais, colinas pediplanizadas e colinas de topos aplainados;
   - Três sistemas hidrogeológicos: Superior, caracterizado como livre e encontrado a profundidades de 2 a 8m; Barreiras variando entre livre e semiconfinado e encontrado a partir de 20m de profundidade e o Pirabas caracterizado como confinado e encontrado a partir 90 a 120m de profundidade.
4. A integração das informações permitiu alcançar os objetivos declarados e definir que a área de estudo esta dentro de um contexto neotectônico regional, caracterizado pela atuação de um regime transtensivo, no qual predominam falhas distensivas de direção NW-SE e estruturas E-W, NW-SE e N-S;

5. A interação entre falhas, decorrentes da atuação desse regime de esforço, provocou na área um arranjo geométrico caracterizado por blocos estruturais romboédricos que também foram desnivelados por movimentações verticais gerando altos e baixos estruturais, causando modificações morfológicas e hidrogeológicas na área a saber:

   - Formação de *landforms* tectônicos primários de direção N20º-40ºW, N60º-70ºW, N30º-50ºE e N60º-70ºE, que em função do clima tropical da área, condicionaram a geração de unidades distintas de relevo: planícies fluviais, colinas pediplanizadas e colinas de topos aplainados;
   - Rejeitos verticais, que em função da pouca espessura das camadas levaram à justaposição lateral de aqüíferos e camadas não aqüíferas.
   - Estes rejeitos causados principalmente por zonas de falhas distensivas de direção NW-SE, constituem locais de maior favorabilidade à penetração vertical da água. Ou seja, os sistemas semiconfinado (Barreiras) e confinado (Pirabas) estão sendo recarregados *in situ* por estas zonas. Já os sistemas hidrogeológicos livres estão sendo recarregados na área de Castanhal, por água da chuva no período de maior precipitação (janeiro a agosto), principalmente nas porções centro-oeste da área de estudo, ou seja, nas proximidades do igarapé Couro do Curió e na porção nordeste próximo ao igarapé Defunto, sendo que nos meses de déficit hídrico (setembro a novembro) a recarga é feita de forma complementar, pelos rios e igarapés que cortam a região.
   - Além de possibilitar a recarga dos sistemas hidrogeológicos estas falhas consideradas superfícies de menor pressão facilitam a conexão hidráulica entre as camadas saturadas, ocasionando na mistura das águas dos sistemas. Disso decorre uma grande preocupação pois a contaminação de sistemas mais rasos e livres pode vir a contaminar os sistemas hidrogeológicos mais profundos, devido a essa conexão.

10 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, F.F.M. 1978. **A evolução dos cratóns Amazônico e do São Francisco comparada com seus homólogos do Hemisfério Norte.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 30., 1978 Recife. Anais... Recife: SBG.v.6, p.2293-2407.

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., 1988, Belém. Anais... Belém: SBG. v.2, p. 738-752.

ARGENTO, M. S. F. 2001. Mapeamento geomorfológico. In: ARGENTO, M. S. F **Geomorfologia uma atualização de bases e conceito**s. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p 365-386.

BARBOSA. G. V.; BOAVENTURA, R. S. ; PINTO, M. N. 1973. Geomorfologia da Folha. SB-23- Teresina e parte da Folha SB- 24- Jaguaribe. In: BRASIL, Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam. Folha SB- 23- Teresina e parte da Folha SB- 24- Jaguaribe: geologia, geomorfologia, solos, vegetação. Rio de Janeiro: DNPM, v.2, parte II. 24p (Levantamento dos recursos naturais)

BARBOSA, G.V.; SILVA, T.C.DA; NATALI FILHO, T; DEL'ARCO, D.M.; COSTA, R.C.R. DA. 1984. Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do Projeto Radam Brasil. Boletim Técnico, Série Geomorfologia. Salvador..n. 1, p. 187.

BERROCAL, J.; ASSUMPÇÃO, M.; ANTEZANA, R.; DIAS NETO, C.M.; ORTEGA, R.; FRANÇA, H.; VELOSO, J.A.V. 1984. **Sismicidade do Brasil**. São Paulo, Editora Esperança. IAG/USP – Comissão Nacional de Energia Nuclear. 320p.

BEZERRA, P. E. L. 1996. **Neotectônica e morfogênese da região de Carolina (MA, TO) Bacia do Parnaíba**. Belém: Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. (Dissertação de Mestrado).

BEZERRA, P. E. L. 2003. **Compartimentação morfotectônica do interflúvio Solimões-Negro.** Belém: Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências (Tese Doutorado).

CAILLEUX, A.& TRICART, J. 1972. **Lê problème de la classification dês faits géomorphologiques**. Annales de Geographie, n. 349, LXV année, p. 162-186.

CÂMARA, G. & MEDEIROS, S. 1998. **Geoprocessamento para projetos ambientais.** Curitiba – PR. (Curso Pré – Evento GIS Brasil).

CÂMARA, G. **&** MONTEIRO, A. M. V. Fundamentos de geoprocessamento.[2007?]. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/> Acesso em 10/07/2007.

CASSETI, V. Cartografia Geomorfologia . [2007?]. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/cap5/index.php> Acesso em 06/06/2006.

CAVALCANTE, L.M. 2000. **Neotectônica na área do Tiracambú (NE do Estado do Pará, NW do Estado do Maranhão).** Belém: Universidade Federal do Pará. Instituto de 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 (Special publication, 37) p 1-34.

COSTA, M.L DA. & ANGELICA, R. S. (Coord). 1997.**Contribuições a Geologia da Amazônia**. Belém: FINEP SBG-NO.. p 21-72.

COSTA, JBS & HASUI, Y. 1991. O quadro geral da evolução tectônica da Amazônia. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 3., 1991, Rio Claro. **Boletim de resumos expandidos**. Rio Claro: UNESP/ SBG. p.142-145.

COSTA, JBS & HASUI, Y. 1992. Aspectos fundamentais do Proterozóico Médio da Amazônia Brasileira . **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n .4, p. 87-492.

COSTA, JBS; IGREJA, H.L.S; BORGES, M. S; HASUI, Y. 1991. O quadro tectônico regional do Mesozóico na região norte do Brasil. In: SIMPÓSIO DA GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., 1991, Belém. *Anais*... Belém: SBG. p.166-178.

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**, v.4, n. 2, p. 23-44.

COSTA, F. R. DA. 2004. **Influência da neotectônica sobre os arranjos geométricos dos aqüíferos na Região Metropolitana de Belém**. Belém: Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 157 p. (Dissertação de Mestrado).

FERREIRA, C.S. 1982. Notas Estratigráficas sobre o Cenozóico marinho do estado do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1. Belém. *Anais*. Belém: SBG,1982. p. 84-88.

FERREIRA, C.S.; VICALVI, M.A.; MACEDO, A.C.M. 1984. Os limites meridionais da Bacia de Pirabas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: SBG, v.1, p. 326-329.

FERREIRA, C.S., & FRANCISCO, B.H.R. 1988. As relações da Formação Pirabas (Oligoceno-Mioceno) com as Formações continentais do nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém. Anais. Belém: SBG, v.6.

GÓES, A. M. 1981. Estudo sedimentológico dos sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecurú, no nordeste do Pará e noroeste do Maranhão. Belém: Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. (Dissertação de Mestrado).

GÓES A. M., ROSSETTI, D. F.; NOGUEIRA A. C. R., TOLEDO P. M. 1990. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Serie Ciências da Terra** v.2, p.3-15.

HASUI, Y.;ABREU,F.A.M.; VILLAS, R.N.N. 1984. Província Paraíba. In: ALMEIDA, F.F.M de ; HASUI, Y. (Coordenadores.). **O Pré –Cambriano no Brasil**. . São Paulo: Edgard Blucher. 984. p.36-46.

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: SBG/MG. p. 1-31.

HASUI, Y. & COSTA, J. B. S. 1991. **Zonas e Cinturões de Cisalhamento**., Belém, Editora da UFPA: 144 p.

HASUI, Y. 1996. Evolução geológica da Amazônia. In: SIMPÓSIO DA GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5. Belém. **Boletim de resumos expandidos**. Belém: SBG, 1996. p.31-34.

HOWARD, A.D. 1967. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. **Bulletin American Association of Petroleum Geologist** , v. 51, n.11, p. 2246 -2259.

IBGE, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1995. **Manual Técnico de Geomorfologia** (Coord. Bernardo de Almeida Nunes et al). Série Manuais Técnicos em Geociências. Número 5, Rio. de Janeiro.

Imagem SRTM. Disponível em :<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> Acesso em: novembro de 2006.

Imagem LANDSAT. Disponível em :<http://glcf.umiacs.umd.edu> Acesso em: março de 2007.

LIMA, E.P.; QUARESMA, J.B.; NÓBREGA, E.A.T. 1994. Modelo de um aterro sanitário para disposição final de resíduos sólidos na cidade de Castanhal e o Estudo de Impacto Ambiental.

ESTUDOS DO NUMA 1. Universidade Federal do Pará. Núcleo de Meio Ambiente. Belém, 72p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 249p.

MORNER, N.A. 2001. Neotectonics and structural geology; general introdution. **Bulletin International Quaternary Association** (INQUA). Neotectonics Commmission, n.13, p87,1990.

O liberal. 2007. Disponível em: <http://www.orm.com.br/oliberal/interna/default.asp?modulo=247&codigo=304771> Acesso em: 02/12/2007.

OLIVEIRA, J. R. (Coord.). 2003.PHRMB – Projeto **Estudos hidrogeológicos da região metropolitana de Belém e adjacências**. Belém: CRPM, CD ROM (Relatório Final).

OUCHI, S. 1985. Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. **Geological Society of Amariucan Bulletin**, v. 96 p. 504-5115.

PINHEIRO, A. V. dos R.; TEIXEIRA, S. G.; BORGES, M. da S. ; ABREU , F. de A. M. de . 2007. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do relevo da Folha Castanhal (Sa.23-V-C-I), Nordeste do Pará. In: CONGRESSO ABEQUA - **Estudos do quaternário e a responsabilidade sócio ambiental**. CD ROM.

PINHEIRO, A.V.R. 2008. **Ferramentas multidisciplinares na avaliação geoambiental da área de Castanhal, nordeste do Pará-Brasil.** (no prelo). 244 p. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. Belém.

ROSS, J. S. 1992. **Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo**. Rev. Geografia. São Paulo, IG-USP.

ROSSETTI, D.F.; TRUKENBRODT, W;GÓES, A.M. 1989. Estudo Paleoambiental e Estratigráfico dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina. 1989, Belém. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi (Serie Ciências da Terra). Belém, v. 1, p. 25-72.

SÁ, J.H.S. 1969. Contribuição a geologia dos sedimentos terciários e quaternários da região Bragantina. **Boletim Instituto Geologia**. Rio de Janeiro v. 3, p.21-3.

SETRANS – SECRETARIA EXECUTIVA DE TRANSPORTES. 2000. *SIGIEP – Sistema de Informações Geográficas do Estado do Pará*. CD ROM.

SILVA, O.F. & LOESWENSTEIN,P. 1968. Contribuição à Geologia da Folha São Luis (SA-23), no estado do Pará II .Novas Localidades e razão magnésio-cálcio do calcário Pirabas. **Boletim do Museu Parense Emílio Goeldi**, Belém, v.13 n.17.

SOARES P. C.; LUZ, M.E.R.; REDAELLI, R. ; GUERRA, S.MS. 1982. Análise morfoestrutural em fotografias aéreas : aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná. São Paulo: PAULIPETRO (Consórcio CESP/IPT), 18p.

SOARES, P.C & FIORI, A.P. 1976.Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Campinas, **Notícia Geomorfológica**, v.16 n.32 p.71–104.

SOUZA JUNIOR, C.M.; QUADROS, M.L. do E.S.; BEZERRA, O.V. 1992. Projeto: **Relatório final estágio de campo III, Município de Castanhal**. Belém: Universidade Federal do Pará.

STRAHLER, A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) análisis of erosional topography. **In: Geological Siciety of Amarica, Bulletin**, v. 63 p.1117-1142.

STRAHLER, A. N. 1971. Statistical Analysis in Geomorphic Research. **Journ. Geol**., Chicago: v. 3, 62, n. 1, p. 1-25.

STEWART, L.S. & HANCOCK, P.L. 1994. Neotectonics. In:. HANCOCK, P.L (Ed). **Continental Deformation.** New York: Pergamon Press, p. 370 – 409.

SUGUIO, K. 2001. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais passado - presente = futuro?**. São Paulo: Editora Paulo's.

SUMMERFIELD, M.A. 1991. **Global geomorphology.** NY: John Wiley & Sons, 245p.

SYLVESTER, W. 1988. Strike- slip faults.Gelogical **Society of America Bulletin**, n.100 p.1666-1703.

TEC GEO - SONDAGEM GEOFÍSICA. 2006. Disponível em: <http://tecgeofisica.com.br/conteúdo/diagnostico.htm> Acesso em : 02/09/2007.

THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. 1955. The water balance. **Climatology** v. 8 n. 1.

WALKER, R.G. **Facies Models**. 1979. Hamilton: Geological Assoc, 211p.

WOODCOCK, N.H & SCHUBERT, C. 1994. Continetal strike-slip tectonics. In STEWART, I.S & HANCOCK, P. L. *Neotectonics.* New York: Pergamon Press. 370-409p.