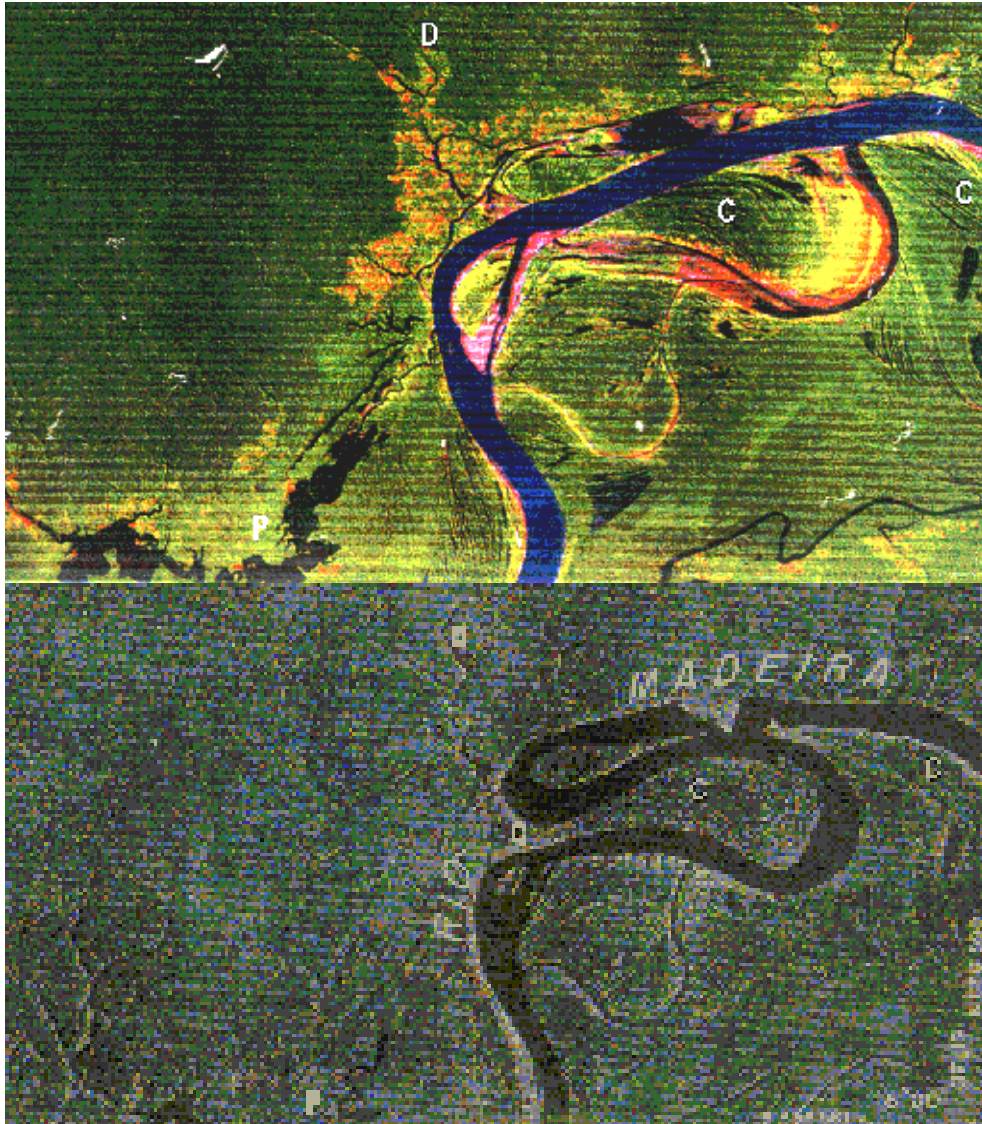


A P O S T I L A
ANÁLISE DE DRENAGEM E SEU SIGNIFICADO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO
(3ª Edição)

Geólogo MÁRIO IVAN CARDOSO DE LIMA



Dinâmica do rio Madeira em 20 anos: embaixo RVL (1972) e em cima Landsat-TM5 (1992).
Q = 750m

Março/2006

BELÉM – PARÁ - BRASIL

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	14
AGRADECIMENTOS	15
I – INTRODUÇÃO	16
Tabela 1: CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS RIOS DO MUNDO	18
Quadro 1: RIOS MAIS EXTENSOS DO MUNDO	19
II – CONCEITOS DE DRENAGEM	20
Figura 1: Relação entre a drenagem e seu vale	21
III – ONDE ESTUDAR A DRENAGEM:	22
Figura 2: Dinâmica Fluvial do rio Madeira (RO)	22
Estampa 1 – Imagem de Radar de Visada Lateral, RADARSAT, Modo Standard, banda C, 1997, região do Baixo rio Amazonas – Oriximiná (PA)	23
Estampa 2: Imagem de Radar de Visada Lateral, GEMS, Banda X, 1972, da região do Médio rio Madeira (RO). Projeto RADAMBRASIL/IBGE	24
Estampa 3: Imagem de LANDSAT-TM5, R5G4B3,1992, da região do Médio rio Madeira (RO)	25
IV – PARÂMETROS DA ÁGUA CORRENTE	26
V – ANÁLISE DE BACIAS DE DRENAGEM	27
V.1 – Hierarquia Fluvial	27
Figura 3a – Bacias e Sub-bacias de drenagem – Região de Pedra Azul (MG) – Águas Vermelhas (BA). Folha SD.24–Y-C	29
Figura 3b – Visão Tridimensional de Bacias de Drenagem . Bacias de drenagem em A, B e C, com destaque para a B que está delimitada em traços preto . Segundo Pazzaglia (2001)	30
V.2 – Análise Morfométrica	30
V.3 - Análise Topológica	31
Figura 4 – Hierarquia Fluvial e Magnitude	32
Figura 5 – Relevo, Densidade de Drenagem e Vertente	33
Figura 6 – Forma da Bacia	33
Tabela 2: Principais propriedades morfométricas das bacias de drenagem	34
Figura 7 – Análise Topológica	35
Figura 8a – Relação de Bifurcação	36
Figura 8b - Erosão, Transporte e Deposição	37
Figura 8c – Perfil Longitudinal de uma Bacia de Drenagem	37

VI – PROPRIEDADES DE DRENAGEM 20

Figura 9: Propriedades da Drenagem.....	22
---	----

VII – MORFOLOGIA FLUVIAL 23

Figura 10: Tipos de leito.....	24
--------------------------------	----

Figura 11: Classificação de canal com base no seu padrão e carga de sedimento.	25
---	----

Figura 12: Tipos de Canais.....	26
---------------------------------	----

Figura 13: Detalhes dos tipos de canais retilíneo, entrelaçado e meândrico (Bigarella, 1979).	28
--	----

Quadro 2 - Relação entre a sinuosidade e o grau de entrelaçamento para os principais tipos de canais fluviais..... 28

Quadro 3- Relação entre a Largura e os principais tipos de canais fluviais 28

Figura 14: Depósitos Sedimentares em Canais.	45
---	----

Estampa 4a – Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS, Banda L, 1995, da região do rio Oiapoque (Amapá/Brasil-Guiana Francesa/França)..... 46

Figura 15: Retilinearidade do rio Oiapoque (BRASIL/Guiana Francesa- FRANÇA).	47
---	----

Figura 16: Tipos de mudanças de canais.	47
--	----

Figura 17: Distintos Tipos de Canais.....	48
---	----

Estampa 4b – Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS, banda L, 10/1995. Região da foz do rio Xingu (PA). Assimetria e anomalias de drenagem. Modelo 3 D. 49

Figura 18: Principais Fácies Sedimentares do Sistema Fluvial (Allen, 1964).	50
--	----

Figura 19: Canal Meândrico.....	50
---------------------------------	----

Estampa 5 – Imagem Landsat-TM5, R5G4B3, 12/1996. Região do Médio rio Negro (AM) 45

Estampa 6- Imagem Landsat TM5, R5G4B3, 12/1996. Região do rio Unini..... 45

Estampa7–Imagem Landsat TM5, R5G4B3, 12/1996. Região dos rios Negro e Solimões. 46

Figura 19 a : Tipos de Canais e de Sedimentos	46
---	----

Figura 20: Canal Entrelaçado.	47
------------------------------------	----

Figura 21: Rio Niger (Mali).	47
-----------------------------------	----

Figura 22: Rio Brahmaputra (Índia).	48
--	----

Figura 23: Rio Yangtze (China).	48
--------------------------------------	----

Figura 24: Tipos de Meandros.	49
------------------------------------	----

Figura 25: Rio Mississipi (EUA).	49
---------------------------------------	----

Figura 26: Rio Ucayali (Peru).....	50
------------------------------------	----

Estampa 8 - Imagem Landsat-MSS.08/1974. Mali. África Central.	51
Estampa 9 – Imagem Landsat-MSS. 12/ 1972. Rio Brahmaputra . Índia. Ásia.	52
Estampa 10 - Imagem Landsat-MSS . 12/1973. Rio Yantgze. Ásia.....	53
Estampa 11 – Imagem Heat Capacity Mapping Mission (HCMM) - NASA 1980. 04/1979. Rio Mississippi (USA).....	54
Estampa 12 – Imagem Landsat-MSS, 08/1978. Rio Ucayali (Peru).	55
VIII – DINÂMICA DAS CORRENTES 56	
VIII.1 – Regimes de Fluxo.....	56
Figura 27:Forma dos Vales.....	56
Figura 28: Estágios do ciclo fluvial de erosão.....	57
Figura 29 – Forma de Leitões.....	58
IX – AMBIENTE DE SEDIMENTAÇÃO FLUVIAL 59	
Quadro 3a - Tipos de Canais e Seus Significados.....	60
X – PADRÕES DE DRENAGEM 61	
X.1 – Fatores que Influenciam a Drenagem.....	61
X. 2 – Classificação Descritiva da Drenagem.....	61
Figura 30: Bloco-Diagrama ilustrando fatores morfológicos.....	62
Tabela 3: COMPARAÇÃO DAS CLASSIFICAÇÕES DOS PRINCIPAIS PADRÕES DE DRENAGEM.....	64
Figura 31 – Padrões de Drenagem.....	66
Tabela 4: ANÁLISE DA DRENAGEM NA INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA.....	67
X.2. 1 – Dendrítico.....	68
X. 2.2 – Paralelo	69
Figura 32: Padrão de drenagem básico Dendrítico e seus modificados.....	69
X.2.3 – Treliça.....	70
Figura 33: Padrão de drenagem básico Paralelo e seus modificados	70
Figura 34: Padrão de drenagem básico Treliça e seus modificados.....	71
X.2.4 – Retangular.....	71
X.2.5 – Radial	72
Figura 35: Padrão de drenagem Radial e seus modificados.....	72

X.2.6 – Anelar	72
X.2.7 – Multibasinal.....	72
X.2.8 – Contorcido	72
X.2.9 – Complexo	73
X.2.10 – Palimpsesto	73
X.2.11 – Defluente.....	73
X.2. 12 – Yazoo.....	73
X.2.13 – Antropogenético.....	73
X.3 – Classificação Genética	73
Figura 36: Padrões de drenagem básicos.....	74
Figura 37: Padrão de drenagem Dendrítico.....	75
Figura 38: Canal de drenagem Meândrico-Anastomótico.....	82
Figura 39: Padrão de drenagem Paralelo.....	82
Figura 40: Padrão de drenagem Multibasinal.....	83
Figura 41: Padrão de drenagem Retangular. Folha SD.23-Y-B.....	83
Figura 42: Padrão de drenagem Anelar. Folha SD.23-V-C.....	84
Figura 43: Padrão de drenagem Trelça. Folha SD.23-Z-D.....	84
Figura 44: Padrões de drenagem Trelça e Retangular. Folha SF.23-Z-A.....	85
Tabela 5: CLASSIFICAÇÃO GENÉTICA DOS PADRÕES DE DRENAGEM	86
Tabela 6: FATORES MORFOLÓGICOS QUE AFETAM A EVOLUÇÃO DO PADRÃO DE DRENAGEM.....	87
Figura 45: Padrões de drenagem Distributário e Retangular. Folha NA.19-Z-D.....	88
Figura 46: Exemplo de Drenagem Defluente: Canal Cassiquiare.....	89
Figura 47: Exemplo de Drenagem Defluente no limite Brasil, Venezuela e Colômbia: Canal Cassiquiare (Venezuela/Colômbia).....	81

Estampa 13a – Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS, banda L, 10/1995. Canal Cassiquiare.	81
Quadro 4 – CARACTERÍSTICAS DOS PADRÕES DE DRENAGEM	82
XI – PROBLEMAS DO TRAÇADO FLUVIAL	85
XI.1 – Meandros	85
XI. 2 – Capturas	86
XI.3 – Anarquia de Rios	86
XI.4 – Rios sem Proporção	86
<i>Estampa 13b – Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS, banda L, 1995. Bacia do rio Araguari (AP). Captura do rio Araguari.</i>	96
<i>Estampa 13b – Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS, banda L, 1995. Serra Parima(RR). Captura do rio Parima</i>	97
Figura 48: Principais componentes da geometria de um meandro.	81
Figura 49: Índice de Sinuosidade da drenagem.	81
Figura 50: Captura fluvial por transbordamento.	82
Figura 51: Captura fluvial por recuo de cabeceira. Segundo Penteado, (1974),	82
Figura 52: A drenagem, o vale e seus terraços.	83
XII – TERRAÇOS ALUVIAIS	85
XIII –ANOMALIAS DE DRENAGEM	86
Figura 53 –Anomalias de Drenagem . Holmes apud (Howard, 1967).	87
Figura 54 - Efeitos do arqueamento em um sistema de drenagem.	88
XIV – DRENAGEM E FORMAS DE RELEVO	88
XIV.1 – Introdução	88
Estampa 14 – Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS, banda L, 1995. Região do rio Marié.	89
XIV.2 – Índices de Dissecação	90
Figura 55: Inter-relação entre a litoeestrutura geológica e a paisagem.	90

Tabela 7 – PADRÕES DE DRENAGEM E FORMAS DE RELEVO	91
Tabela 8 – CONVENÇÕES E ABREVIATURAS UTILIZADAS NA INTERPRETAÇÃO DAS FORMAS DE RELEVO.....	92
Tabela 9 – ÍNDICES DE DISSECAÇÃO	93
Figura 56: Formas de Relevo associadas a rochas sedimentares.....	93
Figura 57: Relação da drenagem com estrutura homoclinal.....	94
 XV – ESTILOS ESTRUTURAIS 95	
XV.1- Introdução	95
Figura 58: Esforços Compressivos e Estilos Estruturais.....	96
XV.2 – Estilo Compressional	96
Figura 59: Rampas.....	97
Figura 60 - Relação entre os eixos de tensão no estilo compressional.....	97
Figura 61: Zona de Cavalgamento.....	112
Figura 62: Pop up e Zona Triangular.....	112
Figura 63 - Relação entre os eixos de tensão no estilo direcional.....	112
XV.3 – Estilo Direcional.....	112
Figura 64: – Características Geométricas de um Cisalhamento Puro (Irrotacional). Segundo Milani (1989)..	112
Figura 65: Características Geométricas de um Cisalhamento Simples (Rotacional). Segundo Milani, 1989..	113
Figura 66: Zonas Transpressivas e Transtensivas.....	113
Figura 67: Zonas de Transpressão e Transtensão.....	114
Figura 68: Recobrimentos e Zonas de Transtensão e Transpressão.....	115
Figura 69: Falha Simples e Zona de Falha Direcional.....	116
Figura 70: Falhas Secundárias e Fraturas.....	116
Figura 71: Dúplexes Direcionais e Terminações de Leques Imbricados.....	117
Figura 72: Estruturas do tipo Rabo de Cavalo (Horsetail).....	118
Figura 73: Estruturas em Cunha. Junções do tipo distensivo e compressivo, e combinados. Segundo Christle Bick & Biddle, 1985.....	118
Figura 74 : Estrutura <i>Side Wall Ripout</i> . Perfil (a e b) e planta (c).....	119
XV.4 – Estilo Distensional.....	119
Figura 75 - Relação entre os eixos de tensão no estilo distensional. Sigma 2 e Sigma 3 são horizontais e Sigma 1 é vertical.....	120
Figura 76: Modelos da Falhas Normais Lítricas.....	121

XVI – DRENAGEM E A ESTRUTURA GEOLÓGICA 122

Figura 77: Estrutura Geológica e a Drenagem.123

XVII - MORFOESTRUTURAS 124

Figura 78: A Drenagem e as Rochas Dobradas.124

Figura 79: Rio Al Mashiah (Iêmen). Exemplo de rio e seus afluentes controlados estruturalmente. Modificado de Baker, 1986.126

Estampa 15 - Imagem Landsat-MSS, 01/1976 . Região do rio Al Mashiah 127

Figura 80a: Regra dos "V's" em estratos inclinados.128

Figura 80b - Sumário da Regra dos " V's"129

Figura 81: Análise das Formas dos Elementos de Drenagem (FED).130

Figura 82 – Classificação de assimetrias de drenagens segundo Soares et al. (1982).132

Figura 83: Estruturação das Formas dos Elementos de Drenagem.133

Figura 84: Estrutura de São Tomé (PA/Brasil).134

Figura 85: Anomalia de Drenagem do Erepecu (PA/Brasil).135

Figura 86 – Anomalia de Drenagem do Uíca (PI/Brasil). Folha SB.23-Z-D.136

Figura 87: Modelos de estruturas anticlinal e sinclinal.137

Figura 88: Modelo de domo falhado.138

Figura 89: Modelos de anomalias morfoestruturais.139

Figura 90 – Principais Trendes Estruturais da Bacia do rio Solimões (Lima, 1988).140

Figura 91 – Principais Estruturas Neotectônicas da região Amazônica (Costa et al., 1996).141

XVIII - INTERPRETAÇÃO DE LITOLOGIAS FUNDAMENTADA NA DRENAGEM	141
XIX - INFLUÊNCIA DA DRENAGEM NOS TIPOS DE SOLOS	142
Tabela 10: INTERPRETAÇÃO DE LITOLOGIAS COM BASE NO PADRÃO DE DRENAGEM.....	143
Tabela 11: INTERPRETAÇÃO DE LITOLOGIAS COM BASE NAS PROPRIEDADES DA DRENAGEM.....	144
Tabela 12: CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS	145
XX - DRENAGEM E AS FORMAÇÕES FLORESTAIS	146
XX.1 – Introdução	146
XX.2 - Floresta Ombrófila.....	146
XX.3 - Floresta Estacional.....	147
XX.4 - Campinarana (Campinas).....	147
Tabela 13: ESQUEMA DE CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO BRASILEIRA – CLASSIFICAÇÃO FITOGEOGRÁFICA	148
XX.5 - Savana (Cerrado/Campos).....	149
XX.6 - Savana-Estépica	149
XX.7 - Estepe	149
XX.8 - Formações Pioneiras.....	150
XX.9 - Vegetação de Transição (Tensão Ecológica)	150
XXI – DRENAGEM COMO INDICADORA DE MOVIMENTOS NEOTECTÔNICOS	151
XXI.1 – Definições.....	151
Figura 92: Ajustamento de um rio Entrelaçado.	153
Figura 93: Levantamento de um rio Entrelaçado.....	154
Figura 94: Subsidência de um rio Entrelaçado.....	155
Figura 95: Carga Mista em rio Meândrico.....	156
Figura 96: Carga em Suspensão em rio Meândrico.....	157
Figura 97: Levantamento e subsidência em zonas costeiras. Summerfield, 1991.	158
Figura 98: Modelos de padrões de Falha em drenagens ao longo da Falha de San Andreas (EUA).	159
Figura 99: Neotectônica na região do Lago Arari (PA/Brasil).....	160

Estampa 16 – Imagem Landsat-TM-5, R5G4B3, 1999. Região de Chaves. Ilha de Marajó. (PA). 161

Figura 100: Neotectônica da região de Chaves (PA/Brasil). 162

Estampa 17 - Imagem Landsat-TM-5, R5G4B3, 1996. Região dos rios Branco e Jauaperi (AM). Canal.....	163
Estampa 18 – Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS-1, Banda L, 10/1995. Região do Médio rio Madeira (AM).....	164
XXII – INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA-GEOMORFOLÓGICA DA DRENAGEM 165	
XXII.1 – Metodologia.....	165
Tabela 14 – Convenções e Abreviaturas Utilizadas na Interpretação da Drenagem ...	166
XXII.1.1 – Propriedades de Drenagem	169
XXII.1.2 – Padrões de Drenagem e Tipo de Canal.....	169
XXII.1.3 – Análise das Formas de Relevo	169
XXII.1.4 – Índice de Dissecção.....	169
XXII.1.5 – Litologias, Solos e Vegetação	169
XXII.1.6 – Estruturas Geológicas.....	169
Tabela 15: MODELO DE PREENCHIMENTO	170
XXII. 2 – Exemplos Práticos.....	171
XXII.2.1 – Região dos rios Guamá e Tocantins (PA/Brasil).....	171
Litologias.....	173
Propriedades de Drenagem	173
Metamórficas de baixo grau	173
Metamórficas médio grau e granitóides	173
Resumo da Figura 101	174
Integração Temática	174
Litologias.....	174
Metamórficas de baixo grau	174
Metamórficas médio grau e granitóides	174
Estampa 19 – Rios Guamá e Tocantins (PA/Brasil), Norte. Imagem RVL, GEMS (1972), banda X.....	175
Estampa 20 – Rios Guamá e Tocantins (PA/Brasil),Sul, imagem SRTM (2000).	176
Figura 101: Região dos rios Guamá-Tocantins (Belém – PA/Brasil)	177

XXII.2.2 – Região do Além-São Francisco (BA/GO/Brasil)	177
Estampa 21 – Além-São Francisco (BA/GO/Brasil), imagem SRTM, (2000).....	180
Figura 102: Região do Além São Francisco (BA/GO – Brasil)	181
Resumo da Figura 102.....	182
Propriedades de Drenagem versus Litologias.....	182
Litologias.....	182
Propriedades de Drenagem	182
Gnaisses	182
Resumo da Figura 102	182
Integração Temática	182
Litologias.....	182
Gnaisses	182
XXII.2.3 – Região da Confluência dos rios Negro e Solimões (Manaus – AM/Brasil) 183	
Estampa 21- Rios Negro e Solimões (AM/Brasil) em imagem LANDSAT – TM5, R5G4B3 (1995).	184
Figura 103: Região da confluência dos rios Negro e Solimões (Manaus – AM/ Brasil).....	185
Resumo da Figura 103.....	186
Propriedades de Drenagem versus Litologias.....	186
Litologias.....	186
Propriedades de Drenagem	186
Resumo da Figura 103.....	186
Integração Temática.....	186
Litologias.....	186
XXII.2.4 – Região do Médio rio Negro (Barcelos) (AM/Brasil)	187
Estampa 22 – Médio rio Negro (AM/Brasil) em imagem LANDSAT – TM5, R5G4B3 (1995).	188
Figura 104- Região do Médio rio Negro (Barcelos – AM/Brasil).....	189

Resumo da Figura 104	190
Propriedades de Drenagem versus Litologias	190
Litologias.....	190
Propriedades de Drenagem	190
Resumo da Figura 104.....	190
Integração Temática.....	190
Litologias.....	190
XXII.2.5 – Região do Médio rio Negro (Santa Isabel do Rio Negro-AM).....	191
Estampa 23 – Rio Negro (AM/Brasil) em imagem LANDSAT – TM5, R5G4B3 (1995)...	192
Figura 105: Região do Médio rio Negro (Santa Isabel do rio Negro – AM/Brasil).....	193
Resumo da Figura 105.....	187
Propriedades de Drenagem versus Litologias.....	187
Litologias.....	187
Propriedades de Drenagem	187
Gnaisses	187
Resumo da Figura 105.....	187
Integração Temática.....	187
Litologias.....	187
Gnaisses	187
XXII.2.6 – Região do Baixo rio Negro (Moura- AM/Brasil)	188
Estampa 24 – Baixo rio Negro (AM/Brasil) em imagem LANDSAT – TM5, R5G4B3 (1995).	190
Figura 106: Região do Baixo Rio Negro (Moura –AM/Brasil).....	191

Resumo da Figura 106.....	192
Propriedades de Drenagem versus Litologias.....	192
Litologias.....	192
Propriedades de Drenagem	192
Gnaisses.....	192
Resumo da Figura 106.....	192
Integração Temática.....	192
Litologias.....	192
Gnaisses.....	192
XXII.2.7 – Região do rio Solimões (São Paulo de Olivença- AM/Brasil).....	193
Estampa 25 – Região do rio Solimões (AM/Brasil) em imagem LANDSAT – TM5, R5G4B3 (1995).	194
Figura 107: Região do rio Solimões (São Paulo de Olivença -AM/Brasil).....	195
Resumo da Figura 107.....	196
Propriedades de Drenagem versus Litologias.....	196
Litologias.....	196
Propriedades de Drenagem	196
Resumo da Figura 107.....	196
Integração Temática.....	196
Litologias.....	196
XXXIII - EXERCÍCIOS PRÁTICOS 187	
XXIII.1 – Exercício 1	187
Exercício 1: Chapada do Cachimbo – Região do Médio Juruena (MT-AM).....	188
XXIII.2 – Exercício 2	187
Exercício 2 – Chapada do Cachimbo – Região do Médio rio Teles Pires.....	187
XXIII.3 – Exercício 3	187
Exercício 3 - Chapada do Cachimbo – Região do Médio rio Teles Pires. Para símbolos e abreviaturas vide Tabela 14	187
XXIV - CONCLUSÕES 188	
XXV – BIBLIOGRAFIA 189	

APRESENTAÇÃO

A presente pesquisa tem por objetivo primordial o preenchimento de uma lacuna no campo de estudo de drenagem, de especial significado nas imageinterpretações geológica e geomorfológica, em razão dos dados que podem ser auferidos e por se constituir em uma feição de fácil identificação em qualquer imagem, produto de sensoriamento remoto, independentemente de suas resoluções espectrais, radiométricas, temporais e espaciais.

Considerando a importância social, política e econômica, a drenagem e seus padrões propiciam, também, informações relevantes sobre o meio físico (coesão, massividade, heterogeneidade, porosidade, permeabilidade e solubilidade) dos terrenos, importantes para geólogos, pedólogos, geomorfólogos e engenheiros, além de seus condicionamentos com o clima, a pedogênese e dos ambientes fitofisionômicos, no sentido de fornecer informes dos recursos naturais de uma região. Tais conhecimentos são decisivos na execução de obras de engenharia, como acontece nas hidrelétricas, além de constituir em importante embasamento nos planejamentos agrícola, zoneamento ecológico – econômico e potencial geoambiental.

Para tanto são descritos 25 capítulos ordenados de forma didática de maneira a introduzir conceitos, parâmetros e métodos, que fornecem subsídios para a análise e interpretação da drenagem e seus padrões. Tais capítulos são respaldados por 107 Figuras, 15 Tabelas, quatro Quadros, 25 Estampas e 3 Exercícios, consubstanciados por cerca de uma centena de citações bibliográficas. Constituindo, deste modo, uma nova edição, ampliada e revisada, na qual foram acrescentados três quadros, 15 estampas, 8 figuras e 1 Exercício, visando torná-la mais ilustrativa, pois o escopo do trabalho foi mantido.

Após uma parte introdutória onde se discorrem sobre as importâncias, justificativas e algumas curiosidades sobre a drenagem, o capítulo II aborda o conceito de drenagem, sendo que o III descreve onde se estuda a drenagem e seu significado nas imagens de sensoriamento remoto. No capítulo IV descrevem-se os parâmetros da água corrente (massa, peso, densidade, fluxo, etc), com vistas introdução do Número de Froude e Número de Reynolds, de grande importância para compreensão do regime de fluxo e as formas de leito. O capítulo V trata de análise de bacias de drenagem onde são abordadas hierarquias fluviais e análises morfométricas e topológicas, seguido no capítulo VI de propriedades da drenagem. Por sua vez, os capítulos seguintes tratam de morfologia fluvial (VII), dinâmica das correntes (VIII), e ambientes de sedimentação fluvial (IX) como pré-requisitos para os estudos de padrões de drenagens (X), na qual se destacam as classificações descritiva e genética, e suas inter-relações como terraços aluviais (XI), problemas do traçado fluvial (XII) e anomalias de drenagem (XIII). Os capítulos seguintes enfocam especificamente a ligação da drenagem com a geologia (litologia, tectônica e morfoestruturas), geomorfologia (relevo e índices de dissecação), solos e vegetação, com destaque para efeitos da neotectônica. Finalmente, no capítulo XXII são inseridos sete exemplos práticos, dos quais seis são da região Amazônica, como ilustração de tudo o que foi discorrido. Incluem-se, ainda, três exercícios práticos, um já interpretado, outro não interpretado no sentido de forçar o leitor a avaliar seu grau de entendimento, e um terceiro com exemplo de símbolos e convenções, todos situados na Chapada do Cachimbo, zona lindeira Pará/Mato Grosso.

Introduziram-se convenções e abreviaturas relativas a hierarquia fluvial, análises morfométricas e topológica, assim como a propriedades de drenagens e de morfoestruturas (FED), com o IE (Índice de Estruturação) e FC (Fator de Confiabilidade), com o fito de fornecer alicerce a interpretação, as quais são mostradas em Tabelas, objetivando uma melhor compreensão. Com efeito, procurou-se mostrar em cartogramas, de forma esquemática, a interpretação cinemática das fraturas em relação aos eixos compressivos atuantes na região estudada, embora se constitua um tema bastante polêmico. Em suma, constitui um trabalho de pesquisa, envolvendo compilação, porém apresentando dados novos, inéditos, e que poderão ser de grande valia para o estudante e para o profissional.

DEDICATÓRIA

Dedico esta obra ao meu pai Clóvis, meu irmão Antônio e meu filho Ivo, os quais apesar de terem saído prematuramente de minha convivência, ainda continuam vivos em minha memória.

AGRADECIMENTOS

Consignam-se os mais sinceros agradecimentos à biblioteconomista Maria Ivany Cardoso de Lima, minha irmã, pela normalização da bibliografia; ao geólogo Jaime Franklin Vidal Araújo, companheiro de longa data, pelo incentivo e leitura crítica dos originais; ao geólogo Pedro Edson Leal Bezerra pelas sugestões apresentadas e ao eng. agrônomo João Viana Araújo pelas correções gramaticais e contribuições estilísticas.

A geógrafa Arlete Silva, ao arquiteto Afonso Rabelo Chaves e à geóloga Márcia da Cruz Santos agradecem-se pelas colaborações na elaboração das figuras. Aos colegas geógrafa Maria Denise Ribeiro Bacelar, Lúcia Helena de Oliveira Costa e Diniz Botelho Filho, a gratidão pelo escaneamento das figuras e preparo do material para edição. Pelo esmero e dedicação, agradecem-se aos colegas geóloga Carmelita Gatto, engenheiro cartógrafo Paulo Roberto Alves dos Santos, engenheira florestal Luciana Mara Temponi de Oliveira e oceanógrafa Sálua Cristina Saldanha Cezar Guimarães Marini pela seleção das imagens de sensoriamento remoto aqui retratadas. Do mesmo modo, reconhecimentos são extensivos as pessoas que, direta ou indiretamente, na forma de sugestões técnicas e incentivos, propiciaram a consecução da presente obra.

I – INTRODUÇÃO

A drenagem sempre desempenhou papel importante para a humanidade, desde os seus primórdios até os dias de hoje, tanto para locomoção, transporte de bens, comunicação, alimentação, como para fornecer o insumo vital para os seres vivos: *a água*.

Ao longo de sua história, as populações quase sempre procuraram se fixar às margens dos cursos d'água, sendo que muitas civilizações deveram seu florescimento à presença de um grande rio, como verificado pelo historiador grego Heródoto ao referir-se: "O Egito é uma dádiva do Nilo".

Com o advento da industrialização, a demanda cada vez mais acentuada por energia, levou o homem a utilizar mais intensamente a energia hidráulica, chegando atualmente a construção de grandes hidrelétricas. O Brasil com seu vasto potencial hídrico abriga algumas das mais importantes usinas hidrelétricas do mundo, merecendo destaque: Itaipu (PR), Tucuruí (PA), Serra da Mesa (GO), Ilha Solteira (SP), Itumbiara (MG) e Paulo Afonso (BA), dentre outras.

O território brasileiro, pródigo pelas suas bacias hidrográficas como a do Paraná, Parnaíba, São Francisco e Amazonas - Solimões, dentre outras, teve seu processo de colonização e penetração através dos rios, merecendo destacar os rios Tietê e São Francisco. O primeiro conhecido como o "rio dos Bandeirantes", enquanto o último como o de "Integração Nacional".

Aliás, em razão da importância da drenagem alguns dos estados brasileiros devem sua denominação aos rios que o cortam, porém existem algumas curiosidades a respeito do assunto. Se não vejamos:

- Estado do Amazonas deve sua denominação ao rio Amazonas, porém em seus domínios estaduais o rio Solimões tem uma maior extensão. Dentro dessa filosofia o Estado do Pará deveria chamar-se Amazonas, pois que neste estado tal rio recebe uma única denominação, além de apresentar significativa extensão;
- rio Parnaíba é tão importante para o Estado do Piauí que este poder-se-ia chamar Estado do Parnaíba, por ser um rio perene e apresentar afluentes mais caudalosos do que o vizinho Estado do Maranhão. De igual modo, o Estado da Bahia poderia ser chamado de Estado do São Francisco;
- Estado do Rio Grande do Norte situa-se, por sua vez, na região nordeste brasileira, quando em verdade o grande rio do Norte é o Amazonas-Solimões.

A nossa grande bacia hidrográfica é a do rio Amazonas. Este embora seja um único rio, recebe distintas denominações nos países limítrofes ao Brasil. Nasce no Peru, no Planalto de *La Raya* com o nome de *Vilcanota*, passando depois a ser chamado de *Ucayali* e *Maranon*. Quando adentra na Colômbia, é denominado pela primeira vez de Amazonas, porém em território brasileiro (Tabatinga - Estado do Amazonas) cognomina-se de Solimões. A denominação Amazonas só ocorre a jusante da confluência com o rio Negro. Por esta razão é aqui denominado de Amazonas-Solimões, uma vez que o rio Solimões (com cerca de 980 km em território brasileiro) é muito pouco citado, mesmo nos livros textos de 1º e 2º graus.

Outro fato que merece bastante atenção por parte dos estudiosos de drenagem e suas bacias, é o de rios que tidos como afluentes constituem-se, em verdade, em principais, podendo-se citar os rios Guamá e Capim, e Tocantins e Araguaia, dentre outros, no Estado do Pará. Tais situações geralmente estão associadas a efeitos da neotectônica e/ou de marcante controle estrutural.

Na **Tabela 1** são apresentadas as características principais dos rios mais importantes do mundo, de acordo com Milliman & Meade (1983). À guisa de comparação, são

evidenciados os parâmetros área de drenagem, comprimento, descarga de água e descarga de sedimentos. Destacam-se o Amazonas- Solimões, o Paraná-La Plata e o Orinoco, na América do Sul; o Congo e o Nilo, na África; o Mississipi-Missouri, na América do Norte e o Ganges-Brahmaputra, o Yangtze, o Yenisei, o Lena e o Mekong, na Ásia. Observa-se uma vantagem para o Amazonas em praticamente todos os parâmetros analisados. O rio Amazonas-Solimões só perde para o rio Nilo em extensão, sendo pouco mais extenso que o Mississipi-Missouri, mostrando, contudo área de drenagem bem mais significativa. Por outro lado, apresenta menores valores em termos de descarga de sedimentos que o Ganges-Brahmaputra e de descarga de água (km³/ano) em relação ao Orinoco. O **Quadro 1** apresenta uma relação dos rios mais extensos do mundo, com destaque para o Nilo, o Amazonas-Solimões e o Mississipi –Missouri.

Além da importância social, política e econômica, a drenagem e seus padrões propiciam informações relevantes sobre o meio físico, em especial o geológico e o geomorfológico, além de seus condicionamentos com o clima, a pedogênese e os ambientes fitofisionômicos, no sentido de fornecer informações dos recursos naturais de uma região. Tais conhecimentos são relevantes na execução de obras de engenharia, como acontece nas hidrelétricas, além de mostrar implicações no planejamento agrícola, zoneamento ecológico - econômico, potencial geoambiental, etc. Seguindo esta ótica as bacias de drenagem constituem a principal unidade para estudos de macrozoneamento ambiental e de zoneamento ecológico - econômico, de grande aplicação atual, e, portanto de expressiva relevância no estudo do meio ambiente.

Dentre os objetivos da presente obra inserem-se a revisão da classificação e as propriedades quantitativas e qualitativas de padrões de drenagem, assim como o estudo dos diferentes processos envolvidos em sua formação, com vistas, principalmente, a subsidiar estudos geológicos e geomorfológicos quando da interpretação de produtos de sensores remotos.

Esta obra é dirigida principalmente a geólogos e geomorfólogos, pelas informações existentes e que podem ser extraídas no que concerne:

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

No entanto, sem sombra de dúvida, interessa também ao engenheiro civil, ao meteorologista, ao engenheiro agrônomo, e ao engenheiro florestal, devido as suas implicações em obras de engenharia, clima, solos e formações florestais, respectivamente.

Esta obra de cunho inédito em termos nacionais procura abordar de modo introdutório e didático diversas propriedades, inter-relações e condicionantes da drenagem, visando obter informes sobre o tipo de terreno de uma região e de sua evolução até os dias atuais.

Tabela 1: CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS RIOS DO MUNDO

RIO	CONTINENTE	ÁREA DE DRENAGEM x 10 ³ (km ²)	COMPRIMENTO (km)	DESCARGA DE ÁGUA		DESCARGA DE SEDIMENTOS (10 ³ t/ano)
				m ³ /s	km ³ /ano	
Amazonas-Solimões	América do Sul	6 150	6 275	200 000	6 300	900 000
Congo	África	3 820	4 670	40 000	1 250	43 000
Orinoco	América do Sul	990	2 570	34 880	1 100	210 000
Ganges-Brahmaputra	Ásia	1 480	2 700	30 790	971	1 670 000
Yangtze	Ásia	1940	4 990	28 540	900	478 000
Mississipi-Missouri	América do Norte	3 270	6 260	18 390	580	210 000
Yenisei	Ásia	2 580	5 710	17 760	560	13 000
Lena	Ásia	250	4 600	16 300	514	12 000
Mekong	Ásia	790	4 180	14 900	470	160 000
Paraná- La Plata	América do Sul	2 830	3 940	14 900	470	92 000
Nilo	África	2 590	5 584	-	-	-

Fonte: Milliman & Meade apud Baker (1986)

Quadro 1: RIOS MAIS EXTENSOS DO MUNDO

Rio	Continente	Nascente	Foz	Extensão (km)
Nilo	África	Lago Vitória	Mar Mediterrâneo	6 690
Amazonas-Solimões	América do Sul	Lago Glacial nos Andes (Peru)	Oceano Atlântico	6 296
Mississipi-Missouri	América do Norte	Montanhas Rochosas (EUA)	Golfo do México	5 970
Yangtze Kiang	Ásia	Platô do Tibet (China)	Mar da China	5 797
Ob	Ásia	Montanhas Altai (Rússia)	Golfo de Ob	5 567
Huang Ho (Amarelo)	Ásia	Montanhas Kunlan (China)	Golfo de Chilli	4 667
Yenisei	Ásia	Montanhas Tannu-Ola	Oceano Ártico	4 506
Paraná	América do Sul	Junção dos rios Paranaíba e Grande	Rio da Prata	4 498
Irtish	Ásia	Montanhas Altai (Rússia)	Rio Ob	4 438
Zaire (Congo)	África	Junção dos rios Lualaba e Luapula	Oceano Atlântico	4 371
Heilong (Amur)	Ásia	Junção dos rios Shilka e Argun	Tatar Strait	4 352
Lena	Ásia	Montanhas Baikal	Oceano Ártico	4 268
Mackenzie	América do Norte	Cabeceira do rio Finlay	Mar de Beaufort	4 241
Niger	África	Guiné	Golfo de Guiné	4 184
Mekong	Ásia	Platô do Tibet	Mar do Sul da China	4 023
Mississipi	América do Norte	Lago Itasca	Golfo do México	3 779
Missouri	América do Norte	Confluência dos rios Jefferson, Galardin e Madison	Rio Mississipi	3 726
Volga	Europa	Platô Valdai	Mar Cáspio	3 687
Madeira	América do Sul	Confluência dos rios Beni e Mamoré	Rio Solimões	3 238
Purus	América do Sul	Andes	Rio Solimões	3 207
São Francisco	América do Sul	Serra da Canastra (Brasil)	Oceano Atlântico	3 198
Yukon	América do Norte	Junção dos rios Lewes e Pelly	Mar de Bering	3 185
St Lawrence	América do Norte	Lago Ontário	Golfo St Lawrence	3 058
Grande	América do Norte	Montanhas San Juan	Golfo do México	3 034
Brahmaputra	Ásia	Himalaias	Rio Ganges	2 897
Indus	Ásia	Himalaias	Mar Árábico	2 897
Danúbio	Europa	Floresta Negra	Mar Negro	2 842
Eufrates	Ásia	Junção dos rios Murat Nehri e Kara Su (Turquia)	Shat-al-Arab	2 799
Darling	Oceania	Terras Altas da Austrália	Rio Murray	2 739
Zambezi	África	Zâmbia	Canal Moçambique	2 736
Tocantins	América do Sul	Planalto Central (Brasil)	Rio Pará	2 699
Murray	Oceania	Alpes Australianos	Oceano Índico	2 589
Nelson	América do Norte	Cabeceira do rio Bow (Canadá)	Baía de Hudson	2 575
Paraguai	América do Sul	Mato Grosso (Brasil)	Rio Paraná	2 549
Ural	Ásia	Montes Urais	Mar Cáspio	2 533
Ganges	Ásia	Himalaias	Baía de Bengala	2 506
Amua Darya	Ásia	Montanhas Pamir	Mar de Aral	2 414
Japurá	América do Sul	Andes (Colômbia)	Rio Amazonas	2 414
Salween	Ásia	Montanhas Kunlun (Tibet)	Golfo de Martaban	2 414
Arkansas	América do Norte	Colorado Central	Rio Mississipi	2 348
Colorado	América do Norte	Colorado (Grand County)	Golfo da Califórnia	2 333
Dnieper	Ásia	Montanhas Valdai (Rússia)	Mar Negro	2 284
Ohio-Allegheny	América do Norte	Potter County	Rio Mississipi	2 102
Irrawady	Ásia	Confluência dos rios Nmai e Mali	Baía de Bengala	2 092
Orange	África	Lesoto	Oceano Atlântico	2 092
Orinoco	América do Sul	Serra Parima (Venezuela)	Oceano Atlântico	2 062
Pilcomaio	América do Sul	Andes (Bolívia)	Rio Paraguai	1 999
Xi Jiang	Ásia	Yunnan (China)	Mar da China	1 989
Columbia	América do Sul	Lago Columbia (Canadá)	Oceano Pacífico	1 983
Don	Ásia	Tula (Rússia)	Mar de Azov	1 968
Sungari	Ásia	China/Coréia do Norte	Rio Amur	1 955
Saskatchewan	América do Norte	Montanhas Rochosas	Lago Winnipeg	1 939
Peace	América do Norte	Montanhas Stikine (Canadá)	Rio Great Slave	1 923
Tigris	Ásia	Montanhas Taurus (Turquia)	Shatt-al-Arab	1 899

Fonte: www..infoplease.com/ipa/

II – CONCEITOS DE DRENAGEM

Guerra (1993) define drenagem como uma feição linear negativa produzida por água de escorrência, que modela a topografia de uma região. Por sua vez, Christofolletti (1974) conceitua como canais de escoamento inter-relacionados que formam uma bacia. Monteiro & Silva (1979) afirmam ser um conjunto da rede hidrográfica com elementos temporários ou permanentes. Mais recentemente, Deffontaines & Chorowicz (1991) definem rede de drenagem como um conjunto de superfícies topográficas subaéreas, as quais são contíguas com pendentes ladeiras acima, em todos os lados, à exceção da direção do fluxo da água. Esse conjunto de superfícies pode ser coberto com água, temporariamente ou de forma perene.

Suguiu & Bigarella (1990) apresentam conceituações de drenagem sob o ponto de vista geológico e geomorfológico. Sob este último aspecto, consideram como uma corrente canalizada ou confinada, incluindo os canais sem água de regiões secas, enquanto que, geologicamente, como o tronco principal de um sistema de drenagem.

Concorda-se aqui com a primeira proposição, ao passo que geologicamente sugere-se o seguinte enunciado: feição linear negativa relacionada às zonas de fraqueza dos terrenos (litologias) geológicos. Tais zonas podem representar fraturas (juntas ou falhas), estruturas primárias ou secundárias e interfaces litológicas de comportamento reológico distinto.

Não deve ser confundida, no entanto, drenagem com o seu vale, já que este pode ser definido como um corredor ou depressão longitudinal, entre o topo de dois interflúvios, cuja extensão pode variar de alguns quilômetros até centenas de quilômetros, dentro do qual correu ou corre uma drenagem e sua porção mais profunda é o talvegue. (Monteiro & Silva, 1979) (**Figura 1**).

A **Figura 1** exemplifica a relação entre a drenagem e seu vale, neste caso em forma de "U", que abriga uma drenagem com feições meândricas, incluindo o desenvolvimento de terraços e diques marginais.

A drenagem apresenta inúmeros sinônimos, tais como *rio*, *ribeirão*, *regato*, *igarapé*, *arroio* ou *riacho*, dentre outros. A drenagem secundária é codinominada na Amazônia de *igarapé* (igara+pé do tupi = caminho de canoa), enquanto que no Sul do Brasil é chamada de *arroio*. (do castelhano *arrugium* = regato). No entanto, em imageologia, é designada genericamente de *ramo*, *curso* ou *canal fluvial*. *Imageologia* é aqui conceituada como o estudo geológico em imagens de produtos de sensores remotos, incluindo também fotogeologia, aplicada especificamente a fotografias aéreas convencionais, em razão do termo imagem, de onde deriva, ser genérico.

A bacia do Amazonas-Solimões, uma das mais importantes do planeta, recebe para a sua drenagem secundária denominações tais como: *igarapé*, como visto acima, *paraná* e *furo*. *Paraná*s são cursos de água que subdividem um rio, em razão da presença de uma ilha, enquanto *furos* são braços de água que ligam um curso de água (*paraná*) a outro, ou a um lago.

A drenagem tem um importante significado para os intérpretes de produtos de sensoriamento remoto, *imageintérpretes*, pois além da facilidade de sua identificação em tais produtos, fornece informações significativas sobre os tipos de terreno por onde flui, com maior significado ao escopo da geologia e geomorfologia, no que tange à definição de estruturas geológicas, litologias e propriedades como *coesão*, *massividade*, *heterogeneidade*, *porosidade*, *permeabilidade* e *solubilidade*, dentre outros. Pode também indicar a pendência do terreno e mostrar sua assimetria. Não deve, contudo ser negligenciada sua importância em termos pedológicos e fitoecológicos, haja vista a íntima relação dos tipos de solos e formações florestais com as formas de relevo, terrenos geológicos e o clima, principalmente.

Em função do fornecimento de água a drenagem pode ser efêmera, intermitente ou perene. No primeiro caso contém água somente com a presença de água pluvial; no segundo apenas em determinadas épocas ano, enquanto os perenes sempre apresentam água em seu canal, devido o abastecimento por água subterrânea.

A utilização da drenagem e seus padrões constituíram-se em um dos primeiros passos na interpretação de imagens de produtos de sensores remotos dos temas geologia, geomorfologia,

pedologia e fitoecologia, em particular nos terrenos caracterizados por relevos fracos ou arrasados, como ocorre em planaltos rebaixados, pediplanos, planícies, etc. Deste modo, ao ser entendido o seu significado, o trabalho do imageintérprete será facilitado, na busca da definição e de como se desenvolveram as formas de relevo, e sua atuação nas estruturas geológicas e tipos de terrenos (litologias).

Nos capítulos seguintes serão apresentadas as propriedades da drenagem, tipos de leitos, canais e vales, assim como a hierarquia fluvial, com vistas ao estudo de seus padrões, seus problemas de traçado, suas anomalias e suas inter-relações com as formas de relevo, estruturas, litologias, morfoestruturas, solos, vegetação e neotectônica. É fundamental, no entanto que sejam feitas algumas considerações sobre como e onde estudá-la, bem como ênfase especial a exemplos práticos que ocorrem em território brasileiro, dos quais serão extraídas informações, principalmente, de cunho geológico-geomorfológico.

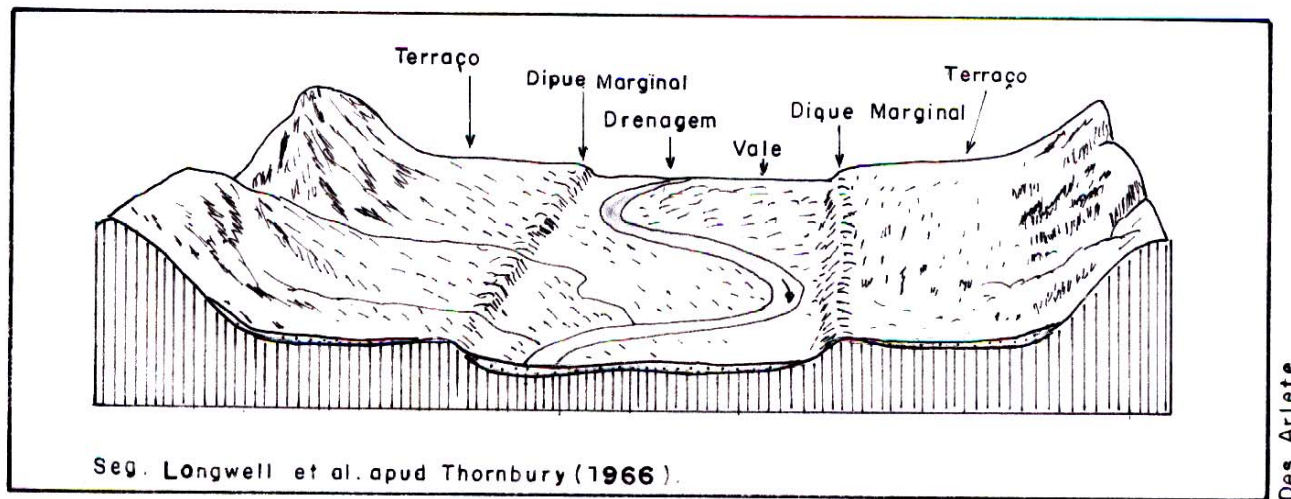


Figura 1: Relação entre a drenagem e seu vale.

Não deve ser confundida a drenagem com seu vale, uma vez que este situa-se entre os divisores de água, limitando-se pelas suas ombreiras e na sua parte inferior serpenteia a drenagem, na planície de inundação, onde assomam terraços e diques marginais, como suas feições mais marcantes (Longwell apud Thornbury, 1966).

III – ONDE ESTUDAR A DRENAGEM:

A drenagem está bem delineada em cartas planimétricas e plani-altimétricas, em diversas escalas: 1:50.000; 1:100.000; 1:250.000; 1:1.000.000 e 1:2.500.000, as mais comuns, elaboradas em território brasileiro, principalmente, pelo IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, e pela DSG (Divisão do Serviço Geográfico) do Ministério da Defesa.

A outra fonte para estudo de drenagem são os produtos de sensores remotos nas faixas do visível, infravermelho e microondas do espectro eletromagnético. Embora seu traçado seja relativamente fácil, os resultados obtidos vão depender sobremaneira da experiência do imageintérprete e do tipo de sensor utilizado (**Figuras 2 e 3**). Atualmente, dispõe-se de fotografias aéreas verticais, e imagens nas faixas do visível, infravermelho e microondas, orbital ou não. Desses produtos as fotografias aéreas verticais, graças a sua elevada resolução espacial, de 2m a 5m, são os que fornecem maiores detalhes sobre a drenagem em trabalhos de detalhe a semidetalhe. As imagens de satélite do tipo LANDSAT (**Estampa 3**), IKONOS, KOSMOS, MOMS, SPOT, dentre outros, além de imagens de Radar de Visada Lateral, orbital (**Estampa 1**) ou aerotransportado (**Estampa 2**), fornecem também importantes subsídios para a extração da drenagem em trabalhos de reconhecimento (1:250.000) e até mesmo em semidetalhe (1:100.000).

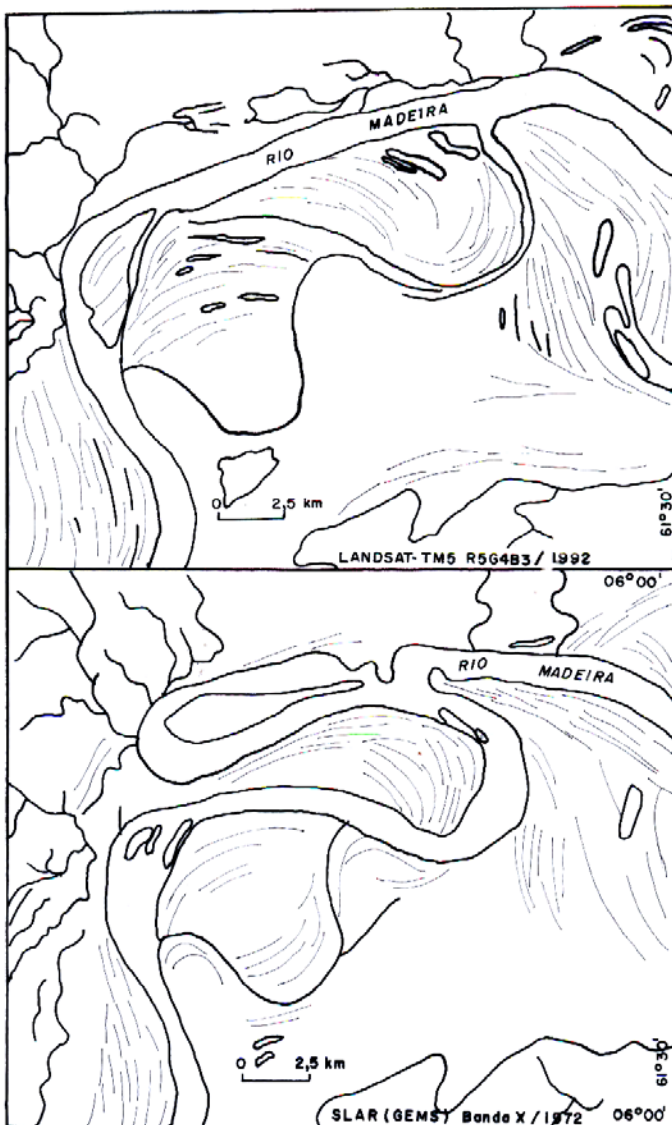
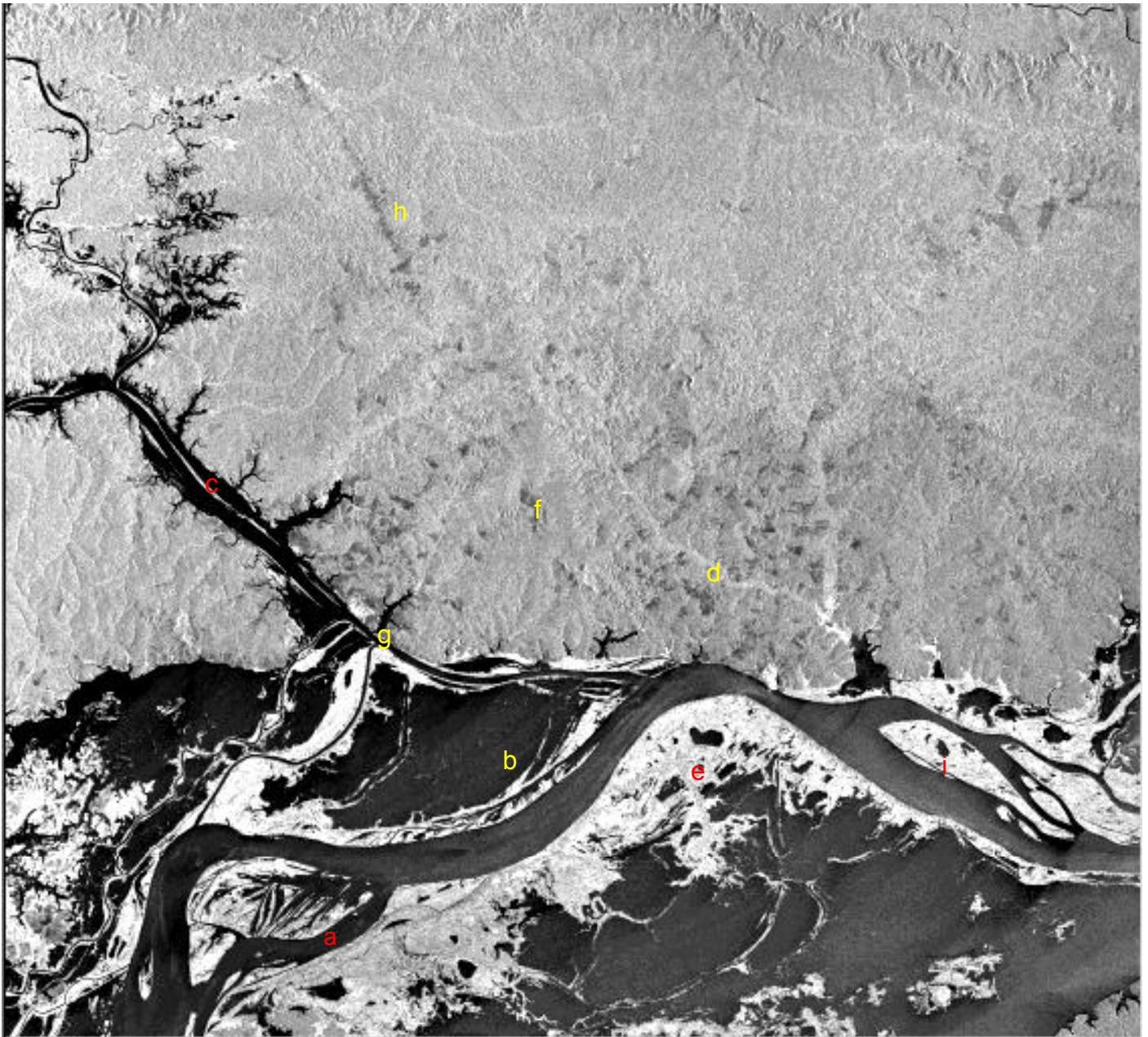
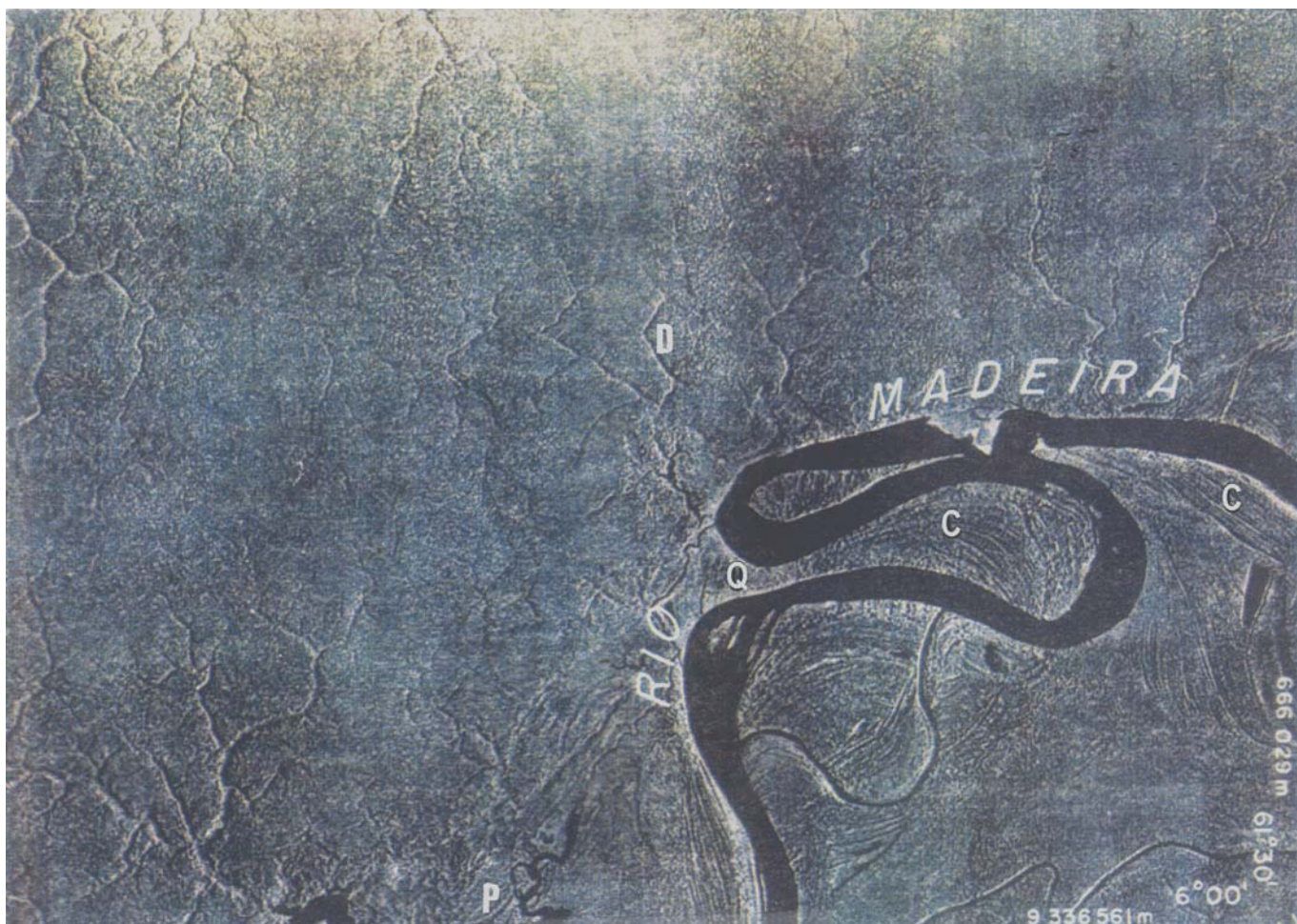


Figura 2: Dinâmica Fluvial do rio Madeira (RO). Interpretação comparativa da drenagem efetivada nas **Estampas 2 e 3** com relação à dinâmica do rio Madeira, que flui da esquerda para a direita, entre os anos de 1972 (Radar) (em baixo) e 1992 (LANDSAT-TM5) (em cima). Observar a dinâmica fluvial do rio Madeira no que tange ao corte de um meandro, com o desenvolvimento de um meandro abandonado, além do desenvolvimento de novos cordões fluviais, como resultado dos processos de erosão e sedimentação ocorridos no período de 20 anos. É o caso de um *meandro estrangulado*.



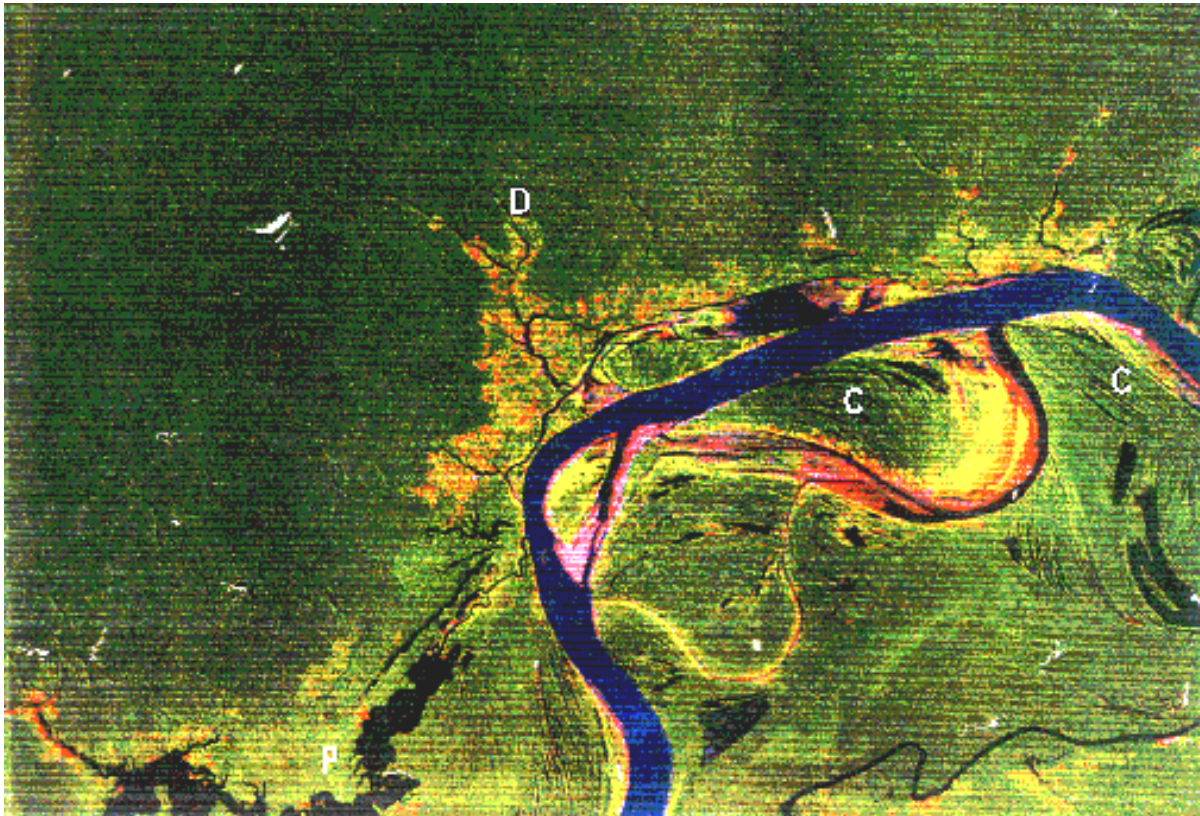
Estampa 1 – Imagem de Radar de Visada Lateral, RADARSAT, Modo Standard, banda C, 1997, região do Baixo rio Amazonas – Oriximiná (PA).

As imagens de Radar de Visada Lateral ressaltam as formas de relevo e atividades antrópicas. Em (a) um dos paranás do rio Amazonas, cuja região está eivada de lagos (b). Em (c) o rio Trombetas com um estirão (canal retilíneo). Feições lineares negativas, com a drenagem em branco, devido à vegetação ciliar (d). Vegetação de zonas alagadas em (e), desmatamentos em (f), a cidade de Oriximiná em (g) e estradas em (h). Em (i) ilha com cerca de 20 km de comprimento. Norte no topo.



Estampa 2: Imagem de Radar de Visada Lateral, GEMS, Banda X, 1972, da região do Médio rio Madeira (RO). Projeto RADAMBRASIL/IBGE.

A drenagem é muito bem alcançada nas imagens de Radar de Visada Lateral, como pode ser visto em (D), constituindo uma feição linear negativa e de igual modo nas feições lineares positivas, tipificadas pelos cordões fluviais, como em (C). Atentar para os vales planos relativos a planície de inundação como em (P). O ponto de quebra (Q) está muito bem representado nesta imagem, mas como resultado da dinâmica do rio Madeira no decorrer de 20 anos aconteceu o seu desaparecimento como pode ser ratificado na **Estampa 3**. Nesta época tinha cerca de 750m de largura. Norte no topo. Cf com **Figura 2**.



Estampa 3: Imagem de LANDSAT-TM5, R5G4B3,1992, da região do Médio rio Madeira (RO).

Imagem fornecida pelo INPE . Comparar (C), (P) e (D) com os correspondentes da **Estampa 1**, merecendo destaque, pelas cores, as feições antrópicas e praias (vermelho) e vegetação em verde. Observar o ponto de quebra que foi erodido pela dinâmica fluvial do rio Madeira. Ilha em (C) com 13 km de comprimento. Norte no topo. Cf. com **Figura 2**.

As imagens de Radar de Visada Lateral (RVL) devem ser utilizadas em regiões de relevo plano e plano – ondulado, em vista do realce das feições do terreno, devido a sua visada lateral e ângulo de incidência. Por outro lado, em regiões de relevo alcantilado, como as serras do Mar e Mantiqueira, no sudeste brasileiro, e as serras do Imeri e Tapirapecó, na região amazônica, não se mostram favoráveis para o traçado da drenagem por causa das extensas sombras e pelas acentuadas distorções do tipo encurtamento de pendentes e sobreposição (*layover*). Neste caso, sugere-se a utilização de imagens do espectro ótico do LANDSAT-TM7 e SPOT, por apresentarem uma maior facilidade na obtenção de informações, em vista da existência de menores extensões de sombra, em especial na faixa do infravermelho próximo, canal 4, e no modo multiespectral, respectivamente. Vide **Estampas 2 e 3**.

Um procedimento muito importante é o estudo da drenagem e seus padrões através do modo digital, sob a forma de Modelo Digital do Terreno (DEM) que pode ser obtido em vários *softwares*, e que tem a vantagem de fornecer uma visão tridimensional do terreno e suas inter-relações com as formas de relevo de uma forma direta, facilitando a interpretação da drenagem.

Para materializar o que foi mencionado, serão exemplificadas as feições radargráficas próprias de drenagens da região do Médio rio Madeira, em imagens de Radar de Visada Lateral, na banda X (GEMS), na **Estampa 2**, e em uma imagem LANDSAT-TM 5, composição colorida R5G4B3 (**Estampa 3**). Em que pese serem da mesma região, existe uma diferença temporal com relação à época de aquisição das mesmas, já que a imagem de Radar foi tomada em 1972 e a do LANDSAT-TM – 5 em 1992. A **Figura 2** mostra uma interpretação comparativa de ambas e as modificações ocorridas. Por questões didáticas, serão comentadas no capítulo VII quando abordados os principais aspectos da morfologia fluvial.

IV – PARÂMETROS DA ÁGUA CORRENTE

O entendimento dos parâmetros de água são importantes para que possam ser interpretados o regime de fluxo e as formas de leito, conceitos que serão inseridos nos próximos capítulos.

O fluxo das águas e a geometria do canal são influenciados pelos seguintes parâmetros (Simons, 1973):

- Massa (m);
- Peso (P) = mg, onde g corresponde a aceleração da gravidade;
- Densidade (D) = m/vol. Massa (m) por unidade de volume (vol). Os fluidos densos exigem maiores quantidades de energia para alterar o seu estado de movimento;
- Peso Específico (PE) = P/vol. Peso(P) por unidade de volume (vol);
- Viscosidade (μ): é a resistência apresentada pelos fluidos a uma deformação. Quanto maior a viscosidade maior a capacidade de arraste;
- Tensão Tangencial (τ): é relacionada com a viscosidade.
- Temperatura (T): afeta ligeiramente a densidade e de forma significativa a viscosidade
- Fluxo Fluvial (vazão) = v/θ. Relaciona a velocidade de fluxo (v) e a seção do canal (θ);

A relação da seção do canal com a velocidade do fluxo determina o tamanho máximo do material que pode ser movido (competência do rio) e o volume de carga transportada (capacidade do rio). Ambos dão a idéia quantitativa dos trabalhos das correntes fluviais. A carga é a quantidade do material transportado, seja em suspensão (carga em suspensão) ou ao longo do leito do rio (carga de fundo). A carga em suspensão é constituída de partículas de granulação reduzida, silte e argila, tão pequenas que se conservam em suspensão na água em fluxo turbulento. A carga de fundo ou de leito do rio é formada por partículas maiores com granulação de areia, cascalho ou fragmentos de rocha que deslizam ou saltam ao longo do rio. Existem ainda os constituintes intemperizados das rochas que são transportadas em solução química, formando a carga dissolvida (Suguo & Bigarella, 1990).

O fluxo laminar na água corrente acontece quando várias camadas de fluido deslizam umas sobre as outras sem que haja mistura de material. Isto ocorre quando a velocidade de fluxo é relativamente lenta e cada elemento do fluido move-se ao longo de um caminho específico com velocidade uniforme. As linhas de fluxo, neste tipo de regime, envolvem levemente a suavidade do leito fluvial e os objetos encontrados em seu caminho, sem formar redemoinhos e correntes turbilhonares durante a sua passagem.

O fluxo torna-se turbulento quando através das linhas de fluxo verificam-se flutuações de velocidades que excedem um determinado valor crítico. Estas flutuações são causadas por redemoinhos produzidos quando a água passa por obstáculos ou irregularidades de contornos rugosos situados no fundo do curso d'água.

Para se predizer o tipo de fluxo pode ser utilizado o Número de Reynolds (Re), adimensional, e que inclui os efeitos das características do fluxo, velocidade e profundidade do canal, bem como as propriedades do canal, representadas pela densidade e viscosidade:

Re : V.D. σ/μ , onde V= velocidade; D = profundidade; σ = peso específico;
 μ = viscosidade.

O número de Froude (Fr) mostra o índice da influência da força de gravidade em situações de fluxo onde existe uma inter-relação entre um meio líquido e um gasoso, como em um canal fluvial aberto (Simons, 1975). O número de Froude é dado pela expressão:

$$Fr = V / (g.D)^{1/2}$$

Onde V = velocidade média; g = aceleração da gravidade e D = profundidade.

Quando o número de Froude for menor do que 1, o rio apresenta-se com o fluxo tranquilo, também denominado de *fluxo subcrítico*; quando maior do que 1, o fluxo será mais rápido, encachoeirado e denominado de *supercrítico*. Um fluxo laminar passa a turbulento quando a relação entre as forças de inércia e fricção (número de Reynolds) é aproximadamente igual a 500

V – ANÁLISE DE BACIAS DE DRENAGEM

V.1 – Hierarquia Fluvial

Neste capítulo apresenta-se a análise de um conjunto de drenagens, ou seja, uma bacia de drenagem, através de suas características morfométricas e topológicas.

O estudo da morfometria será de grande valia para uma bacia de drenagem, uma vez que irá fornecer dados quantitativos em termos de extensão, área, forma, densidade, distância entre interflúvios, etc, o que facilitará sua comparação com outras bacias. Por sua vez, a análise topológica será importante no sentido de confrontar o percurso de um rio e seus afluentes com outros de uma mesma bacia de drenagem.

As análises morfométrica e topológica das bacias de drenagens vão depender do substrato geológico (litologias e estruturas), formas de relevo, cobertura vegetal, tipos de solos e fundamentalmente do clima. Neste, uma das principais influências está relacionada com o índice pluviométrico.

Uma bacia de drenagem constitui uma área na qual a água de precipitação sobre a superfície é transferida para o mar ou oceano (drenagem exorreica), ou então para um foco de drenagem interna tal, como um lago ou outra drenagem de ordem mais elevada (drenagem endorreica). Uma bacia de drenagem pode ser dividida em várias sub-bacias, como exemplificado na **Figura 3a** (bidimensional) e tridimensional na **Figura 3b**.

Uma bacia de drenagem lembra uma rede em que as ligações são feitas através de nós, a qual pode ser analisada sob dois aspectos: topológico e morfométrico. O primeiro relaciona-se a interconexões do sistema, enquanto o segundo envolve comprimento, forma da área, relevo e orientação. No entanto, para que se possa entender tais parâmetros é necessária a introdução do conceito de hierarquia fluvial.

A hierarquia fluvial consiste em um método para estabelecer o posicionamento (ordem) de um determinado canal de drenagem no conjunto total da bacia em que se encontra. Tal procedimento visa facilitar os estudos morfométricos, linear, espacial e hipsométrico das referidas bacias.

Horton (1945) foi quem primeiro propôs os critérios iniciais para a ordenação dos cursos de água: os de primeira ordem são aqueles canais que não têm tributários; os de segunda ordem são os que recebem os de primeira ordem; os de terceira ordem recebem os de segunda ordem, mas podem receber também os de primeira; os de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem, mas também podem receber de ordem inferior e assim sucessivamente. No entanto, para Horton (op. cit.) o rio principal é consignado pelo mesmo número de ordem desde a sua nascente, havendo critérios para determinar a ordem menor, segundo o maior ângulo de confluência e menor tamanho da drenagem. **Vide Figura 4A.**

Para Strahler (1952) os canais iniciais sem tributários são denominados de primeira ordem. A partir daí, da confluência de dois canais de primeira ordem surgem os segmentos de canais de segunda ordem, e assim sucessivamente até se atingir os canais de ordem maior que serão os principais da bacia hidrográfica estudada. Seguindo esta metodologia, é eliminado o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a sua extensão e, portanto, a necessidade de ser refeita a numeração a cada confluência, conforme (Horton, op. cit.). **Vide Figura 4B**

Scheidegger (1965) propôs outro sistema de ordenação fluvial, denominado de “*método de ordenação dos canais uniformes*”. A definição de ordem uniforme relaciona-se às conexões ou ligações fluviais, que são trechos de canais ao longo dos quais não ocorre nenhuma junção, pois toda a confluência que surge em um segmento altera a numeração. O número de ordem tem seu início em 2 e a cada confluência se processa o somatório dos valores atribuídos (**Figura 4C**). Dessa maneira, ao ser dividido o número de ordem por 2, era obtida a quantidade de canais fontes ou de primeira ordem, que contribuíram para a referida conexão.

Significativa, também, é a contribuição de Shreve (1966, 1967) que estabelece a magnitude de determinado ligamento ou de alguma bacia hidrográfica. Para esse autor a magnitude de um canal é definida pela soma dos tributários que o alimentam. Assim, cada ligação exterior tem magnitude 1; se ligamentos de magnitude u_1 e u_2 se juntam, o ligamento resultante a jusante terá magnitude igual a $u_1 + u_2$.

A magnitude de uma drenagem está diretamente relacionada à área total da bacia em termos de precipitação pluviométrica. Por sua vez, o número de ordem tem sido aplicado para diversos sistemas de drenagem, e tem demonstrado estar estatisticamente, relacionado a vários elementos de morfometria da bacia de drenagem.

As proposições de Strahler (op. cit.) e Shreve (op. cit.) são as mais utilizadas. Deste modo, para um melhor entendimento, torna-se necessária à definição de alguns conceitos, conforme apresentados por Christofolletti (1986):

- *rede fluvial* ou *rede de canais*: é o padrão inter-relacionado de drenagem formado por um conjunto de rios em determinada área, a partir de qualquer número de fontes até a desembocadura da referida rede;
- *fonte* ou *nascente* de um rio: é o lugar onde o canal se inicia, e *desembocadura* é o ponto final, a jusante, de toda a rede;
- *confluência* ou *junção*: é o lugar onde dois canais se encontram, não sendo permitida junções tríplices;
- *segmento fluvial*: é o trecho do rio ou canal ao longo do qual a ordem, no sentido de Strahler (op.cit), que lhe é associada permanece constante;
- *ligamentos* ou *ligações*: são trechos de/ou segmentos de canais que não recebem afluentes, estendendo-se entre uma fonte e a primeira confluência, a jusante, entre duas junções consecutivas, ou entre a desembocadura. As primeiras junções a montante são denominadas de *ligamentos exteriores*, enquanto as demais são *ligamentos interiores*. Em suma, os ligamentos que se estendem de uma nascente até a primeira confluência são denominados de ligamentos exteriores, e os demais são interiores. Em vista dessas definições o número de ligamentos exteriores será igual ao número de nascentes ou de segmentos de primeira ordem, ou da magnitude da rede. O número de ligamentos interiores será igual ao número de nascentes (n) menos um ($n-1$), e o total de ligamentos em determinada rede é igual a $2n-1$.

O número de ordem é importante na análise de estruturas geológicas, em especial fraturas, uma vez que os canais de ordem mais inferior serão os principais responsáveis para a indicação da movimentação neotectônica, enquanto os de ordem mais elevada estão relacionados a estruturas regionais mais antigas. Assim sendo, pode ser feita uma análise em Diagrama em Roseta de canais de ordem mais inferior, para estabelecer uma estatística relativa à tectônica ressurgente.

A comparação entre duas redes de drenagem pode ser feita através do número de ordem, cujo resultado pode fornecer informações de cunho litológico e estrutural, conforme observado na **Figura 3a**

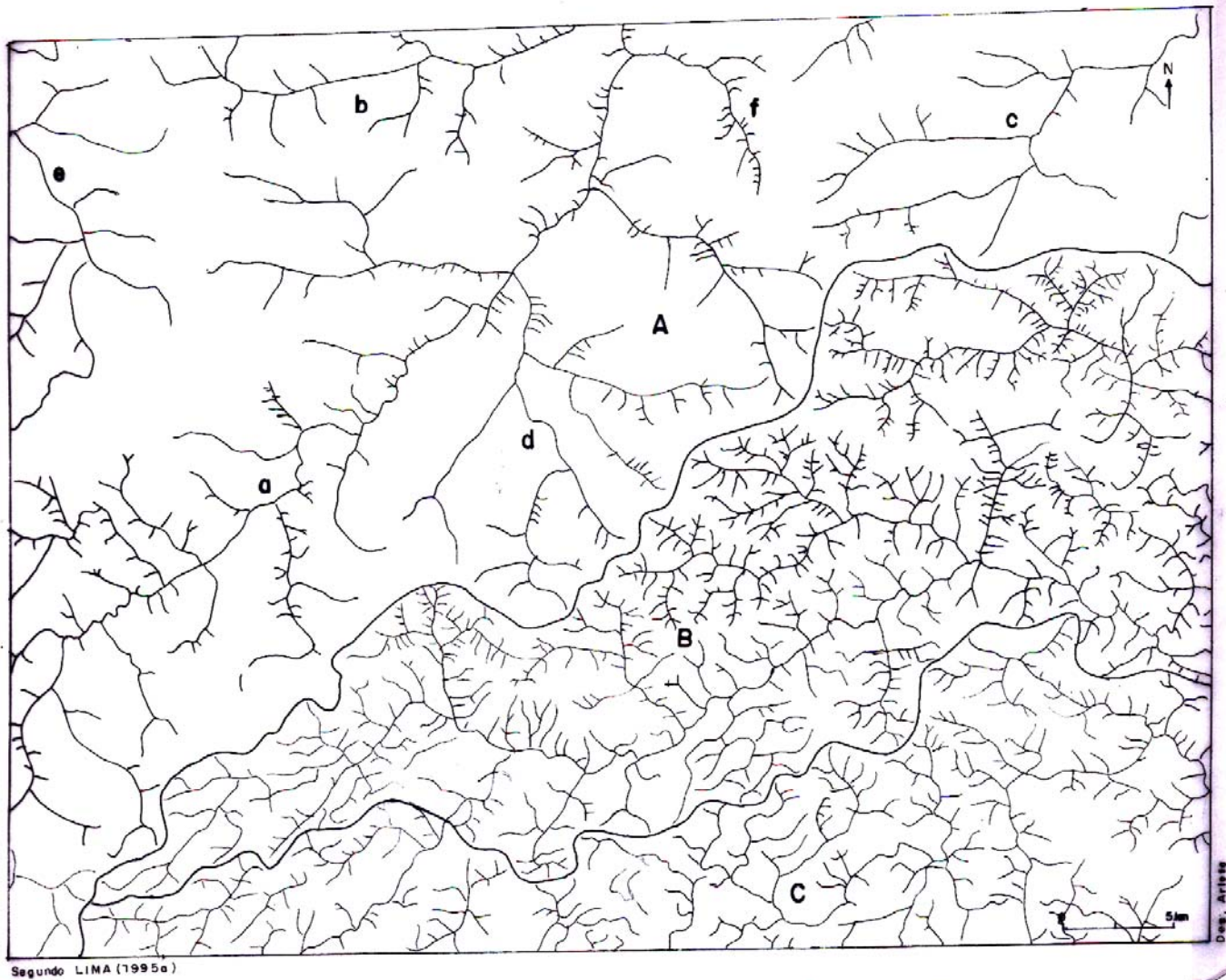
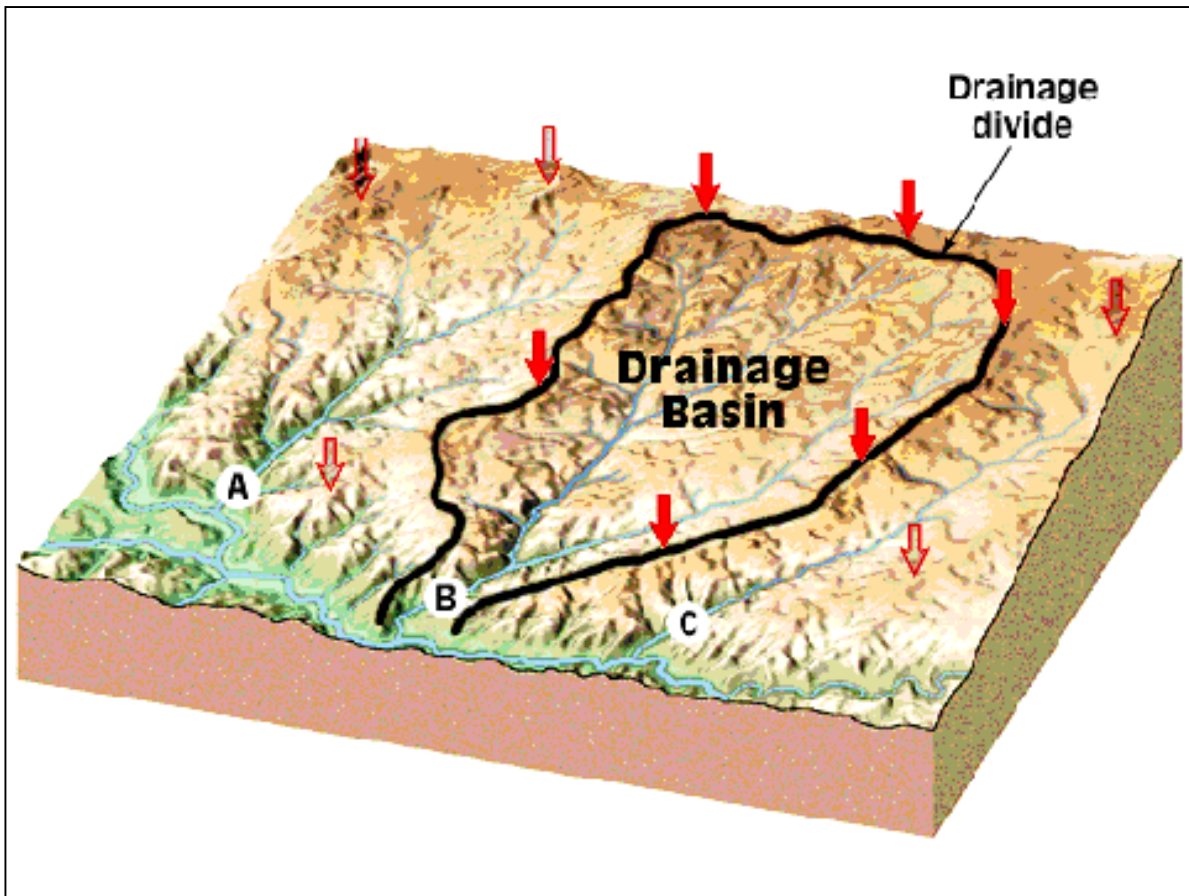


Figura 3a – Bacias e Sub-bacias de drenagem – Região de Pedra Azul (MG) – Águas Vermelhas (BA). Folha SD.24–Y-C.

Atentar para a presença de, pelo menos, três grandes bacias de drenagem A, B e C e diversas sub-bacias, assim como os seus distintos desenhos ou padrões. Com base no exposto, poder-se-ia inserir conceito de textura de drenagem o qual seria representado por um conjunto de células texturais, ou seja feições idênticas com forma e limite definidos (espaçamento dos interflúvios) e com ampla distribuição espacial. Observar as distintas texturas de drenagem entre as bacias A, B e C.

Figura 3b – Visão Tridimensional de Bacias de Drenagem . Bacias de drenagem em A, B e C, com destaque para B que está delimitada em traços preto. Segundo Pazzaglia (2001).



V.2 – Análise Morfométrica

A análise morfométrica é de grande importância no estudo de bacias e sub-bacias de drenagem por que trata de dados quantitativos, o que facilita sobretudo a comparação de duas ou mais bacias ou sub-bacias.

A disposição do número de ordem fluvial é o primeiro passo para a realização de análise morfométrica de bacias hidrográficas, como seja: linear, espacial e hipsométrica, as quais são exaustivamente descritas por Christofolletti (1980).

Na *Análise Linear* são considerados índices e relações ao longo das drenagens, dentre os quais: relação de bifurcação; relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem; relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação, comprimento do rio principal, extensão do percurso superficial, relação do equivalente vetorial e gradiente dos canais.

Na *Análise Espacial* constam medições planimétricas e lineares, incluindo os seguintes índices: área da bacia, comprimento da bacia, relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia, forma da bacia, densidade de rios, densidade da drenagem, densidade dos segmentos da bacia, relação entre as áreas das bacias e coeficiente de manutenção.

Na *Análise Hipsométrica* procura-se relacionar a bacia de drenagem com faixas altitudinais, na qual são estudadas: curva hipsométrica, coeficiente de massividade, coeficiente orográfico, amplitude altimétrica máxima da bacia, relação de relevo e índice de rugosidade.

A **Tabela 2** apresenta uma síntese das principais propriedades morfométricas das bacias de drenagem.

As **Figuras 5 e 6** relacionam-se à morfometria . A **Figura 5** procura estabelecer uma relação entre Relevo, Densidade de Drenagem e Vertente, ao passo que a **Figura 6** procura demonstrar o Método de Lee & Salle (1970) com respeito à forma de bacia.

V.3 - Análise Topológica

A Análise Topológica estuda de que maneira os canais são conectados, sem levar em consideração qualquer medida de comprimento, área ou orientação. Tal análise reveste-se de importância por que permite comparar o trajeto de duas ou mais drenagens e seus afluentes, a qual pode indicar modificações relativas aos tipos de terrenos percorridos. Os estudos iniciais cabem a Horton (1945), sendo que os dados atuais mais significativos devem-se a Shreve (1966 e 1967).

Para estudos topológicos a rede de canais é entendida como apresentado uma, e somente uma, trajetória entre dois pontos quaisquer, e na qual todo o ligamento, em direção de montante, conecta-se com dois outros ligamentos ou termina em uma nascente (Shreve, 1966). A única restrição é que não deve haver junções tríplices.

Shreve (1966) observou que as redes de canais com igual número de ligações têm a mesma quantidade de confluências, de nascentes (Horton, op.cit) e de canais de primeira ordem (Strahler, op.cit.). Shreve (op. cit.) introduziu o conceito de redes topologicamente idênticas e topologicamente distintas. No primeiro caso possuem uma forma congruente com a outra, através de deformação continua de seus ligamentos, mas sem removê-los de seu plano, caso contrário são consideradas distintas (**Figura 7**).

Werner & Smart (1973) e Chistofletti (1986) apresentam uma notação binária das propriedades topológicas de uma rede de drenagem composta de quantidade n de dígitos *um* e $n-1$ dígitos *zero*, conforme a regra seguinte: "começar pela foz e atravessar a rede seguindo sempre pela esquerda em cada junção e revertendo a direção em cada nascente. Um *zero* será escrito quando se atravessar um ligamento interior pela primeira vez, e *um* será escrito quando o ligamento exterior for atravessado pela primeira vez. Nada deve ser anotado quando os ligamentos forem atravessados pela segunda vez (quando se caminha em direção a foz). Qualquer combinação binária para as redes fluviais deve começar sempre pelos *zeros* e terminar com a disposição consecutiva de pelo menos dois *uns*". Vide **Figura 7**.

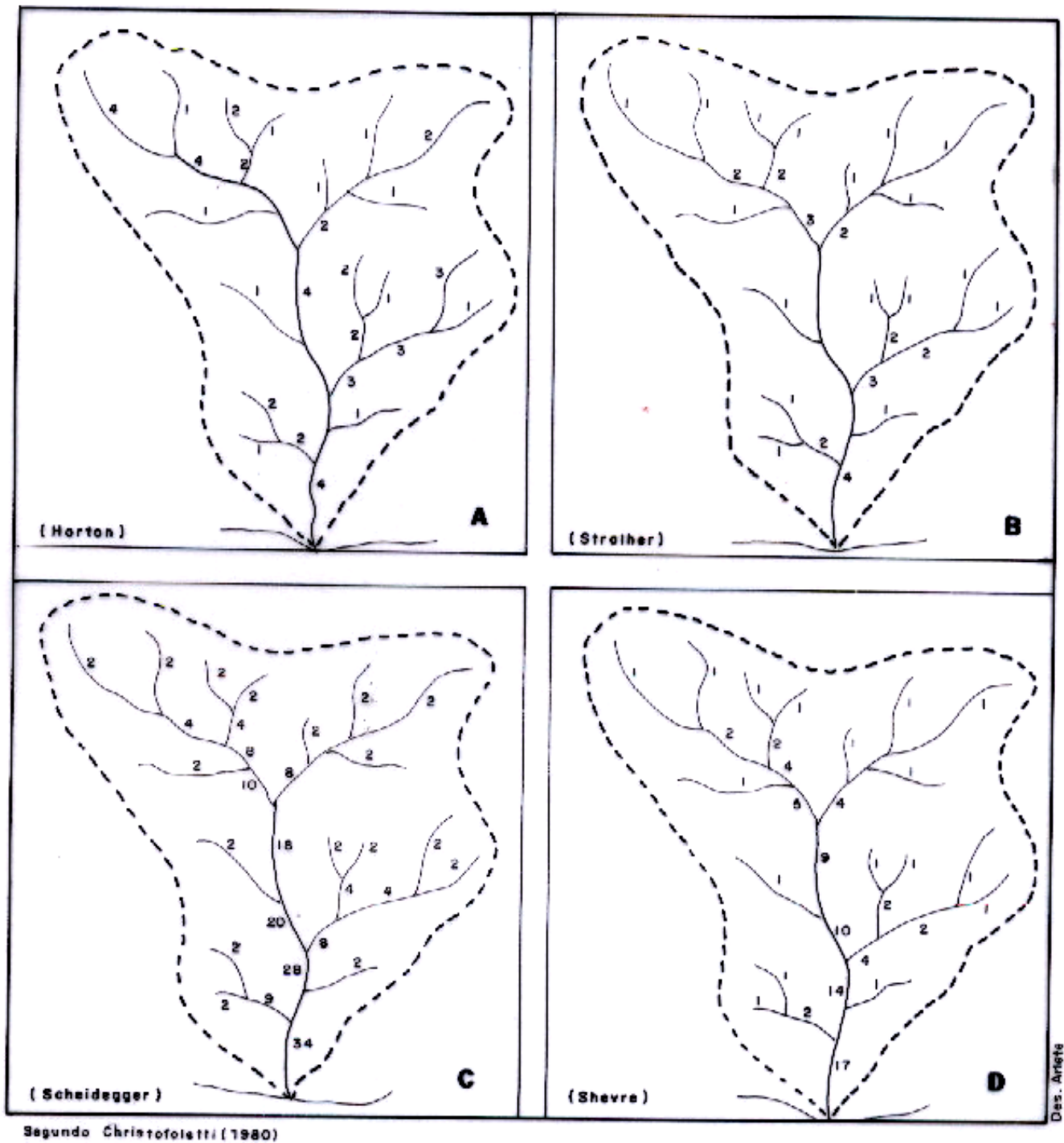


Figura 4 – Hierarquia Fluvial e Magnitude

A hierarquia fluvial é conceituada em (A) por Horton (1945) e (B) por Stralher (1952), ao passo que a magnitude é mostrada segundo Scheidegger (1965) em (C) e Shreve (1966) em (D). Comparar e observar as vantagens e desvantagens de cada proposta. Stralher (op.cit) e Shreve (op.cit.) são as mais práticas e as mais usadas. Os conceitos de hierarquia fluvial e magnitude são de grande importância no estudo da morfometria das bacias de drenagem.

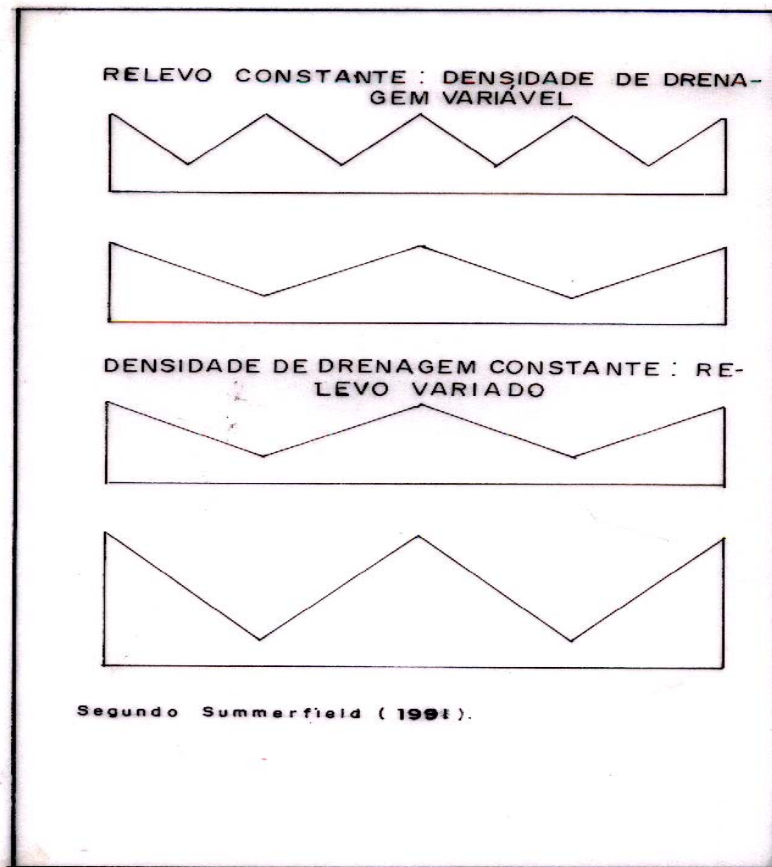


Figura 5 – Relevo, Densidade de Drenagem e Vertente.

Se a densidade de drenagem é constante e os canais mantêm um constante espaçamento através do tempo um aumento no relevo local é devido a maior incisão dos canais, causando um aumento no ângulo da pendente da bacia (Summerfield, 1991)

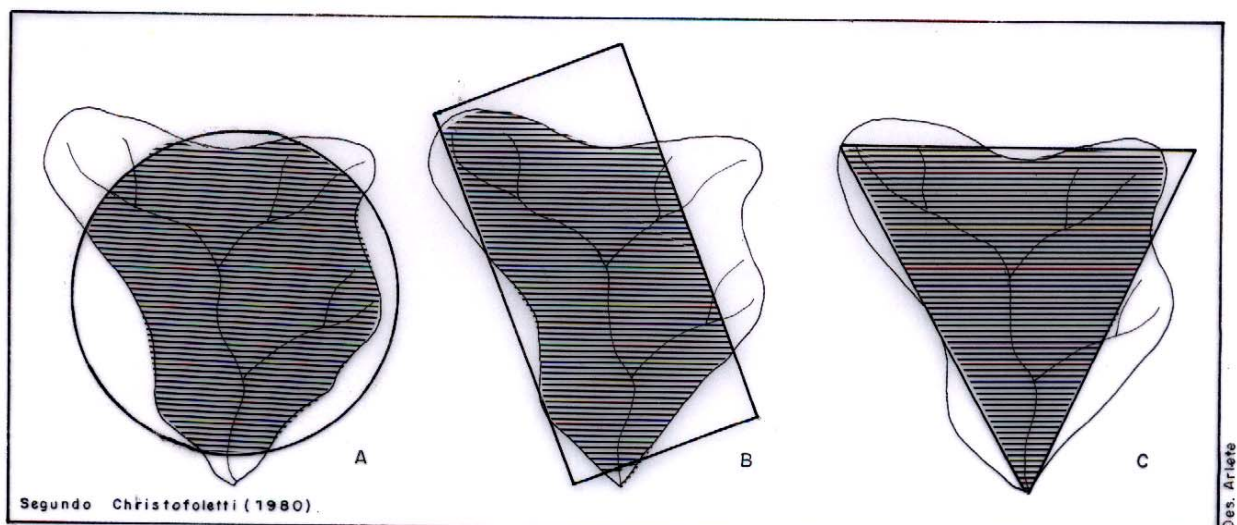


Figura 6 – Forma da Bacia.

Lee & Salle (1970) apresentam um método para determinar a forma da bacia de drenagem, que consiste em traçar uma **Figura** geométrica (círculo, retângulo, triângulo, etc), independentemente da escala, cobrindo-a da melhor maneira possível. De acordo com este método a bacia acima pode ser descrita como triangular, pois que é a **Figura** geométrica que mais se aproxima.

Tabela 2: Principais propriedades morfométricas das bacias de drenagem

PROPRIEDADES	DEFINIÇÃO
Linear	Envolve medidas relativas aos segmentos de drenagem, as quais são importantes por que possibilita quantificá-los e compará-los, facilitando seus estudos quantitativo e qualitativo.
1 - Relação de bifurcação (Rb)	Razão entre o número de canais de uma ordem e o número da próxima ordem mais elevada.
Relação do comprimento médio dos canais de cada ordem (Rco)	Média aritmética dos canais de drenagem de cada ordem.
Relação do índice de comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação (Rci)	Razão entre Rb e Rco
4 - Comprimento do rio principal (Crp)	Medida do comprimento do rio de maior ordem (Strahler, 1952).
5 - Extensão do percurso superficial (Eps)	Distância média percorrida pela enxurrada entre o interflúvio e o canal permanente.
6 - Relação do equivalente vetorial (Rev)	Média aritmética do comprimento médio de cada canal de cada ordem em linha reta.
7 - Gradiente dos canais (Gc)	Diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término do canal.
Espacial	Relação da bacia de drenagem com medidas lineares e espaciais, proporcionando, em duas dimensões, comparações, no que concerne à forma, área e suas inter-relações.
1 - Área da bacia (Ab)	Área da bacia drenada pelo sistema fluvial.
2 - Comprimento da bacia (Cb)	Maior extensão na direção longitudinal.
3 - Largura da bacia (Lb)	Maior extensão na direção transversal.
5 - Índice de circularidade (Ic)	Área da bacia de drenagem dividida pela área de um círculo com o mesmo perímetro da bacia.
Relação entre o rio principal e a área da bacia (Ra)	Produto da extensão do rio principal e a área da bacia.
7 - Forma da bacia (Fb)	Relação da bacia com alguma Figura geométrica.
8 - Densidade de rios (Dr)	Relação entre o número de rios e a área da bacia.
9 - Densidade de Drenagem (Dd)	Soma do comprimento dos canais por unidade de área
10 - Densidade de segmentos da bacia (Dsb)	É a quantidade de segmentos existentes por unidade de área.
11 - Relação entre as áreas das bacias (Rab)	Relação entre áreas de duas determinadas ordem.
12 - Coeficiente de manutenção (Cm)	Inverso da densidade de drenagem vezes 1 000.
13 - Relação de Elongação (Re)	O diâmetro de um círculo da mesma área da bacia de drenagem dividida pelo máximo comprimento da bacia medido desde a sua foz.
Hipsométrica	Estabelece a relação da bacia nos planos horizontal e vertical, dando uma idéia tridimensional, daí a sua importância
1 - Curva Hipsométrica (Ch)	Relação entre altitudes (ordenada) e a área (abscissa).
2 - Coeficiente de Massividade (Cms)	Relação da altitude média e sua área
3 - Coeficiente Orográfico (Co)	Produto da altura média pelo coeficiente de massividade.
4 - Amplitude altimétrica máxima da bacia (Aab)	Diferença entre o ponto mais alto e o mais baixo.
5 - Relação de relevo (Rr)	Relevo da bacia dividido pelo máximo comprimento da bacia
6 - Índice de rugosidade (Ir)	Relevo da bacia multiplicado pela densidade de drenagem.

Fontes : Summerfield , 1991 ; Christofolletti, 1986

Uma propriedade morfométrica importante, e que depende de sua topologia é a relação de bifurcação, que corresponde a razão entre os números de canais de uma ordem e os números da próxima ordem mais elevada. Deste modo, onde a litologia é relativamente homogênea, a relação de bifurcação fica entre 3 e 5, enquanto que um valor acima de 10 está relacionado a seqüências com alternância de litologias moles e duras, devido sua heterogeneidade. Vide **Figura 8a**. Nas figuras 8b e 8c são exemplificados a relação entre erosão transporte e deposição, assim como o perfil longitudinal de uma bacia de drenagem de forma tridimensional.

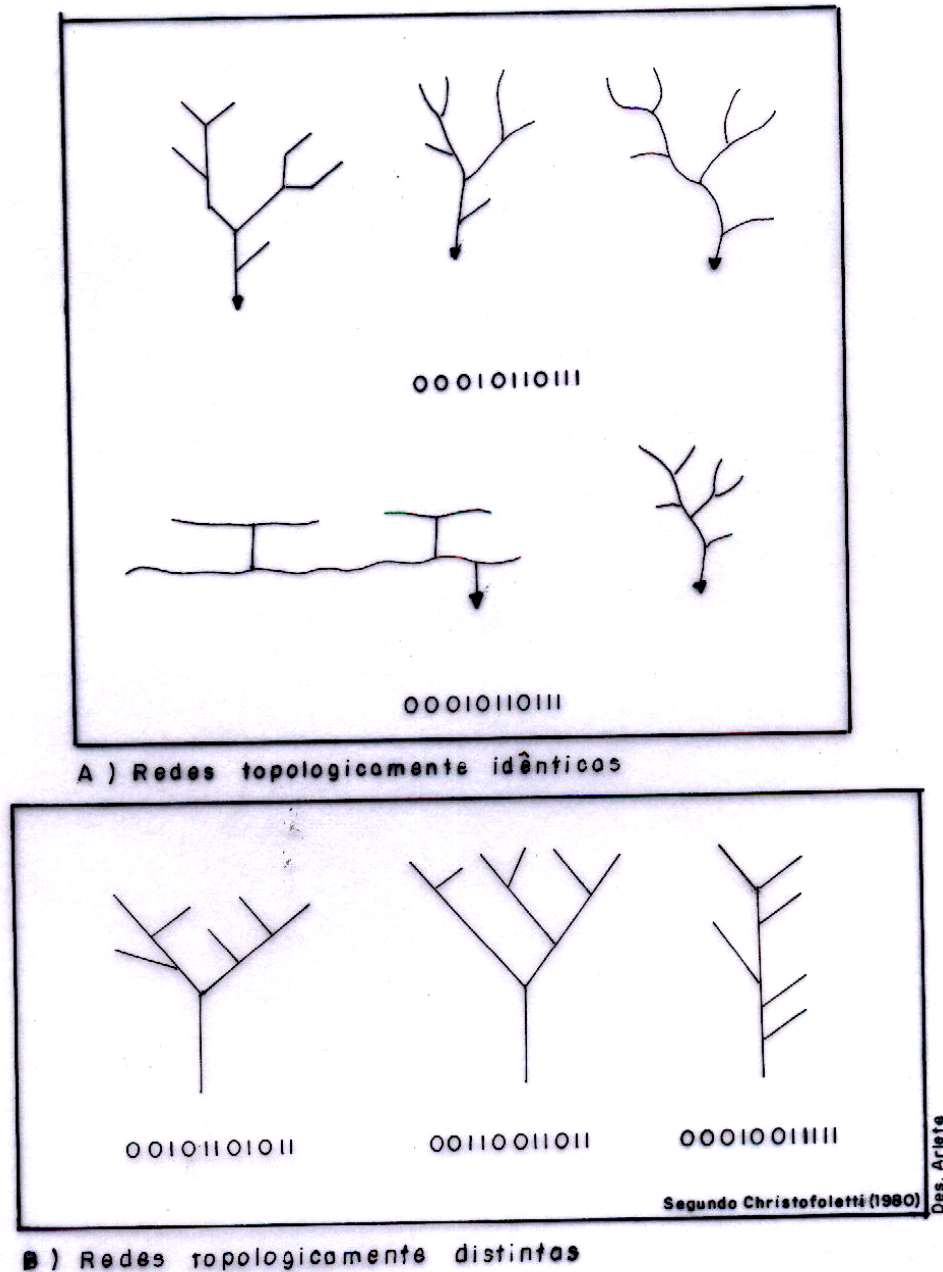


Figura 7 – Análise Topológica.

Exemplos de bacias de drenagem topologicamente idênticas (A) e distintas (B). A combinação binária (0 e 1) é que compõe sua notação, permitindo a sua comparação. Embora o desenho seja distinto como na parte inferior em (A), as redes são topologicamente idênticas em razão das ligações (nós) com os seus afluentes. De igual modo, a semelhança entre as bacias de drenagem é bem evidente na porção superior de A. Observar em B a diferença entre as bacias de drenagem, porquanto dos distintos percursos dos afluentes (Seg. Christofoletti, 1980).

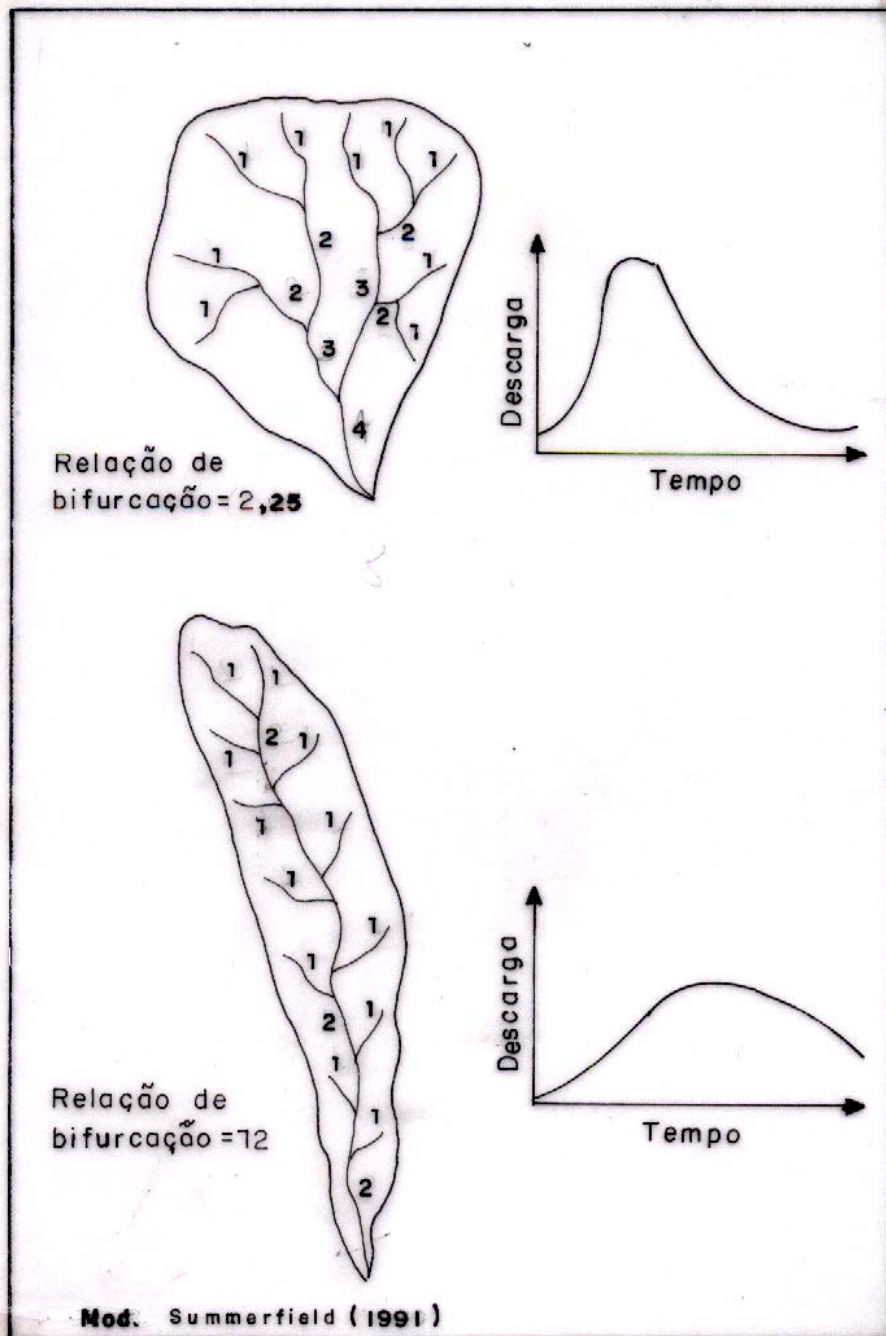


Figura 8a – Relação de Bifurcação.

Representação esquemática do efeito da Relação de Bifurcação à forma da bacia e sua descarga, inclusive com implicações na litologia. Na parte superior a Relação de Bifurcação é de 2,25, ao passo na parte inferior é de 12. Para se calcular tal propriedade morfométrica basta dividir o número de canais de uma ordem com o da ordem imediatamente superior. Então para a **Figura** superior temos 9 (primeira ordem) / 4 (segunda ordem) = 2,25; ao passo para a **Figura** inferior temos 12 (primeira ordem) / 1 (segunda ordem) = 12. Neste caso é indicativo de intercalação de sedimentos moles e duros, bem retratado pela sua forma de bacia alongada (Summerfield, 1991).

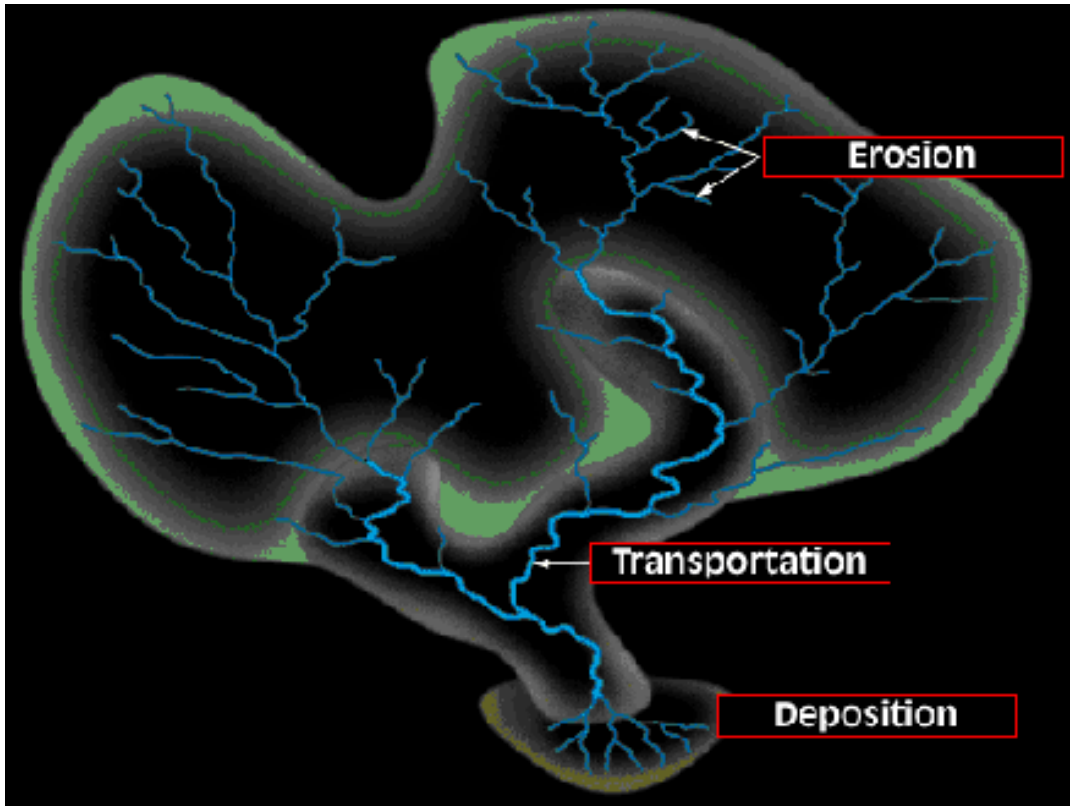


Figura 8b - Erosão, Transporte e Deposição.

Observar a relação, em uma Bacia de Drenagem, entre a zona de *Erosão* nas cabeceiras, o *Transporte* em sua porção mediana e a *Deposição* em sua foz (Pazzaglia, 2001).

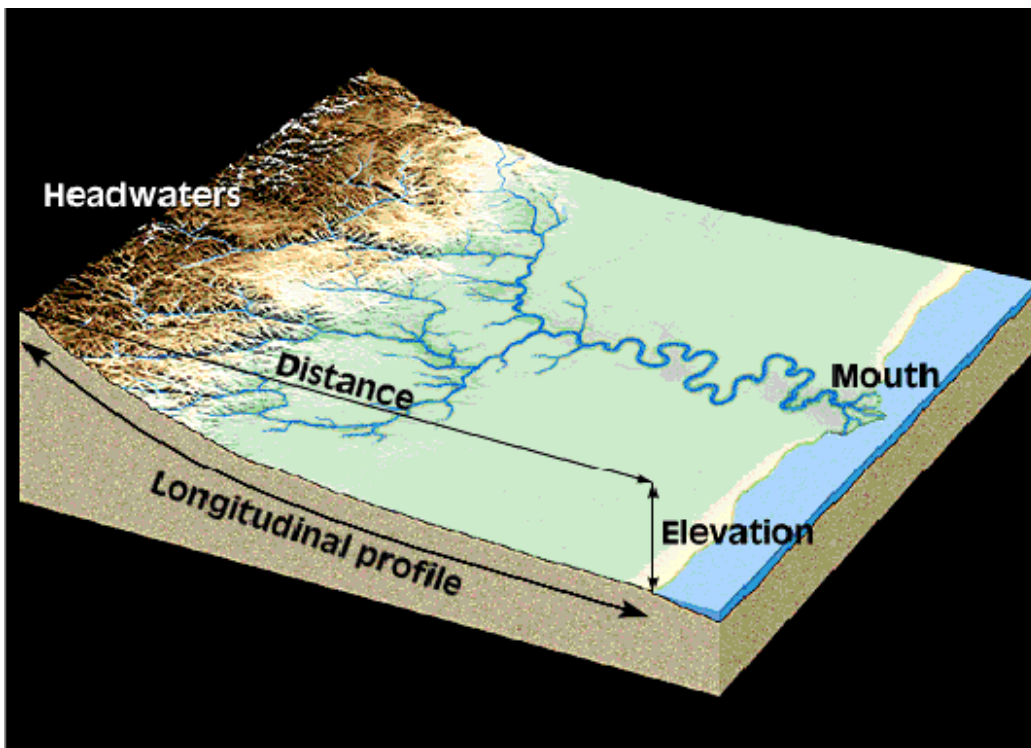


Figura 8c – Perfil Longitudinal de uma Bacia de Drenagem.

VI – PROPRIEDADES DE DRENAGEM

Entende-se como *Propriedade de Drenagem* as particularidades no traçado que os segmentos de drenagem apresentam em função de características físicas do terreno (litologia), índice de pluviosidade, forma de relevo, tipos de solos e cobertura vegetal. Além desses fatores, não pode ser esquecida a presença de eventos tectônicos responsáveis pela deformação e formação de relevo, como também a decisiva participação do clima.

As propriedades de drenagem podem ser materializadas e qualificadas através das análises morfométrica e topológica, vistas no capítulo anteriores. Em razão disso, serão aqui inter-relacionadas, a fim de propiciar uma melhor consolidação de tais conceitos e suas afinidades com os aspectos físicos, biológicos e climáticos de uma região.

São dez as principais propriedades que devem ser estudadas na drenagem e em seus padrões, sendo que sete foram propostas por Lueder (1959): grau de integração, tropia, grau de controle, sinuosidade, angularidade, ângulo de junção e assimetria. No entanto, a fim de complementar os estudos realizados pelo citado autor, inserem-se aqui, grau de continuidade e retilinearidade, enquanto que Horton (1945) introduziu a densidade de drenagem e densidade de canais (**Figura 9**). As convenções e abreviaturas estão listadas na **Tabela 14**. As propriedades são as seguintes:

- grau de integração;
- grau de continuidade;
- densidade de drenagem;
- densidade de canais;
- tropia;
- grau de controle;
- sinuosidade;
- retilinearidade;
- angularidade;
- ângulo de junção; e
- assimetria.

Grau de Integração compreende a perfeita interação entre as drenagens de uma determinada bacia, de maneira a fornecer um padrão consistente de seus ramos, cujo traçado deve ser o mais simples possível. Deste modo, se a drenagem apresentar sinuosidade desnecessária, tal característica implicará em baixo grau de integração. Fornece informações de uma maneira indireta sobre:

- permeabilidade;
- porosidade;
- topografia;
- coesão;
- massividade;
- heterogeneidade ;
- grau de dissolução das rochas; e
- erodibilidade.

O Grau de Integração depende dos seguintes parâmetros espaciais: Índice de Circularidade, Forma da Bacia e Relações entre Áreas da Bacia. Uma menor ou maior sinuosidade da drenagem será devida a sua topografia, podendo representar tanto um grau de integração baixo como médio. Na caracterização do grau de integração de um determinado padrão de drenagem é utilizada a letra grega ι (iota) acrescida dos índices *a* (alto), *m* (médio) e *b* (baixo).

Para sua qualificação são utilizados os seguintes critérios, conforme a **Figura 9** :

- alto: quando houver integração de mais de 75% da drenagem;
- médio: quando existir a possibilidade de integração de cerca 50 a 75% da drenagem;
- baixo: quando a integração for inferior a 50% da drenagem.

O Grau de Continuidade constitui outra propriedade importante em termos de permeabilidade, porosidade e grau de dissolução das rochas, pois depende da maior ou menor continuidade de seu traçado. É representada pela letra grega κ (capa). Quando o mesmo for bem marcante em termos de continuidade, com vales em V bem encaixados e contínuos, tem-se informações de alto grau de continuidade, provavelmente provocada pela elevada permeabilidade do terreno (κa). Assim sendo, caso ocorram dificuldades no delineamento da drenagem, isto pode significar que o terreno é muito poroso, como nos arenitos; porém se desaparecer bruscamente por dissolução, como em calcários ou evaporitos de um modo geral, é o exemplo típico de baixo grau de integração (κb) (**Figura 9**).

O Grau de Continuidade tem influência nos parâmetros lineares: Comprimento do Rio Principal e Extensão Superficial, como também espaciais: Área da Bacia, Largura da Bacia, Comprimento da Bacia, Densidade dos Rios e Densidade de Drenagem, Densidade dos Segmentos da Bacia e Coeficiente de Manutenção (**Tabela 2**).

A Densidade de Drenagem (Dd) foi inicialmente definida por Horton (op. cit.), e pode ser calculada pela equação: $Dd=Lt/A$, onde Lt é o comprimento total dos canais e A a área da bacia ou sub-bacia em estudo. Assim sendo, através do somatório do comprimento de seus canais dividido pela área será obtido um índice que indicará a densidade da drenagem de uma determinada área. No entanto, tal operação além de demandar tempo, não a qualifica. Por isso, sugere-se um procedimento mais simples através da estimativa da distância média do interflúvio, entre as drenagens de maior ordem. Assim sendo, uma baixa densidade ocorre quando a distância média do interflúvio situar-se entre 1,75 -2,5 km; média quando disposta entre 1 -1,75 km e finalmente alta, quando menor que 1 km. Para esse cálculo, aconselha-se uma média de 5 medidas. A densidade pode ser representada pela letra grega δ (delta). **Vide Figura 9.**

A Densidade de Drenagem terá influência nos parâmetros lineares: Relação de Bifurcação e nos parâmetros espaciais: Densidade dos Rios, Densidade da Drenagem, Coeficiente de Manutenção, e Densidade dos Segmentos da Bacia, assim como Densidade de Rugosidade relacionada ao Parâmetro Hipsométrico (**Tabela 2**).

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

A Densidade de Canais refere-se à quantidade de canais existentes por área, dentro do mesmo conceito estabelecido por Horton (op. cit) para densidade de drenagem. Tal propriedade é de suma importância na caracterização dos canais do tipo anastomosado e entrelaçado, para efeito comparativo, devido a maior densidade no primeiro tipo. Dá indicação de permeabilidade, porosidade e solubilidade.

A Tropia indica se as diferentes drenagens que compõem um determinado padrão mostram uma ou mais orientações preferenciais. Quando tal fato ocorrer, pode-se admitir a existência de um fator estrutural controlando a drenagem ou seus padrões. Deste modo, se a tropia for unidirecional pode-se afirmar que o Grau de Controle é alto; caso não haja uma orientação preferencial (bidirecional ou tridirecional), o grau de controle é médio a fraco. A indicação da tropia é feita por uma ou mais setas de acordo com sua orientação. A tropia pode ser multidirecional, sendo que nesta situação é preciso observar se a mesma é ordenada ou desordenada; o primeiro caso pode indicar a presença de estruturas circulares. **Vide Figura 9.**

A Sinuosidade refere-se às curvas delineadas pela drenagem, e pode ser aberta, fechada, ou então se situar em um grau intermediário. Não pode ser confundida com meandro; é assinalada por um segmento curvo, que vai indicar o grau de continuidade, se fechada será alto; se aberta será baixo, ou então um tipo intermediário como mostrado na **Figura 9**. A presença de uma marcante e abrupta sinuosidade poderá mostrar uma anomalia no terreno, retratada por um controle estrutural ou até mesmo litológico. O parâmetro linear que fornecerá informações é o da Relação de Equivalente Vetorial (**Tabela 2**).

A Retilinearidade, de forma distinta da Sinuosidade, evidencia-se quanto a drenagem mostra orientação retilínea, sendo também representada por um segmento de reta. Caso a retilinearidade seja

de, pelo menos, 50% do comprimento total ela será alta; menos de 25% será baixa e entre 25-50% média.

Angularidade e Ângulo de Junção relacionam-se com o controle estrutural da drenagem de uma determinada área, merecendo ser observado o ângulo que os ramos secundários fazem com a drenagem principal. Os ângulos agudos indicam ausência de controle, enquanto que os retos mostram a presença de forte controle estrutural. O obtuso deve “denunciar inversão de caimento da drenagem”, sugestivo de rejuvenescimento (**Figura 9**), ligado a efeitos de neotectônica.

A Angularidade refere-se às mudanças bruscas de direção da drenagem. A alta angularidade é evidência de uma mudança brusca da drenagem, ao passo que a baixa angularidade é a mudança pouco marcante e geralmente suave e gradual. A alta angularidade deve indicar a influência de fatores estruturais (**Figura 9**). A relação entre Equivalente Vetorial e Parâmetro Linear, poderá fornecer informações sobre a angularidade (**Tabela 2**).

A Assimetria é um parâmetro de grande relevância, por exibir o caimento do terreno, e/ou estruturas planares primárias ou secundárias. Para sua identificação é necessário avaliar o comprimento dos afluentes em relação ao rio principal e seu divisor. De uma maneira geral, a assimetria forte é marcada pela presença de afluentes bem curtos, ao passo que os afluentes longos indicam fraco caimento. Geralmente uma assimetria relaciona-se à presença de blocos basculados, cujo limite é demarcado por uma drenagem retilínea. No caso de apresentar-se sob a forma de extensos terraços ligados à vasta planície de inundação, com drenagem meandrante, pode denotar várias fases de basculamento (**Figura 9**). Observar os diferentes comprimentos dos afluentes em uma determinada região, em que uns são muito extensos em contraposição a outros bem curtos, indicando distintas assimetrias.

1- GRAU DE INTEGRAÇÃO	2- GRAU DE CONTINUIDADE	3- DENSIDADE	4- TROPIA	5- GRAU DE CONTROLE	6- SINUOSIDADE	7- ANGULARIDADE	8- ÂNGULO DE JUNÇÃO	9- ASSIMETRIA
ALTO	ALTO	ALTA	UNIDIRECIONAL	FRACO	CURVOS	ALTA	AGUDO	FRACA
MÉDIO	MÉDIO	MÉDIA	BIDIRECIONAL	FORTE	MISTOS	MÉDIA	RETO	FORTE
BAIXO	BAIXO	BAIXA	MULTIDIRECIONAL DESORDENADA	FRACO	RETILINEOS	BAIXA	OBTUSO	FORTE
			MULTIDIRECIONAL ORDENADA					

Mod. de Soares & Fiori (1976)

Figura 9: Propriedades da Drenagem.

Principais propriedades que devem ser analisadas nos padrões de drenagem, objetivando identificar parâmetros físicos do terreno (Mod. de Soares & Fiori, 1976). O grau de integração, grau de continuidade e densidade têm implicações diretas com o tipo litológico, ao passo que as demais têm controles principalmente estruturais. De uma maneira geral o conceito introduzido de Textura de Drenagem terá grandes implicações no que tange principalmente a Densidade, embora as demais propriedades também influenciem.

VII – MORFOLOGIA FLUVIAL

A morfologia fluvial é aqui entendida como os tipos de leito, canal e forma dos vales por onde flui a drenagem. Sua perfeita compreensão fornece subsídios para a obtenção de dados que auxiliam o intérprete na busca dos fatores geológicos e geomorfológicos que influenciaram o desenvolvimento da drenagem.

O leito corresponde ao espaço ocupado pelo escoamento das águas. Em função da descarga e a conseqüente topografia dos canais fluviais, podem ser classificados em leito menor (talvegue), de vazante, e maior, cujos limites são gradativos (Tricart, 1966). Vide **Figura 10**. O leito menor corresponde a parte do canal ocupada pelas águas, o que impede o crescimento da vegetação. O leito maior está relacionado à época das cheias, enquanto que o de vazante refere-se ao período de estiagem.

Por que os rios apresentam diferentes tipos de canal? Segundo vários autores seriam: o regime de descarga, a qual teria relação com o clima, solos e cobertura vegetal; o perfil do rio que estaria ligado ao relevo; as condições de erodibilidade relativa aos tipos litológicos, consoante suas propriedades físicas; e influência da tectônica e estruturas primárias ou secundárias das rochas.

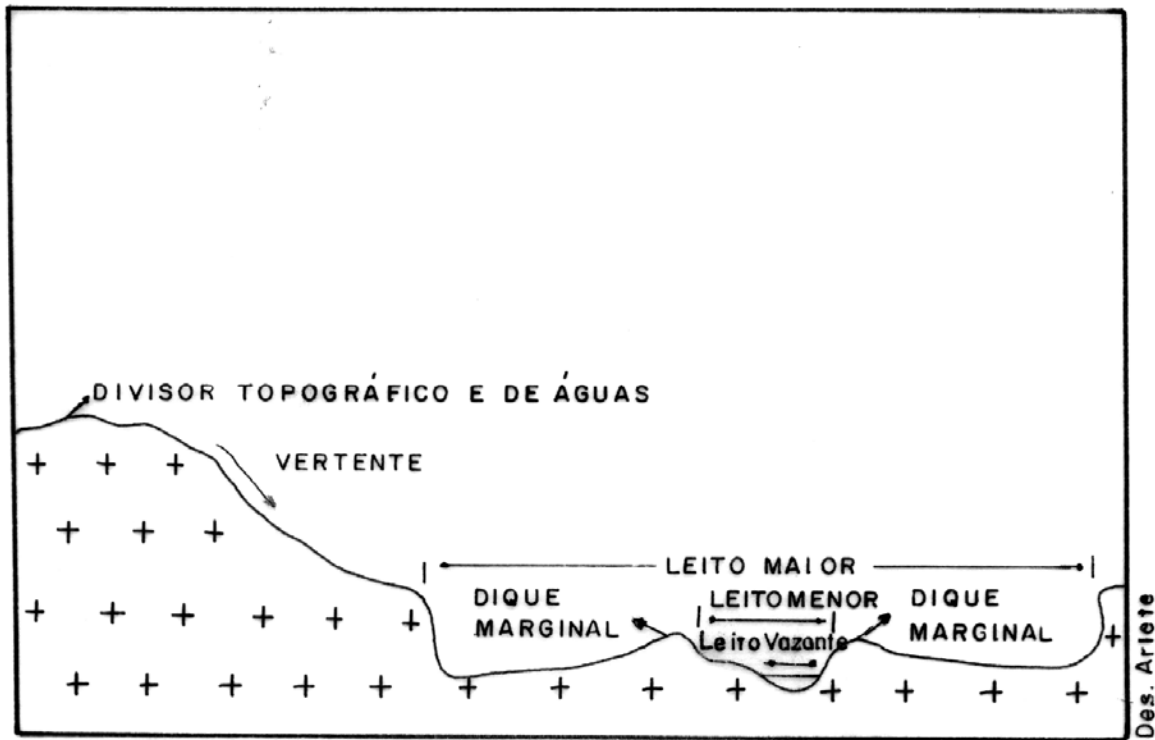
O Tipo de Canal constitui uma feição importante, porque retrata o estágio de sedimentação com referência ao material em suspensão. Este padrão deve ser analisado em drenagens de ordem elevada, ou seja, nos principais rios de uma região, que apresentam seu canal com considerável largura. A feição que o rio apresenta, ao longo de seu perfil longitudinal, pode ser descrita como retilínea, anastomosada, entrelaçada e meândrica, além dos tipos intermediários. O tipo de canal é o resultado do ajuste do canal à sua seção transversal e reflete o inter-relacionamento entre:

- descarga líquida;
- carga sedimentar;
- declive;
- largura e declividade do canal;
- velocidade do fluxo; e
- rugosidade do leito.

Para Schumm (1967) as diferentes sinuosidades dos canais são muito mais determinadas pelos tipos de cargas detríticas do que pela descarga fluvial. Assim, os canais meândricos estão ligados a elevados teores de silte e argila, enquanto os anastomóticos, a uma carga mais arenosa, o mesmo devendo ocorrer com o entrelaçado. Deste modo, a diminuição da sinuosidade de um meandro está muito mais ligada ao aumento da granulometria e da quantidade da carga detrítica do que a qualquer outro fator (**Figura 11**).

Os tipos básicos de canais (**Figura 12**) são os mencionados a seguir, podendo contudo ocorrer termos gradativos:

- retilíneo;
- retilíneo com barras (ilhas);
- meandrante com ângulos suaves;
- meandrantés com ângulos fortes;
- meandrante – entrelaçado; e
- entrelaçado.



Adaptado de Christofolletti(1970) e Guerra(1993) apud Cunha (1994).

Figura 10: Tipos de leito.

Relações existentes entre os diversos tipos de leito: maior, menor e de vazante, dispostos em sua planície de inundação, com destaque para os diques marginais (levée). Comparar com a **Figura 1**. Adaptado de Christofolletti (1970) e Guerra (1993) apud Cunha (1994).

A passagem do canal entrelaçado para o anastomótico se dá com a presença de um número maior de lagos, sendo conseqüência natural de uma maior quantidade de água.

A **Figura 13** mostra feições peculiares que podem ser observadas nos canais retilíneo, anastomosado e meandrante. No canal retilíneo merecem destaque as barras pouco desenvolvidas e as zonas de depressão e umbral. No canal anastomosado são freqüentes as barras longitudinais e transversais e no meandrante, as zonas de solapamento e acreção, sendo nestas que se desenvolvem os cordões fluviais relativos à barra de meandro.

Na **Figura 14** estão representadas as relações de erosão e acreção, a transformação de um canal reto para meândrico e neste as inter-relações entre as partes rasas, fundas, agradação e erosão.

Os canais naturais retos são pouco freqüentes, à exceção daqueles controlados por falhas ou juntas, e daqueles localizados em planícies de restingas, controlados pelos cordões arenosos, ou então em planícies deltaicas.

Leopold & Wolman (1957) admitem que canais retos com extensão por volta de 10 vezes a sua largura, são extremamente raros na natureza. O rio Oiapoque, limite Brasil - Guiana Francesa, inclui-se neste grupo, constituindo-se em um dos rios mais retilíneos do mundo, com cerca de 250 km de extensão (**Estampa 4a**), todavia descontínuos, separados por "pontos de quebra" devido a presença de diques de rochas básicas, com até 300m de largura, com orientação meridiana (**Figura 15**).

Na **Estampa 4b** ilustra-se a feição anômala da foz do rio Xingu, também relacionada a movimentações neotectônicas, como será visto adiante.

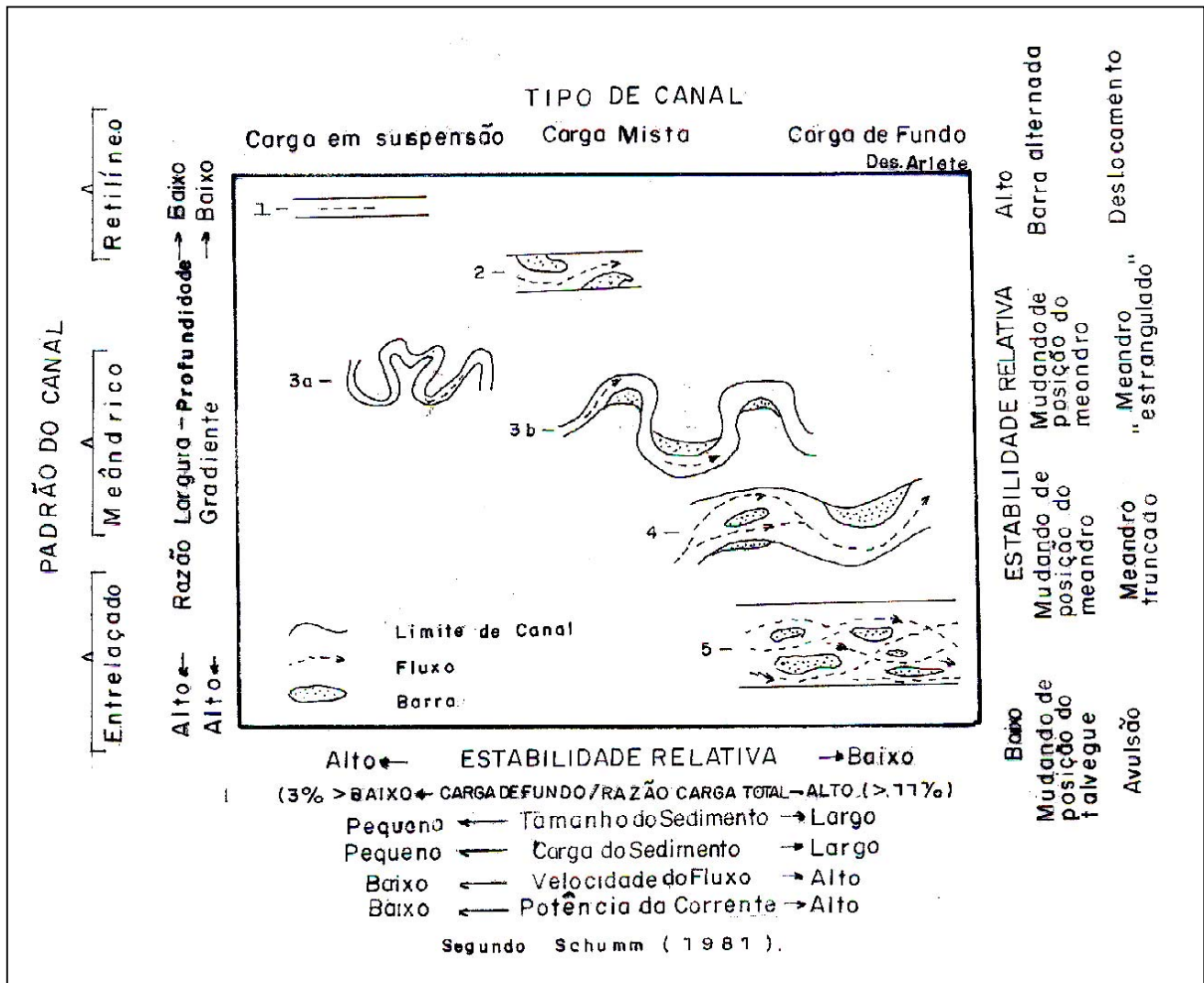


Figura 11: Classificação de canal com base no seu padrão e carga de sedimento.

Representação de forma esquemática da relação entre os tipos de canal em termos de carga em suspensão e de sua estabilidade (Schumm, 1981). Atentar para a relação entre o tipo de carga e o tipo de canal.

Os diferentes tipos de canais podem ter seus percursos modificados principalmente por fatores climáticos e tectônicos, que vão desde a mudança na posição das barras até a alteração de curso (avulsão) como exemplificado na **Figura 16**.

Os canais de rios podem ser, portanto, retilíneos, meândricos, anastomóticos e entrelaçados, existindo no entanto, tipos gradativos, como por exemplo, dentro de um sistema meândrico há uma considerável variação do índice de sinuosidade (1,25 a 3,00), que, em verdade, corresponde - razão do comprimento do canal no vale e a distância do eixo do meandro até o vale (**Estampas 5, 6 e 7**). Em adição no tipo entrelaçado há o de barra. Schumm (1981) definiu 14 tipos que podem ser reconhecidos. Vide **Figura 17**.

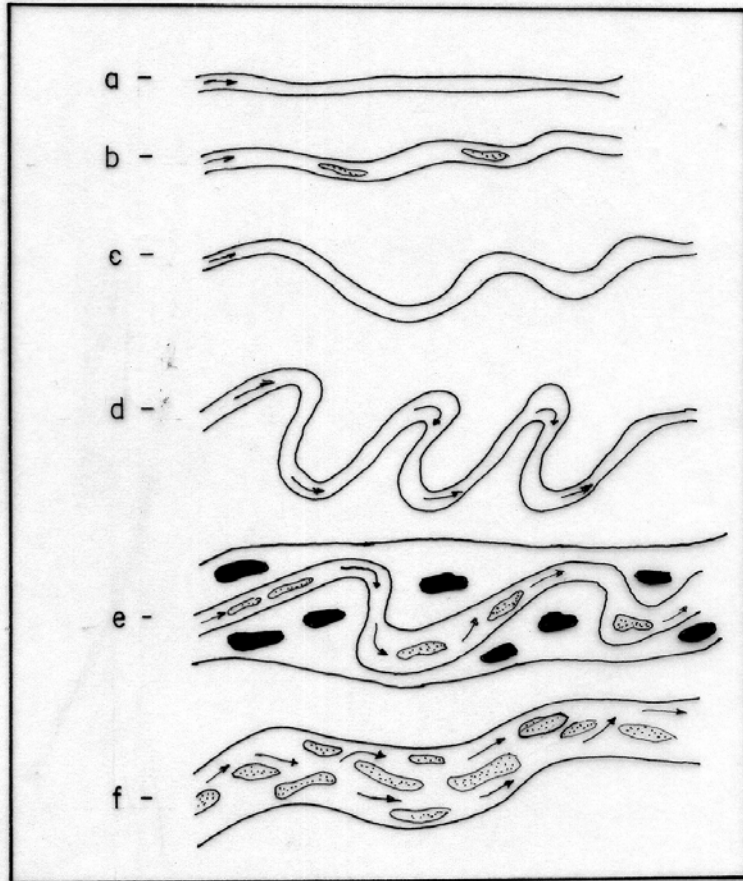


Figura 12: Tipos de Canais.

Principais tipos de canais: a – retilíneo; b – retilíneo com barras; c – meândrico com ângulos suaves; d – meândrico com ângulos fortes; e – meândrico – anastomótico; f – entrelaçado. Observar a transformação dos diferentes tipos de canais, começando com o retilíneo e culminando com o entrelaçado (braided).

Os rios retilíneos são muito raros e quando ocorrem restringem-se a trechos curtos. O grau de sinuosidade é extremamente baixo, que é diagnóstico deste tipo de canal. São constituídos por depósitos de areia, pouco espessos e descontínuos, designados como barras (Mendes, 1984).

Os rios meandrantés (**Estampa 6**) são bastante sinuosos, sendo o canal mantido pela erosão do lado convexo acompanhado de deposição no lado côncavo. A seqüência consiste de depósitos de canal, gerados por acreção lateral, de constituição litológica grossa; seguido por finos, de inundação, depositada a partir de acreção vertical. Nos depósitos gerados por acreção lateral ocorre um hiato na base do depósito sobreposto por estratificações cruzadas com intercalações de laminações cruzadas, podendo eventualmente ocorrer laminação plano-paralela. Seguem-se os depósitos de acreção vertical, depositados em um estágio de inundação, onde se depositam grandes quantidades de pelitos com intercalações de areia fina, geralmente com marcas de raízes, bioturbações e greta de contração. Vide **Figura 18**.

O tipo entrelaçado (*braided*) é encontrado em rios que possuem uma grande carga de sedimentos grosseiros e bancos que são erodidos com relativa facilidade (**Estampa 5**). A seqüência do canal entrelaçado consiste de um hiato, sobreposto por estratificação cruzada formada por migração de dunas com cristas sinuosas. O desenvolvimento do *sand flat* parece iniciar-se com o desenvolvimento e emergência de barra de canal cruzada, o qual pode ser representada por delgados conjuntos de estratificação cruzada tabular. Núcleos de agradação e modificações durante inundação e estágios de subsidência podem gerar um complexo conjunto de pequenas estratificações cruzadas tabulares com dezenas de centímetros. Ao contrário dos rios meandrantés, nos entrelaçados, os depósitos de acreção

vertical não são comuns, sendo raramente preservados. Somente durante as maiores inundações pode haver deposição na planície de inundação. Vide **Figura 19**.

Na **Figura 20** apresenta-se em bloco-diagrama as principais fácies sedimentares encontradas em canais do tipo entrelaçado. Compare com a **Figura 19**.

Segundo Summerfield (1991) o canal entrelaçado caracteriza-se pela presença de ilhas ou barras representativas da deposição de sedimentos. As ilhas são vegetadas, enquanto as barras são menos estáveis, sendo formadas por areia e cascalhos. Em outras palavras, com feições tipicamente deposicionais.

A **Figura 21** mostra o desenvolvimento de um delta no baixo curso do rio Mali (Niger), retratando fácies sedimentares de características bem distintas. Comparar com a **Estampa 8**. Por sua vez, a **Figura 22** exibe o rio *Brahmaputra* (Índia) ao redor do Platô *Shillong*, também conhecido como Platô *Assam*, com elevações de 1400 a 1800m, e que consiste de arenitos e calcários do Eoceno, capeando rochas do embasamento cristalino. O rio *Brahmaputra* retrata perfeitamente o canal entrelaçado devido a grande descarga de água provocada pelo alto índice pluviométrico dessa região (Brake, 1998). Compare com a **Estampa 9**.

Os canais anastomóticos diferem daqueles dos rios entrelaçados, por apresentarem canais estáveis, que contornam as ilhas vegetadas e abundantes áreas nas quais sedimentos finos são depositados e preservados (Walker & Cant, 1984; Smith & Smith apud Walker & Can, 1984).

O termo *anastomose* foi aplicado pela primeira vez por Jackson (1834), enquanto Pelae (1879) fez a primeira citação na zona de confluência dos tributários do *Green River* nos Estados Unidos da América do Norte. Os canais anastomóticos tipificam-se pelo grande volume de carga de fundo que, associado com as variações das descargas, ocasionam sucessivas ramificações, ou múltiplos canais que se subdividem e se reencontram, separados por ilhas assimétricas e barras arenosas.

Segundo Summerfield (op. cit.) o canal anastomótico consiste de ramos que se anastomosam e se juntam, lembrando o entrelaçado, porém com feições tipicamente erosionais em razão do material ser muito resistente entre os canais para ser transportado, por ser formada por rochas ou aluviões estáveis, exceção feita quando ocorrem fluxos excepcionais.

Nos **Quadros 2 e 3** apresentam-se significativas comparações dos tipos básicos de canais em termos de grau de entrelaçamento e sinuosidade, assim como largura e profundidade, as quais caracterizam e identificam muito bem os mesmos, evitando com isso a ambigüidade.

No **Quadro 3a** apresenta-se uma relação entre o tipo de canal e sua vazão, declividade e granulometria principal do sedimento transportado, conforme estabelecido na Figura 19a.

A **Figura 23** retrata o baixo rio *Yangtze* (China) na porção centro-leste do país, que consiste de ampla planície aluvial flanqueada por rochas cristalinas, a qual retrata perfeitamente a presença de canais anastomóticos (Brake, 1988). Compare com a **Estampa 10**. Nesta pode ser observada o marcante controle estutural e canais retilíneos com barras.

Os canais meândricos descrevem curvas sinuosas, harmoniosas e semelhantes entre si, possuindo índice de sinuosidade igual ou inferior a 1,5. As condições para o desenvolvimento de meandros são: carga em suspensão e de fundo em quantidades aproximadamente iguais, e gradientes moderadamente baixos. Os meandros de acordo com os tipos de vale onde ocorrem podem ser: divagantes ou encaixados (**Figura 24**).

A **Figura 25** retrata o vale do rio *Mississippi* (EUA), nas cercanias de sua confluência com o rio *Ohio*, exemplificando a presença de canais meândricos. Confrontar com a **Estampa 11**. A **Figura 26** mostra na porção central do Peru, o rio *Ucayali*, imediatamente a leste dos Andes, em *Cerro do Pasco*, que se origina dos rios *Tambo* e *Urubamba*. Abaixo dessa confluência, exibe mudança marcante do tipo de canal, sendo que para os primeiros 50 km apresenta canais anastomóticos, que passam bruscamente para tipos meândricos, a jusante (Baseado em Brake, 1988). Confrontar com a **Estampa 12**.

Os vales são depressões com largura e extensão variáveis, resultado da força erosiva de um rio que serpenteia em seu interior. Os vales possuem vertentes simétricas ou assimétricas, e também

podem ser de fundo em V, UV, VU ou em U (**Figura 27**). O vale em V denota um rio em fase essencialmente erosiva (juventude), em U ou de fundo chato indica uma fase de senilidade, ao passo que em VU ou UV indica uma fase intermediária, sendo que VU se aproxima mais do vale em V, enquanto o UV, do vale em U. Um vale pode ter alargamento transversal ou longitudinal. No primeiro caso tal fato é devido a erosão lateral, muitas vezes provocada por basculamentos, resultando na formação de terraços. No segundo caso pode estar relacionado à erosão remontante por causa da elevação do nível de base, mudando seu perfil de equilíbrio (**Figura 28**).

O termo entrelaçado (*braided*) é aqui usado para caracterizar uma rede de canais bem distribuídos, com um desenvolvimento essencialmente transversal. Este padrão é suposto formar-se sobre vales amplos e planos e não necessariamente em um único canal de carga, enquanto o anastomótico contempla múltiplos canais dispostos de forma anastomosada.

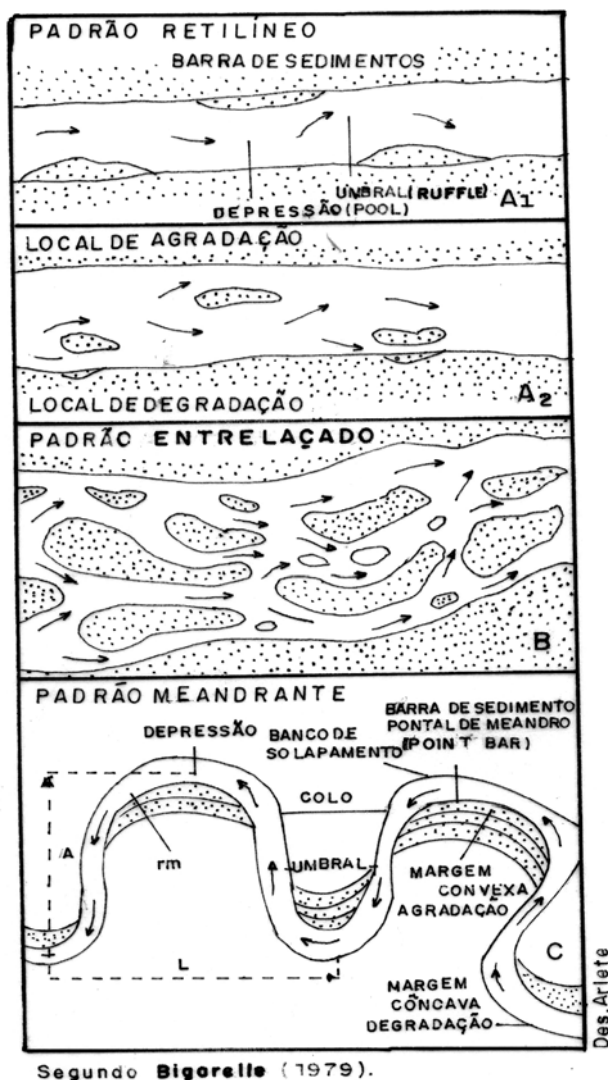


Figura 13: Detalhes dos tipos de canais retilíneo, entrelaçado e meândrico (Bigarella, 1979).

A presença de barras em pontal no meândrico, barras em rede no entrelaçado e a carência de barras no retilíneo são as feições mais marcantes.

Quadro 3- Relação entre a largura e os principais tipos de canais fluviais

Tipo de Canal	Morfologia	Largura/Profundidade
Retilíneo	Canais simples com barras longitudinais	<40
Entrelaçado	Dois ou mais canais com barras e pequenas ilhas em processo deposicional	>40 ; geralmente >300
Meandrante	Canais simples	<40
Anastomótico	Dois ou mais canais com ilhas largas e estáveis em processo erosivo	<10

Fonte: Modificado de Rust (1978)

Quadro 2 - Relação entre a sinuosidade e o grau de entrelaçamento para os principais tipos de canais fluviais

Grau de Entrelaçamento	Sinuosidade	
	Baixa (<1,5)	Alta (>1,5)
<1 (canal único)	Retilíneo	Meandrante
>1 (canais múltiplos)	Entrelaçado	Anastomótico

Fonte: Modificado de Rust (1978)

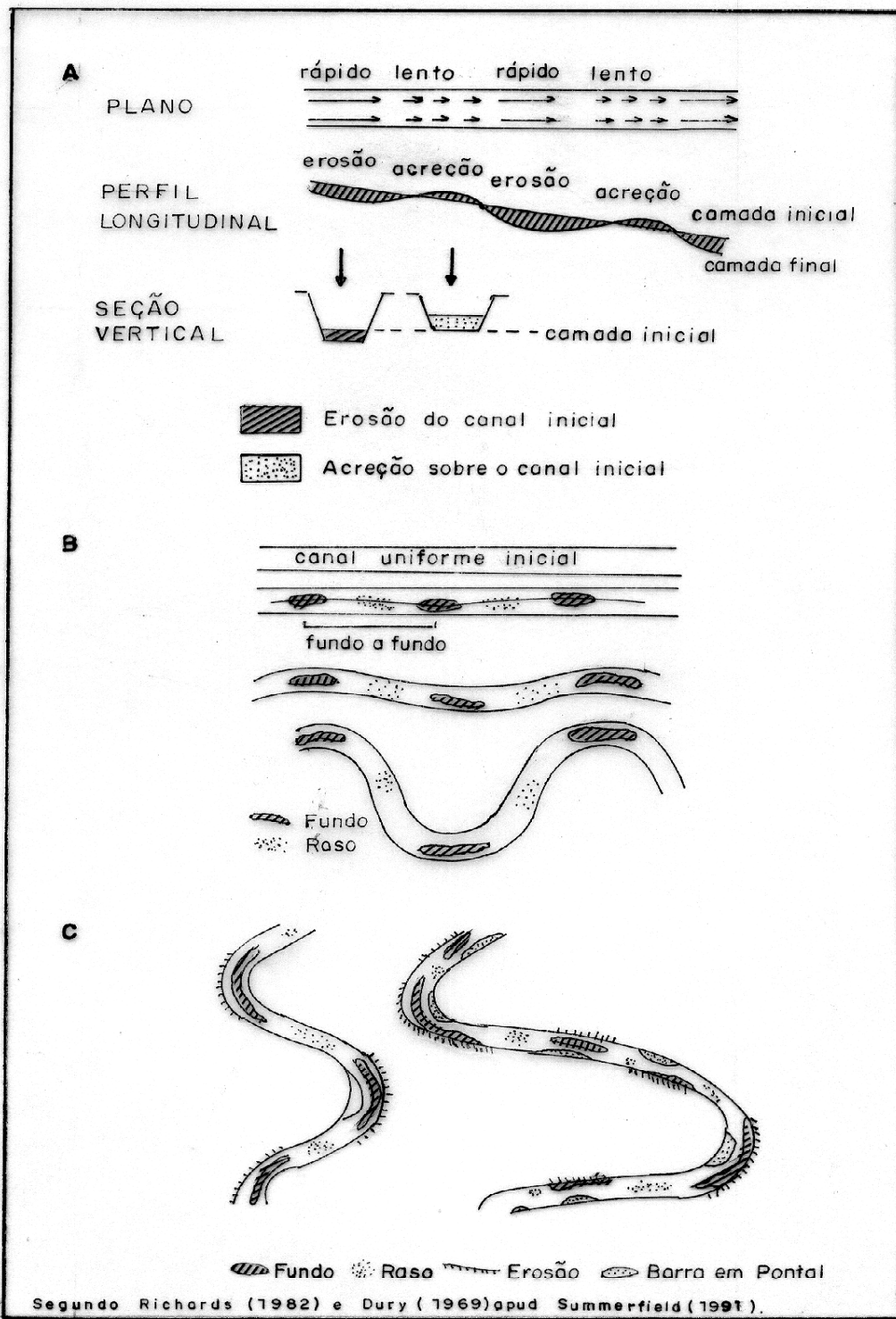
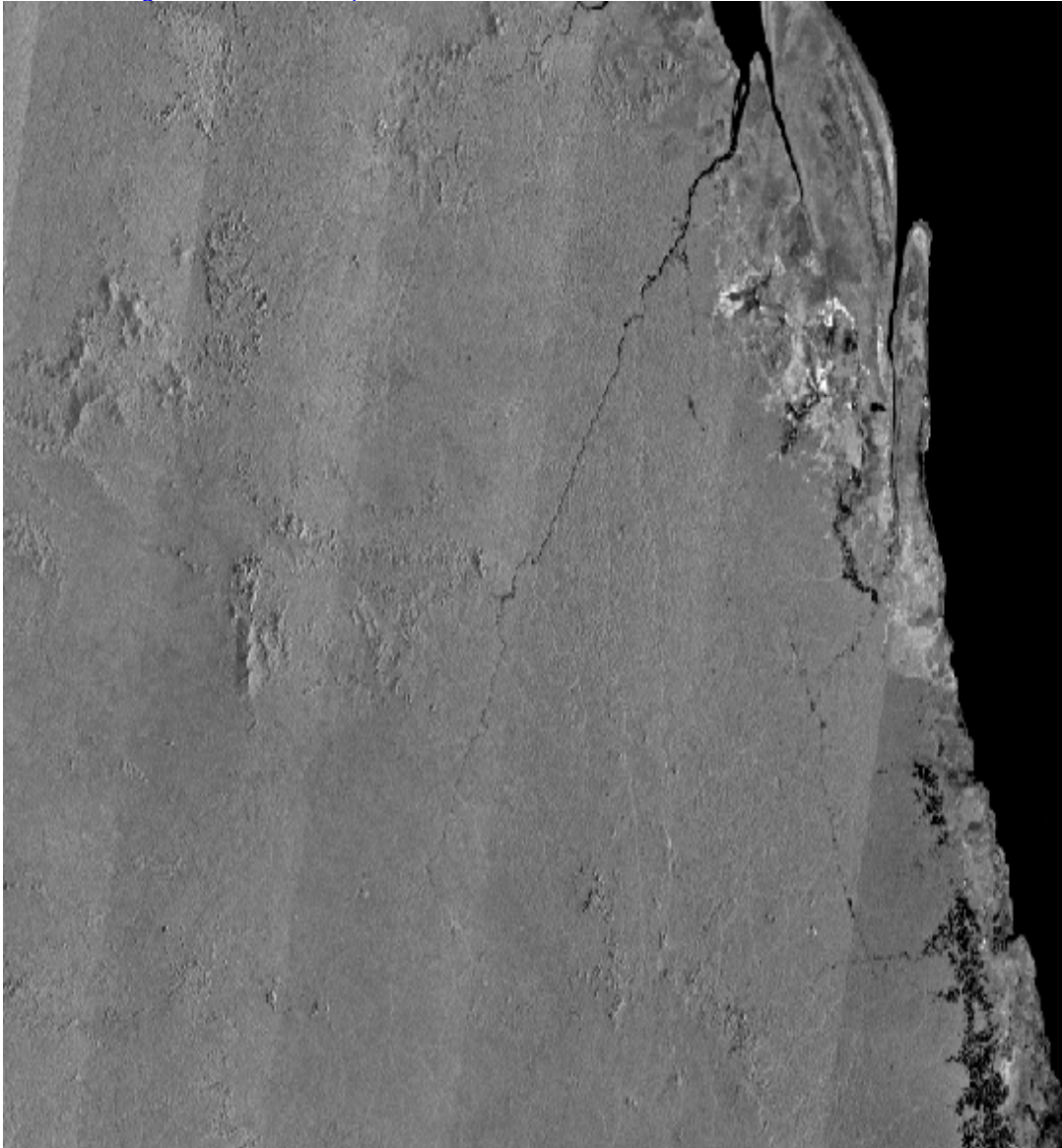


Figura 14: Depósitos Sedimentares em Canais.

A – Erosão e acreção de uma camada de canal correspondente às zonas de fluxo rápido e lento. B – Transformação de um canal reto para meândrico e sua relação com as partes fundas. C – Relação entre as partes rasas e fundas de um canal meândrico. Seg. Richards (1982) e Dury (1969) apud Summerfield (1991)

Estampa 4a – Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS, Banda L, 1995, da região do rio Oiapoque (Amapá/Brasil-Guiana Francesa/França).

Observar na porção central da estampa o rio Oiapoque e sua marcante retilinearidade, com cerca de 250 km de extensão. Cf com Figura 15. Norte no topo



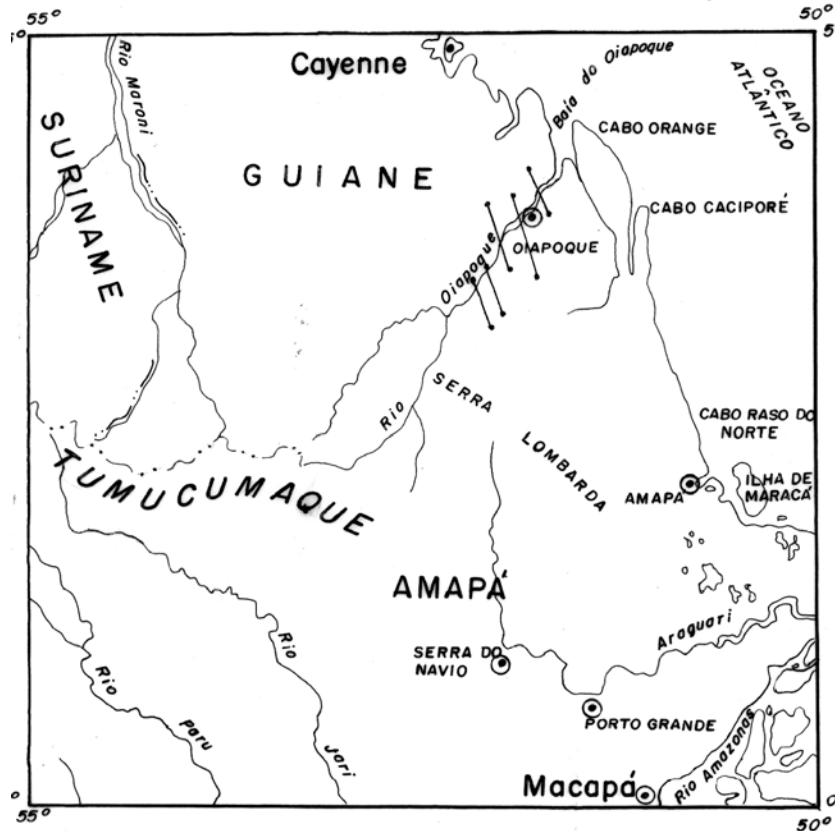


Figura 15: Retilinearidade do rio Oiapoque (BRASIL/Guiana Francesa - FRANÇA).

A Figura mostra um dos limites naturais mais retílineo do mundo, entre dois países. Representa, em verdade, uma extensa fratura com reativação em tempos quaternários. As zonas de cachoeiras são formadas pela presença de diques transversais, compondo pontos de quebra.

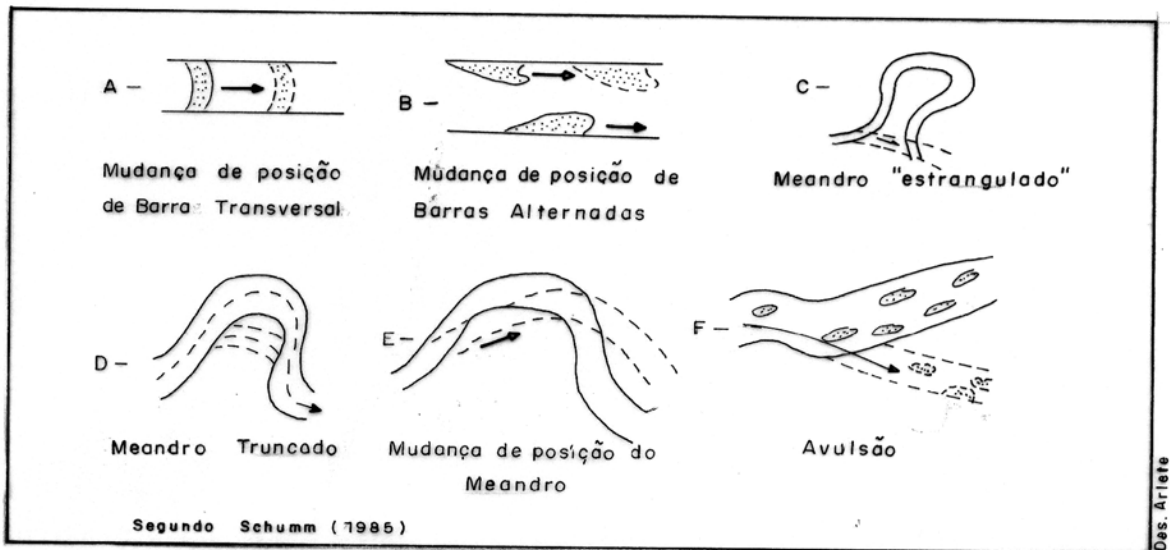
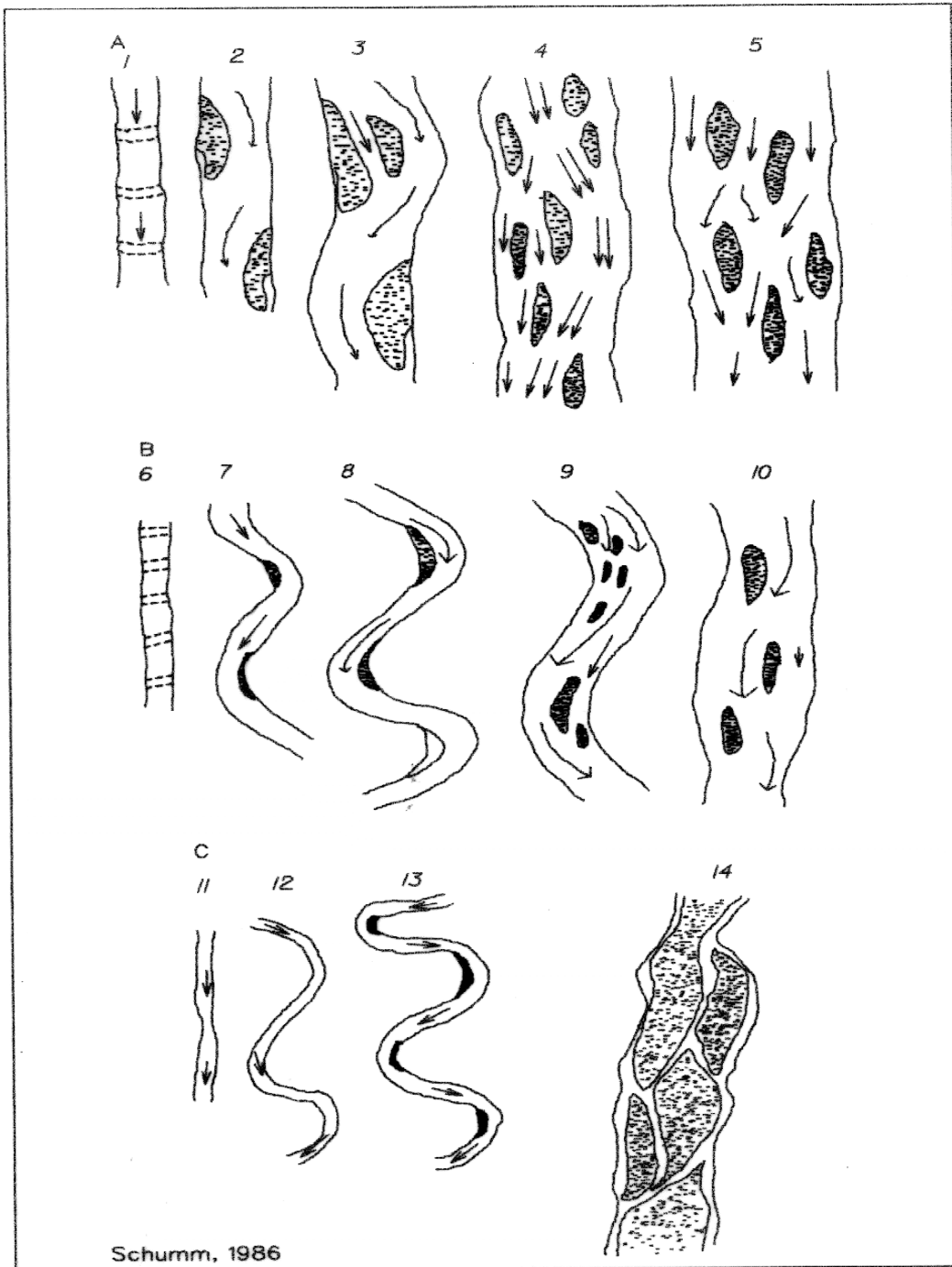


Figura 16: Tipos de mudanças de canais.

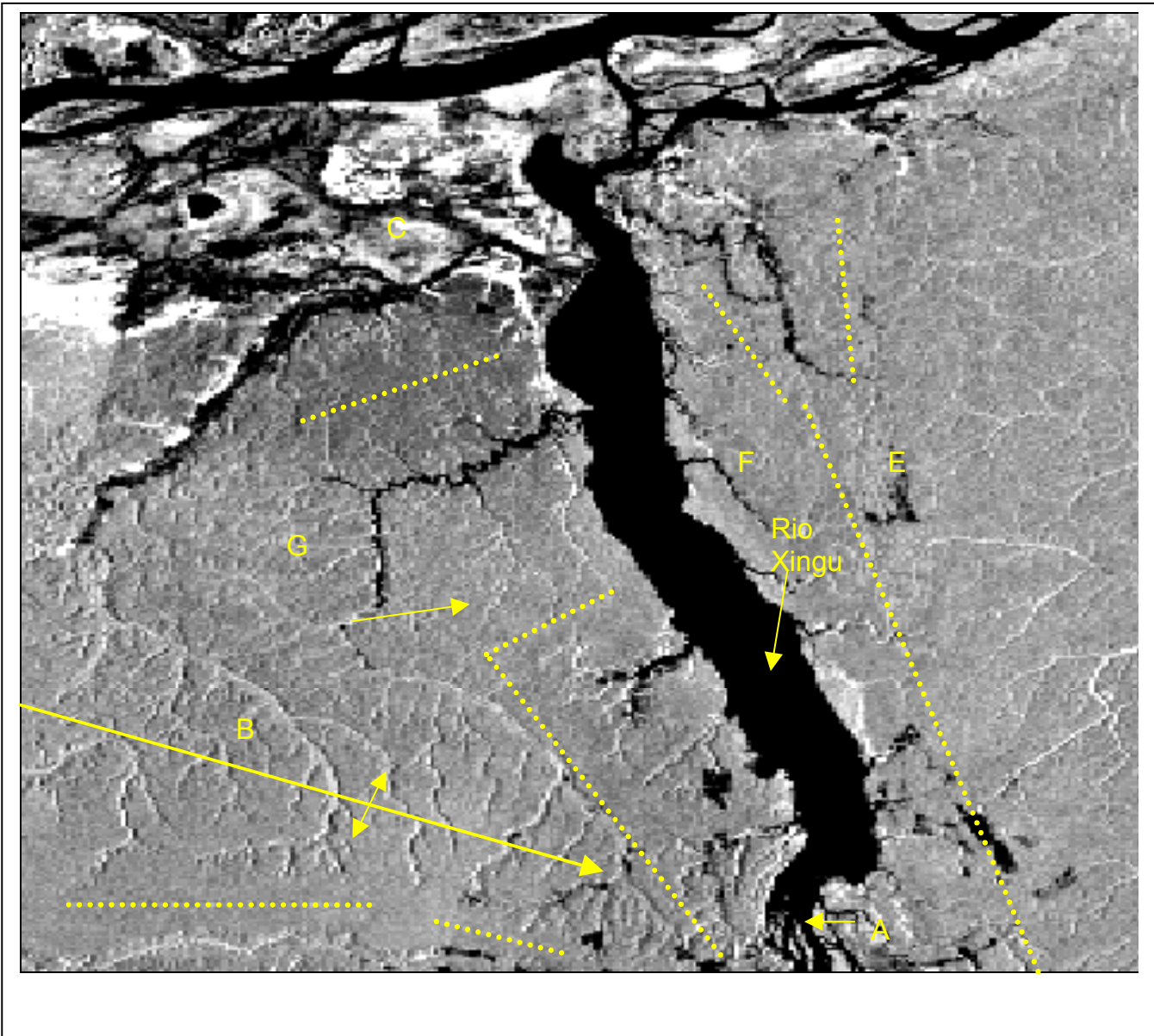
Exemplos de mudanças de canais estão esquematizados na Figura acima. Em (A) e (B) mostram a migração corrente abaixo de barras dentro de canais, sejam elas transversais ou alternadas; em (C), (D) e (E) ilustram as rápidas mudanças associado aos canais ligados a meandros, enquanto que em (F) mostra o desenvolvimento de um novo curso através da avulsão. Seg. Schumm (1985).



Schumm, 1986

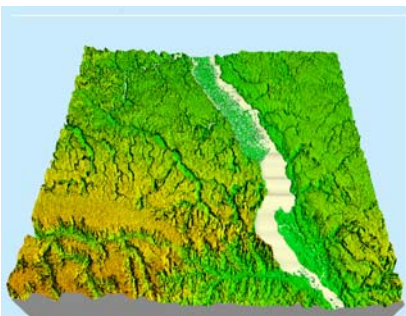
Figura 17: Distintos Tipos de Canais.

Observar os distintos tipos de canais e suas graduações conforme a óptica de Schumm (1986). Inicia-se retilíneo, tanto em A, B e C, podendo atingir o entrelaçado e anastomótico, com passagem pelo meândrico. Vários componentes físicos do terreno irão influenciar. Nos tipos de 1 a 5 dominam carga suspensa, de 6 a 10 carga mista e de 11 a 14 carga de fundo.



Estampa 4b – Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS, banda L, 10/1995. Região da foz do rio Xingu (PA). Assimetria e anomalias de drenagem.

É marcante o controle estrutural alcançado pela foz do rio Xingu, afluente pela margem direita do rio Amazonas, em razão de sua retilinearidade de cerca de 125 km de extensão e largura média de 15 km, associados a marcante deflexão e estreitamento em (A), com a presença de inúmeras ilhas resultantes de sedimentação fluvial. Observar as feições sigmoidais das ilhas próprias deste tipo de deposição. De igual modo tem-se as assimetrias de drenagem fraca em (E) e média a forte em (F). Em (E) domina um padrão de drenagem dendrítico-paralelo e em (F) retangular. Em (C) assomam depósitos aluviais do rio Amazonas. Por sua vez, em (D) mostra evidências de captura e em (B) os padrões de drenagem anelar e radial denotam marcante alto estrutural indicado por um eixo de antiformal com orientação NO-SE. Merece ressaltar a anomalia de drenagem do tipo anelar em (G). Vide modelo em 3 D abaixo. Norte no topo.



Modelo em 3D da Estampa 4b. Imagem SRTM (2000).

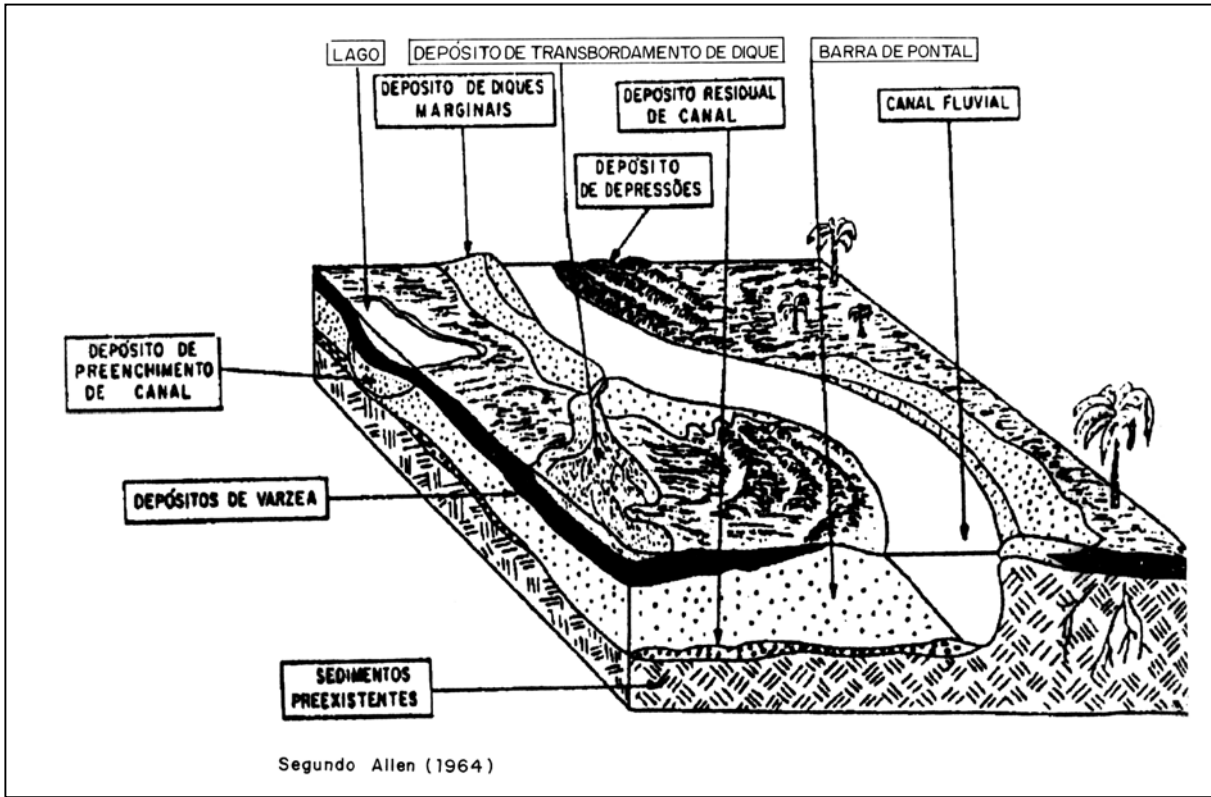


Figura 18: Principais Fácies Sedimentares do Sistema Fluvial (Allen, 1964).

Observar a relação entre os diversos tipos de depósitos, dentre os quais tem-se a planície de inundação, os de barra de pontal com suas cristas compondo cordões fluviais, depósitos de diques marginais e lago. Este representando antigos meandros (ox bow lake).

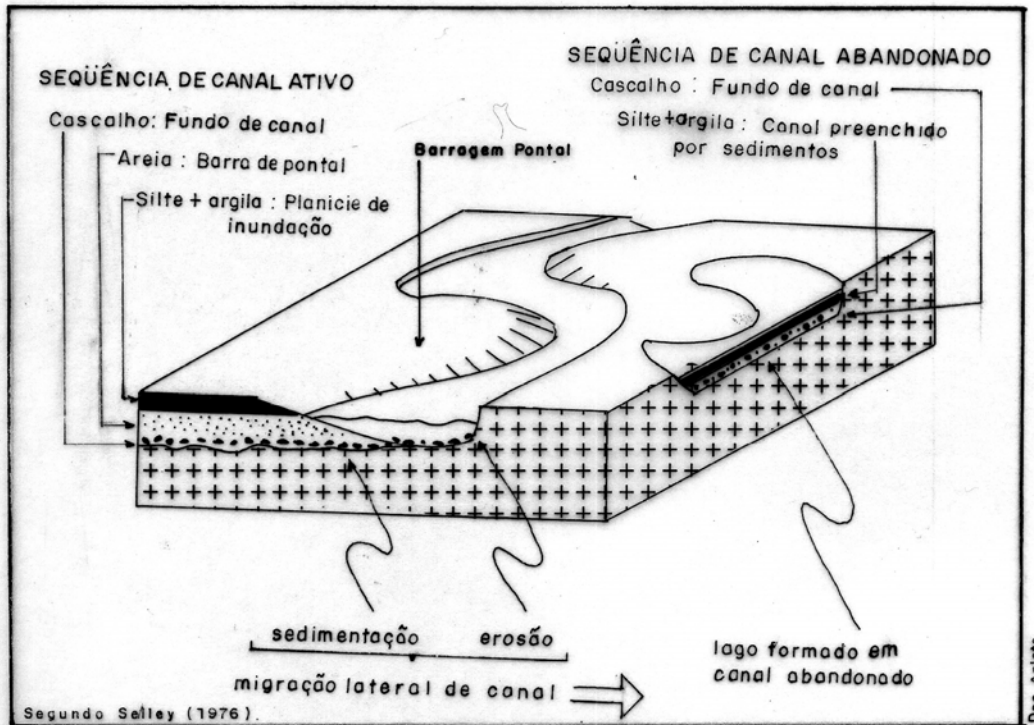
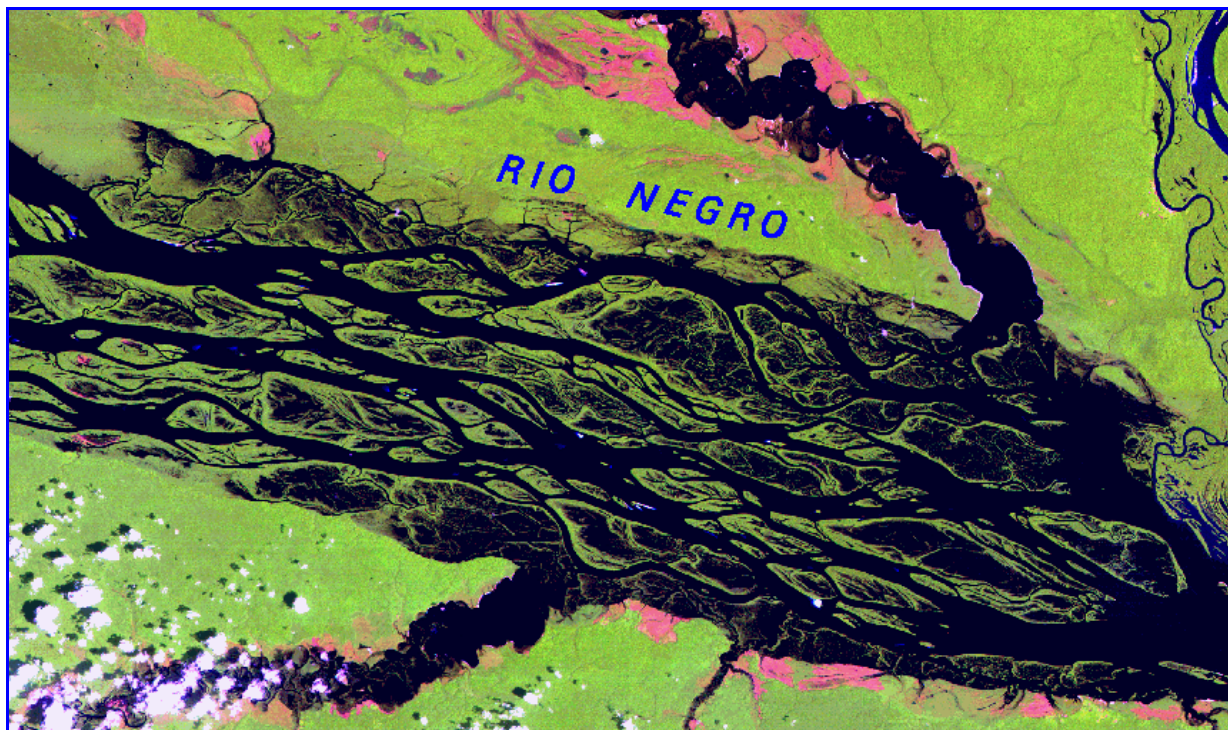


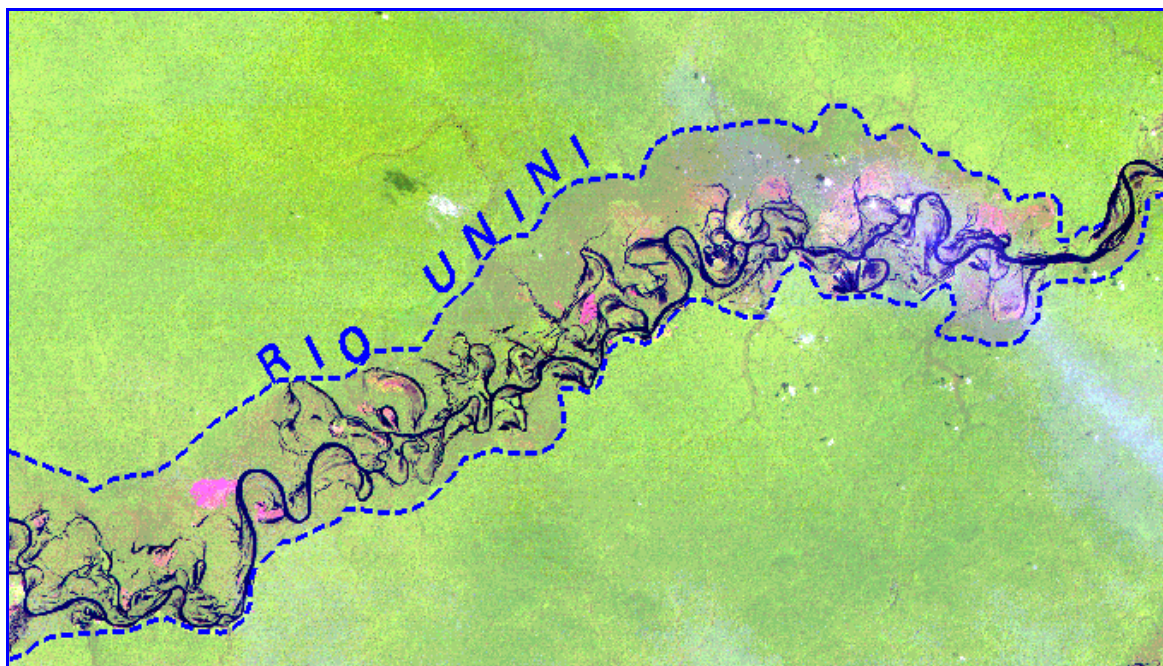
Figura 19: Canal Meândrico.

Fácies Sedimentares Aluviais depositadas em rios de canal meândrico; canal ativo e canal abandonado (Selley, 1976). A feição mais evidente é a barra em pontal.



Estampa 5 – Imagem Landsat-TM5, R5G4B3, 12/1996. Região do Médio rio Negro (AM) .

Canal Entrelaçado caracterizado por ilhas com faces em forma de lagoas abertas. Largura média do rio Negro é de 18 km. Neste ponto o rio Negro é assimétrico, uma vez que em sua margem esquerda tem-se extensa planície de inundação, o que não acontece com a outra margem.



Estampa 6- Imagem Landsat TM5, R5G4B3, 12/1996. Região do rio Unini.

Canal Meândrico do rio Unini, afluente do rio Negro pela margem direita. O limite da planície de inundação aparece destacado em linha tracejada azul, com cerca de 8 km de largura na porção central da **estampa**. Embora com seus meandros o rio Unini denota um controle estrutural para NE-SO.



Estampa7–Imagem Landsat TM5, R5G4B3, 12/1996. Região dos rios Negro e Solimões.

Vista geral da confluência dos rios Negro e Solimões, com diferentes tipos de canais podendo ser observado ao norte o entrelaçado no rio Negro, ao passo que no rio Solimões e afluentes são perfeitamente visíveis o retilíneo, anastomótico e o meandrante. Atentar para diferença de coloração dos rios Negro e Solimões, em razão da grande quantidade de sedimentos em suspensão neste último.

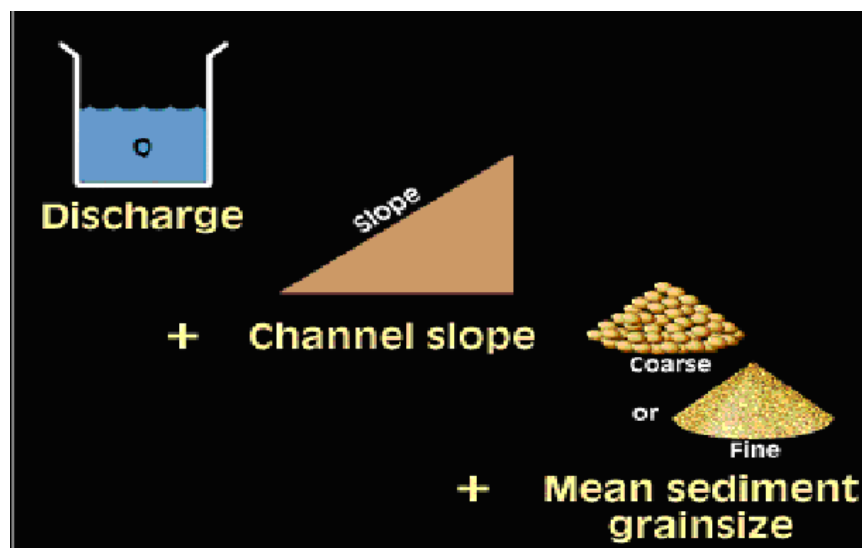


Figura 19 a – Tipos de Canais e de Sedimentos. O tipo de canal reflete a capacidade do rio para transportar determinado sedimento em uma velocidade uniforme, dispendendo uma quantidade mínima de energia. A combinação dos fatores acima indicados como vazão (*discharge*), declividade do canal (*channel slope*) e tamanho principal do grão do sedimento transportado (*mean sediment grainsize*), grosso (*coarse*) ou fino (*fine*), possibilitarão uma noção aproximada da granulacão do sedimento transportado, conforme o tipo de canal, como mostrado no Quadro 3a . (Pazzaglia, 2001).

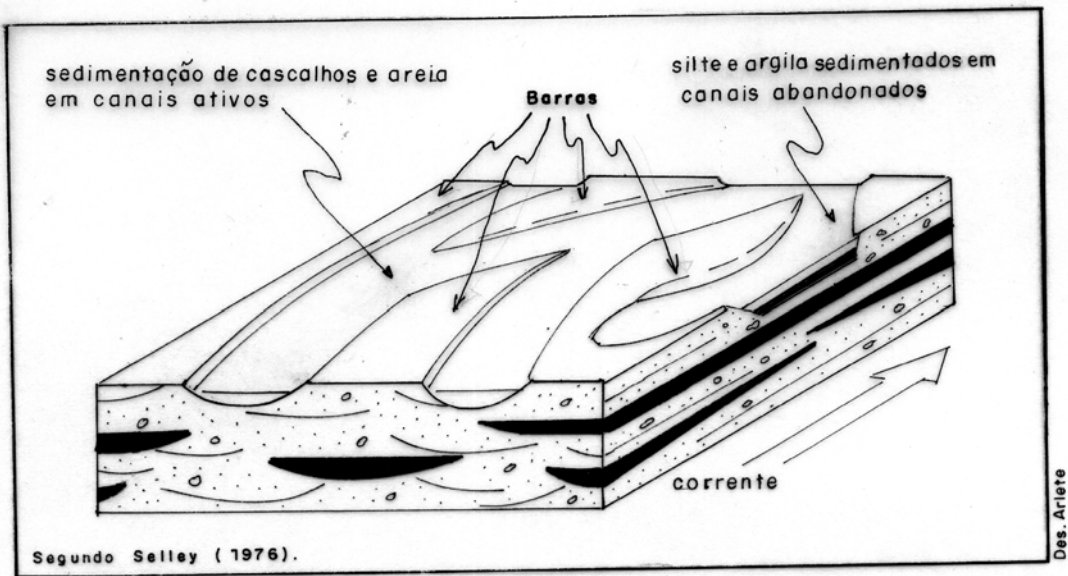


Figura 20: Canal Entrelaçado.

Fácies Sedimentares Aluviais depositadas em rio de canal entrelaçado. (Selley, 1976). As deposições em barras transversais e longitudinais constituem os processos dominantes neste tipo de canal.

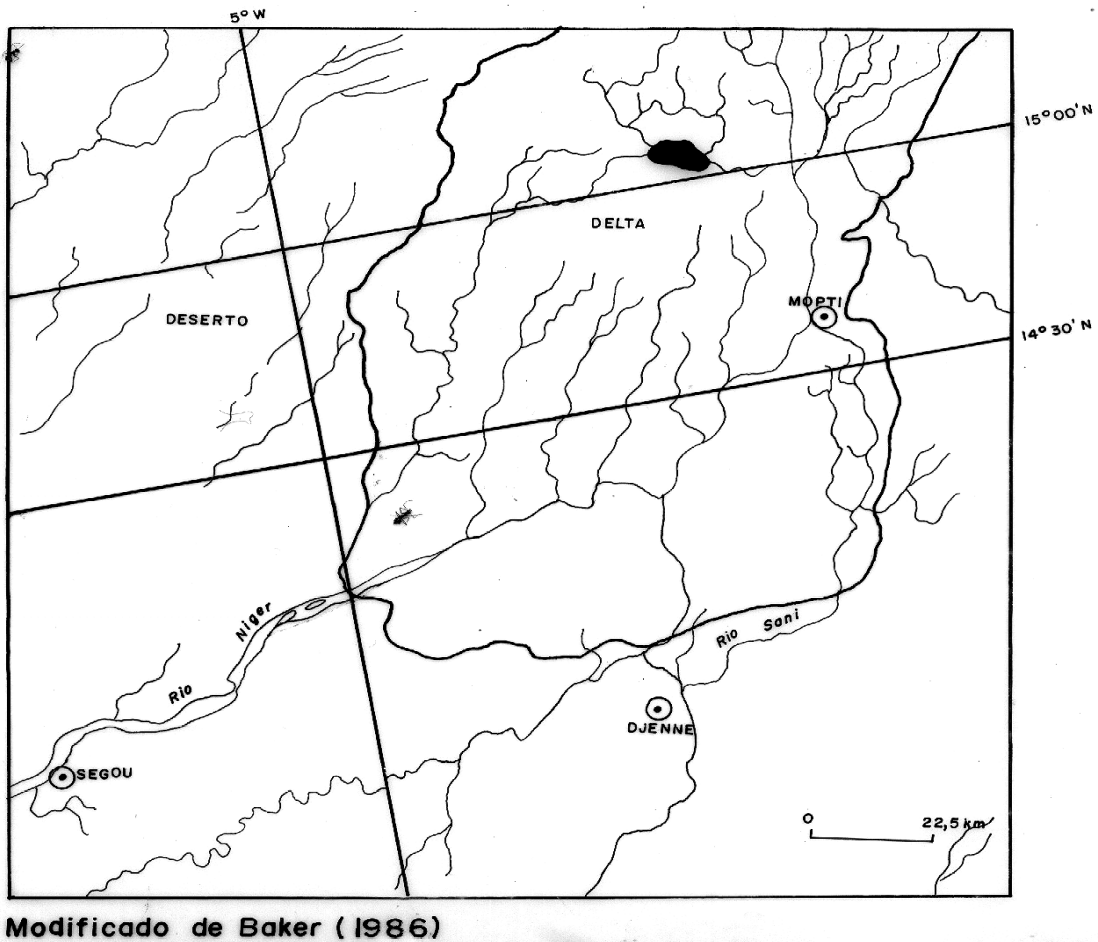


Figura 21: Rio Niger (Mali).

Desenvolvimento de um delta em seu baixo curso tipificado pelo padrão de drenagem do tipo distributário, incluindo a presença de lago. (Mod. Baker, 1986). Cf. com Estampa 8.

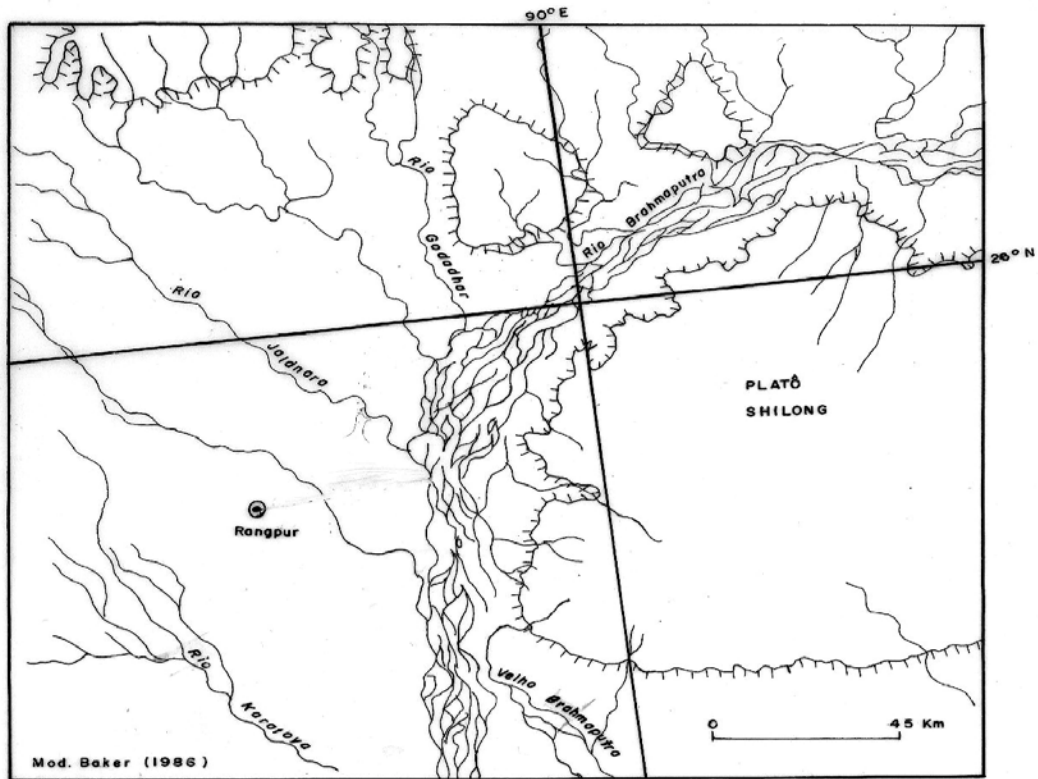


Figura 22: Rio Brahmaputra (Índia).

Belo exemplo de rio de canal entrelaçado. Observar a grande incidência de barras que se anastomosam (Mod. de Baker, 1986).

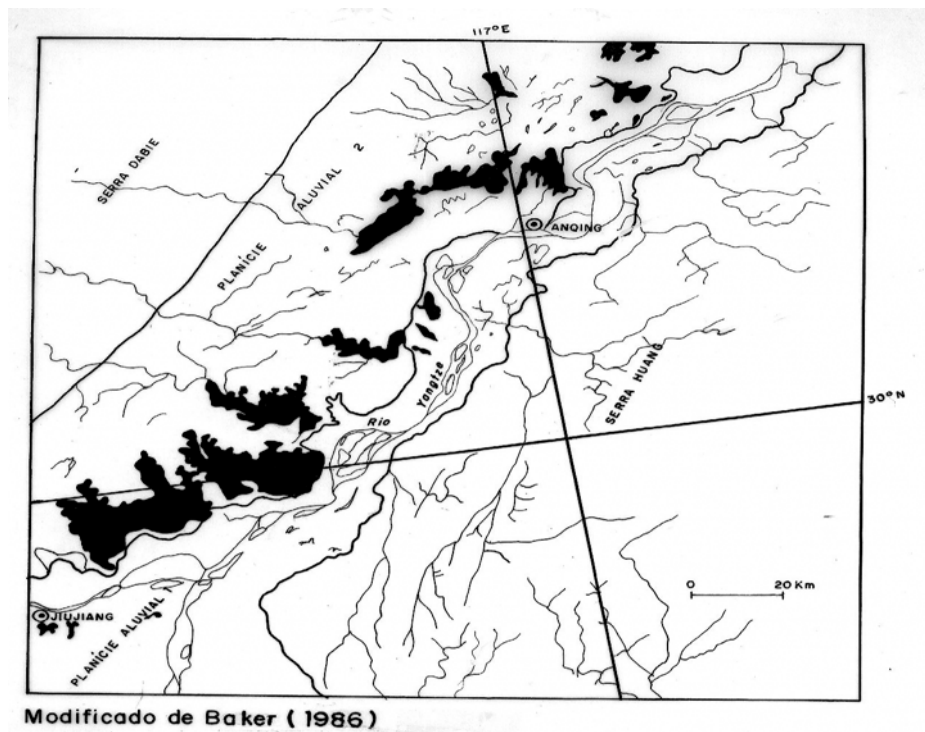


Figura 23: Rio Yangtze (China). Extensa planície aluvial, com o desenvolvimento de lagos. Pela retilinearidade do rio principal e pela sua assimetria denota um controle estrutural. (Mod. Baker, 1986). Cf com Estampa 10.

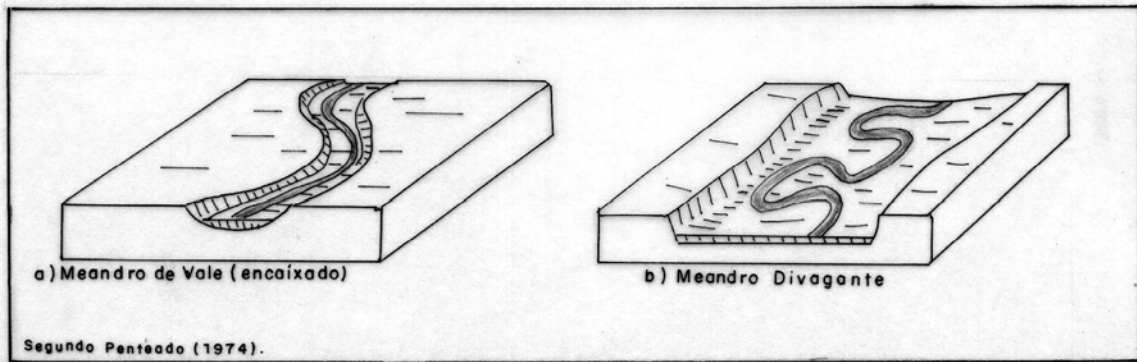


Figura 24: Tipos de Meandros.

Relação do meandro com o seu vale. Em (a) encaixado e (b) divagante. Segundo Penteadó (1974). No primeiro caso, o rio está em uma fase jovem, enquanto no segundo em uma fase madura.

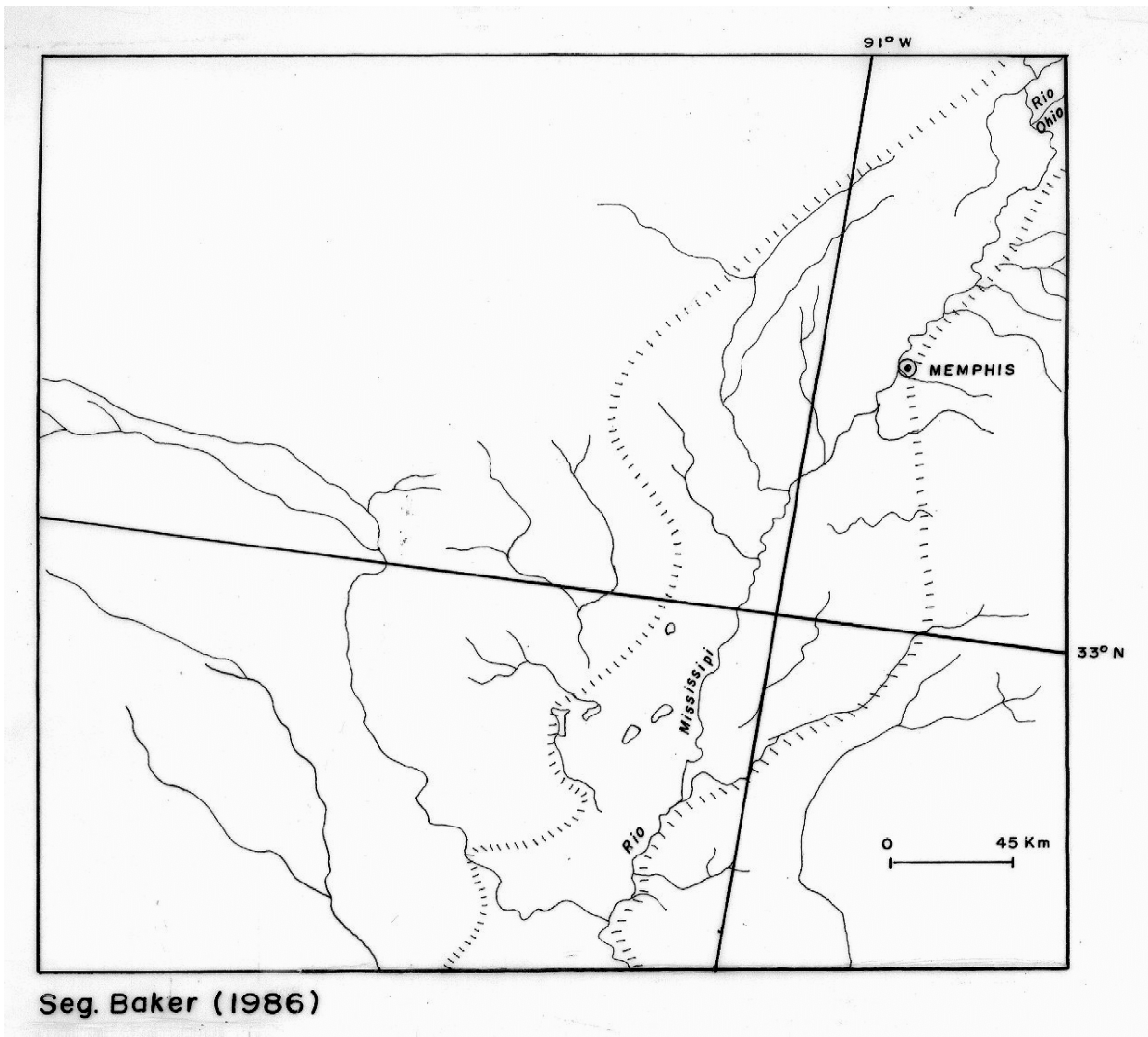
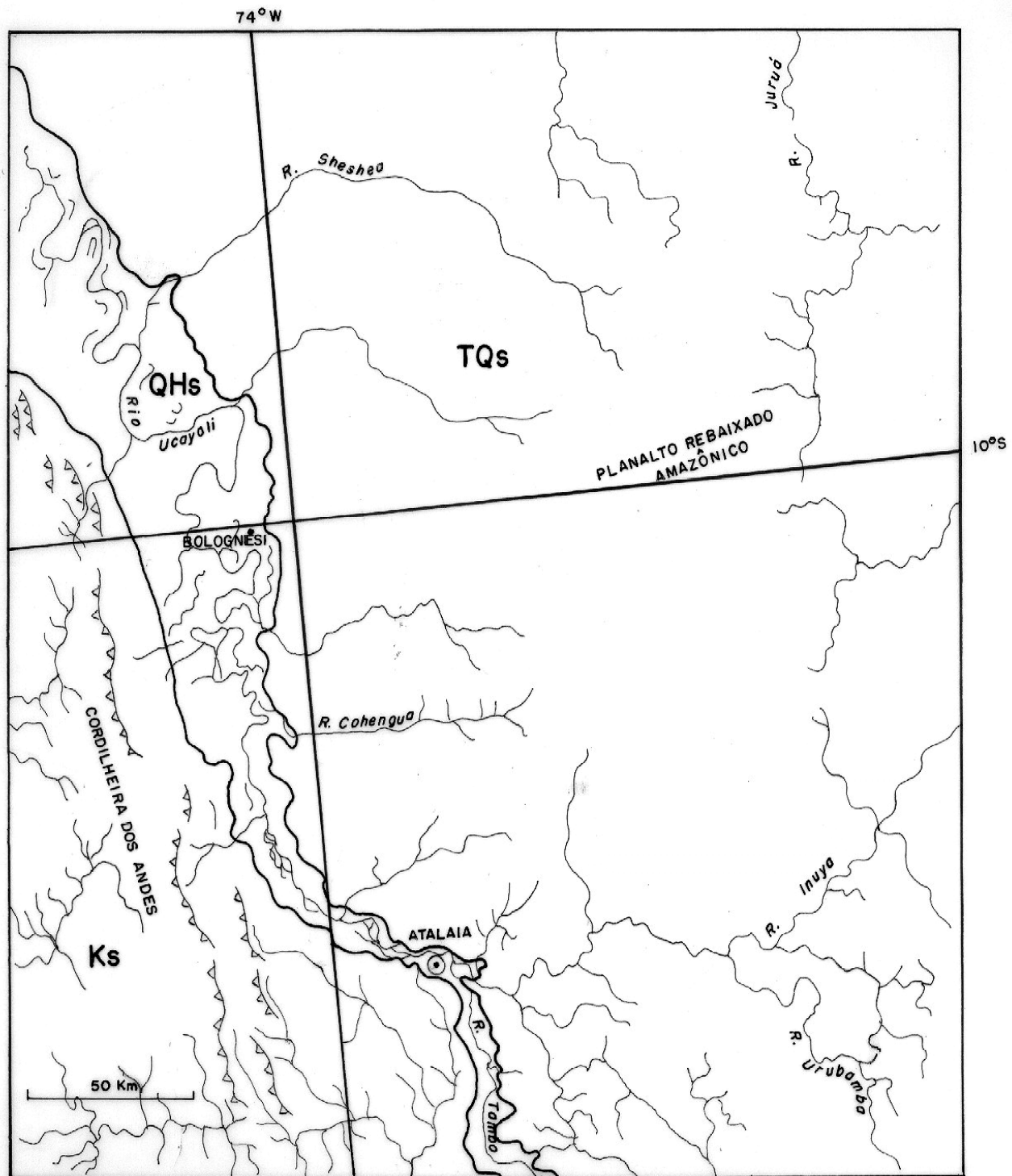


Figura 25: Rio Mississippi (EUA).

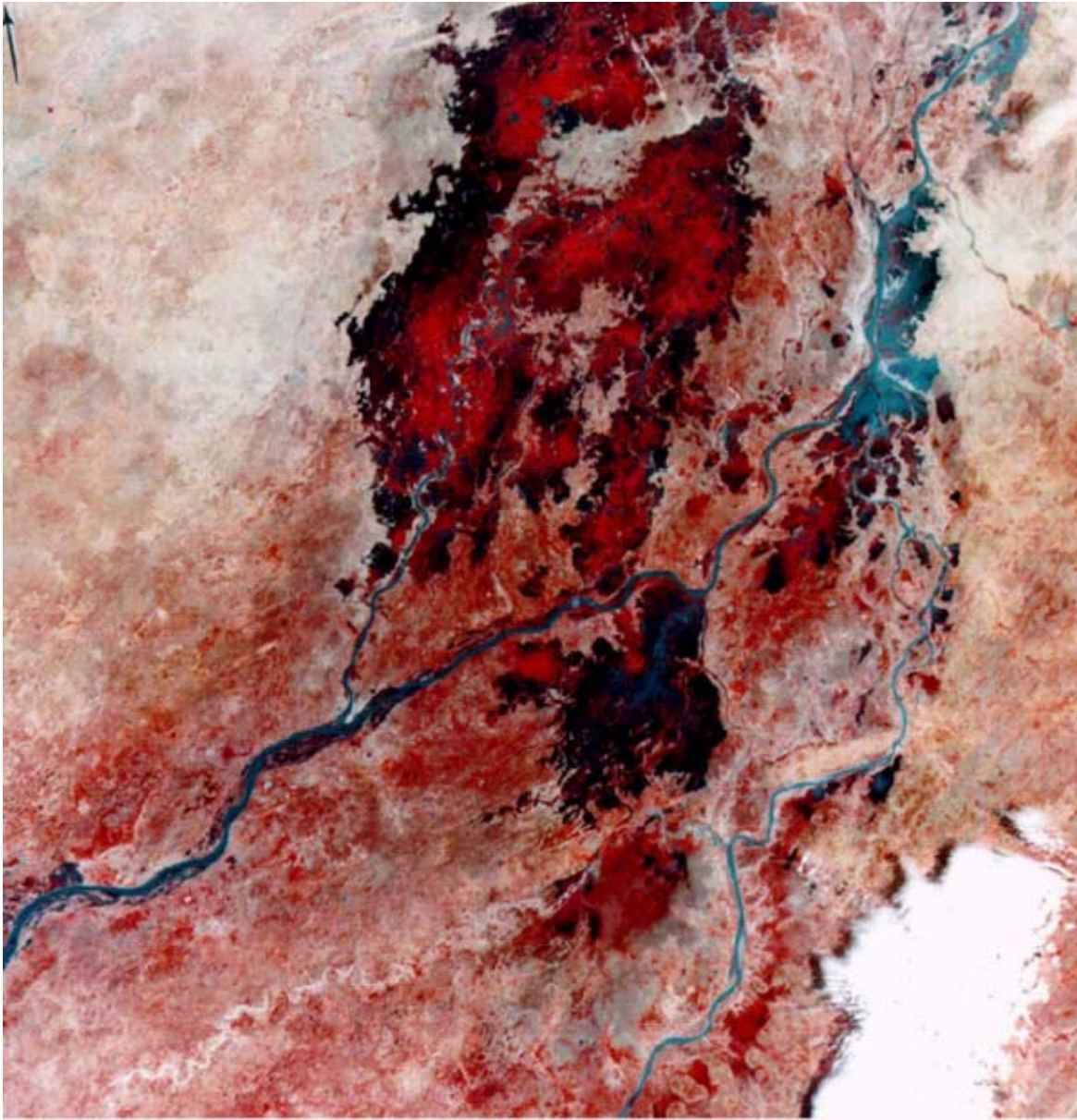
O rio Mississippi expõe muitos meandros em grande parte de seu trecho, relativos a uma fase madura ligada a um controle estrutural, em razão de seus longos trechos retilíneos (Mod. Baker, 1986).



Modificado de Baker (1986)

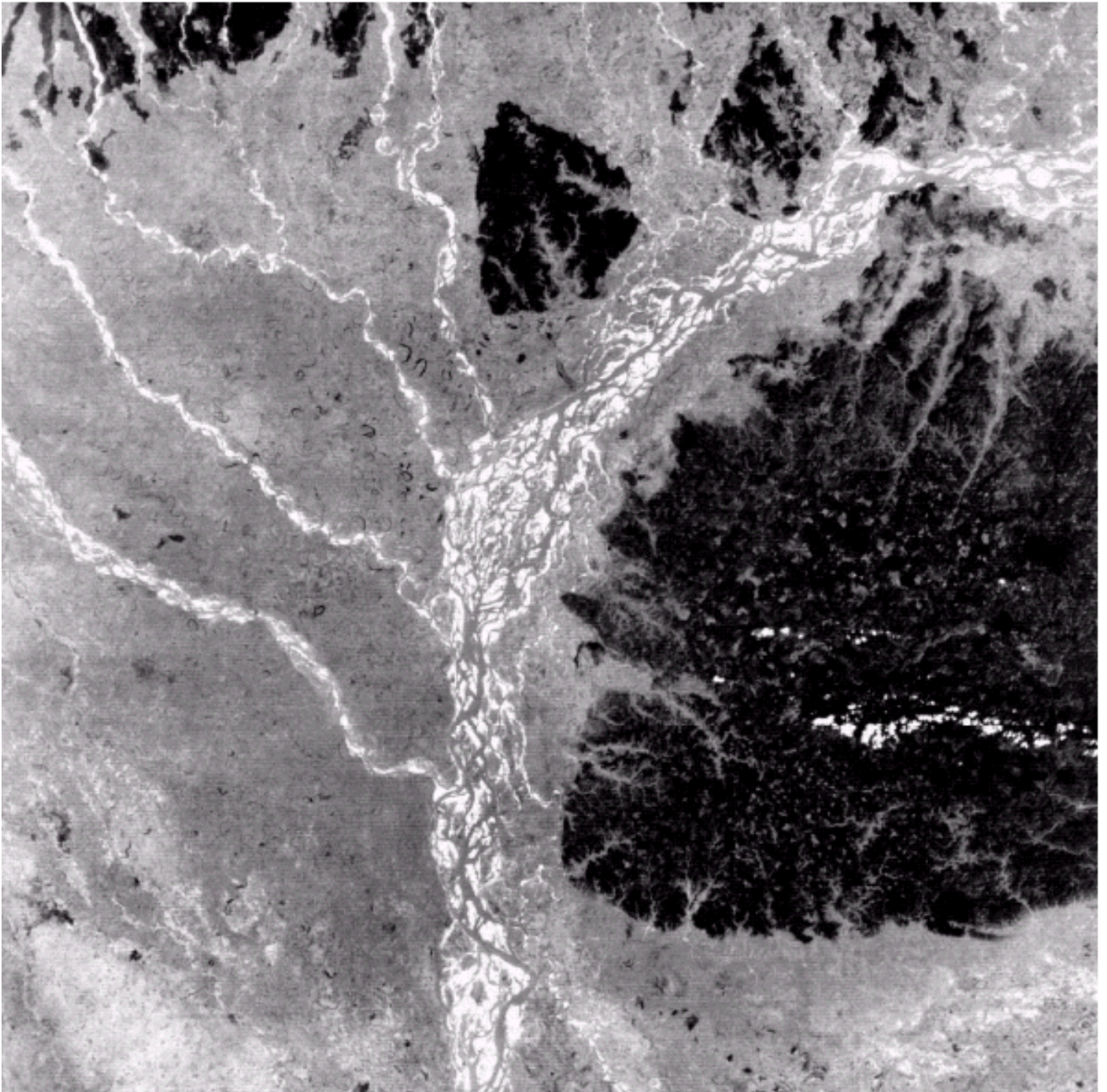
Figura 26: Rio Ucayali (Peru).

Exemplo de rio, precursor do Amazonas-Solimões, com canais entrelaçado e meândrico, na zona linceira da Cordilheira dos Andes nos domínios do planalto rebaixado amazônico. (Mod. Baker, 1986). Ks = sedimentos cretáceos; TQs = sedimentos tércio-quaternários; QHs = sedimentos quaternários holocênicos. Traços com dentes = cristas assimétricas.



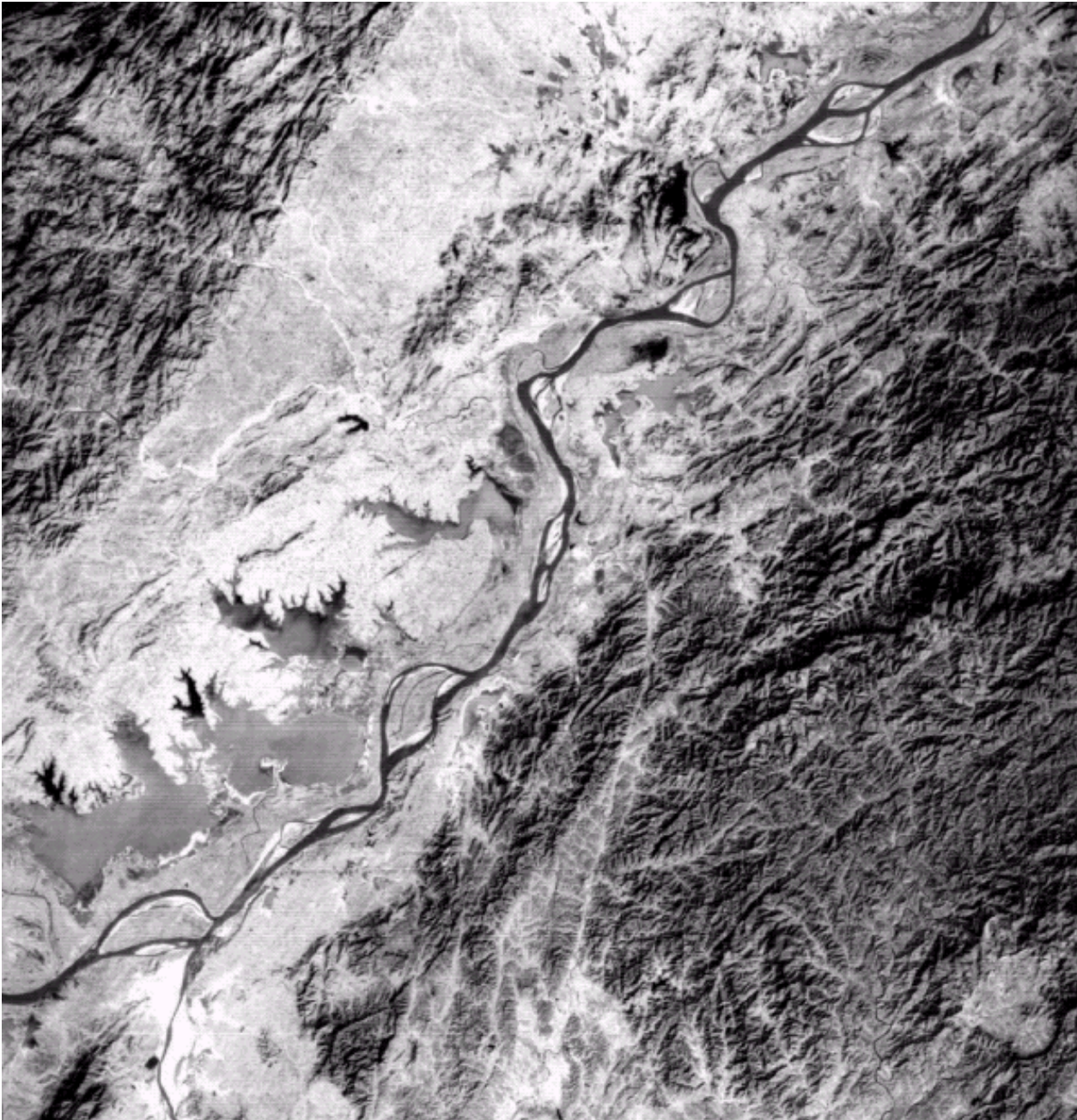
Estampa 8 - Imagem Landsat-MSS.08/1974. Mali. África Central.

Delta interior formado pelo rio Niger na África Central. Canais retilíneos, meândricos e anastomóticos. Observar o contraste entre a região desértica, noroeste, e o delta, porção central, com a grande incidência de lagos. Zonas azuladas representam zonas alagadas, branco leitos secos (areias), vermelho solo exposto e preto os lagos. Comparar com a Figura 21 para efeito de escala. Norte no topo.



Estampa 9 – Imagem Landsat-MSS. 12/ 1972. Rio Brahmaputra . Índia. Ásia.

Tendo suas cabeceiras na região das Montanhas Himalaias o rio Brahmaputra alcança a Baía de Bengala. Posteriormente combina com o Ganges e o Meghna para formar um dos maiores deltas do mundo. Imagem MSS na faixa do visível (verde). Belo exemplo de canal entrelaçado de um dos maiores rios do mundo. Observar o contraste de vegetação no topo dos diferentes platôs em preto. Comparar com a Figura 22 para efeito de escala. Norte no topo.



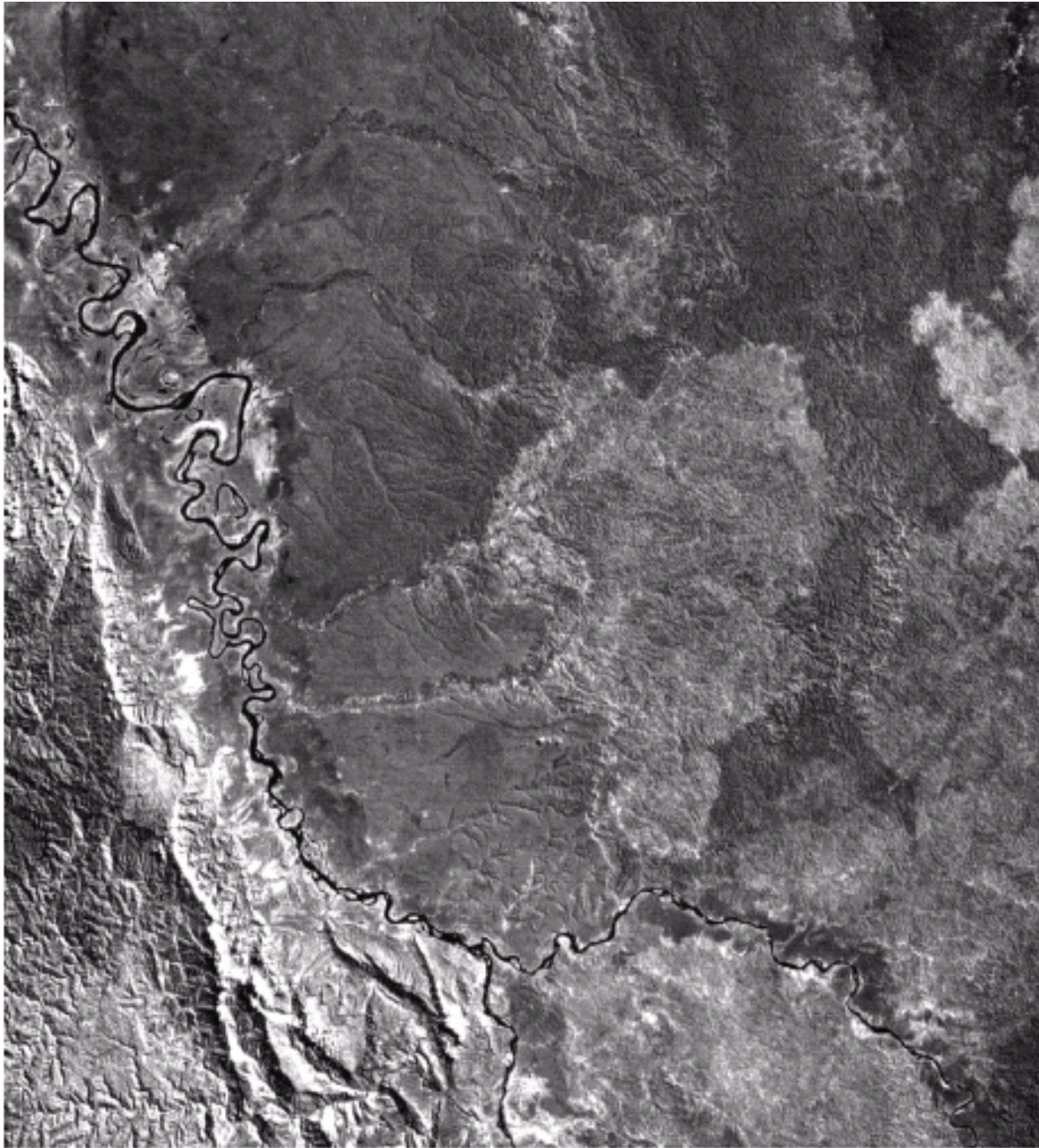
Estampa 10 - Imagem Landsat-MSS . 12/1973. Rio Yantgze. Ásia.

Vale do baixo rio Yangtze, centro-leste da China, representado por uma planície aluvial cheia de lagos, flanqueada por rochas metamórficas. Imagem da faixa do infravermelho próximo mostra muito bem as formas de relevo e a drenagem. Neste trecho é inconstante a presença de canais retilíneos e retilíneo com barras, o que denota um marcante controle estrutural. Comparar com a Figura 23 para efeito de escala. Norte no topo.



Estampa 11 – Imagem Heat Capacity Mapping Mission (HCMM) - NASA 1980. 04/1979. Rio Mississippi (USA).

Esta cena cobre o rio Mississippi e seus afluentes a montante do seu delta . Observar a nordeste o rio Ohio. Belos exemplos de meandros. Norte no topo. Cf. com Figura 25 para efeito de escala.



Estampa 12 – Imagem Landsat-MSS, 08/1978. Rio Ucayali (Peru).

Rio Ucayali no Peru central, imediatamente a leste dos Andes, no Cerro do Pasco. O mesmo é formado pela confluência dos rios Tamboe Urubamba. Belos exemplos de canais meândricos e assimetria de seus afluentes. Cf. com Figura 26 para efeito de escala. Norte no topo.

VIII – DINÂMICA DAS CORRENTES

VIII.1 – Regimes de Fluxo

Para melhor entender as formas de leito é necessário conhecer as relações entre as configurações dos leitos e a velocidade do fluxo, bem como compreender o conceito de regime de fluxo (**Figura 29**).

O Número de Froude mostra o índice da influência da força de gravidade em situações de fluxo, onde existe uma inter-relação entre um meio líquido e um gasoso, como em um canal fluvial aberto (Simons, 1975). O número de Froude é dado pela expressão:

$$Fr = V / (g.D)^{1/2}$$

Quando o número de Froude é menor do que 1, o rio apresenta-se com o fluxo tranqüilo, também denominado de fluxo subcrítico; quando maior do que 1, o fluxo será mais rápido, encachoeirado e denominado de supercrítico. (**Figura 27**).

Com o início do transporte dos sedimentos originam-se numerosas formas de leitos, classificadas em micro ou macroondulações, antidunas e camadas planas.

O conceito de regimes de fluxo deriva, essencialmente, dos estudos em laboratório, que podem ser extrapolados para a natureza. O fluxo em canais fluviais pode ser classificado em regimes de fluxo inferior e superior, com uma transição entre ambos, classificação esta, baseada na forma do leito, modo de transporte do sedimento, processo de dissipação de energia e relação da fase do leito e da superfície da água.

No regime de fluxo inferior a resistência oferecida ao fluxo é grande e o transporte de sedimentos relativamente pequeno. As ondulações da superfície da água não estão em fase com as ondulações do sedimento do leito. A configuração do leito é de pequenas ondulações (microondulações) ou de grandes ondulações (macroondulações), ou a combinação de ambas. O número de Froude é inferior a 1 e o padrão de fluxo tranqüilo.

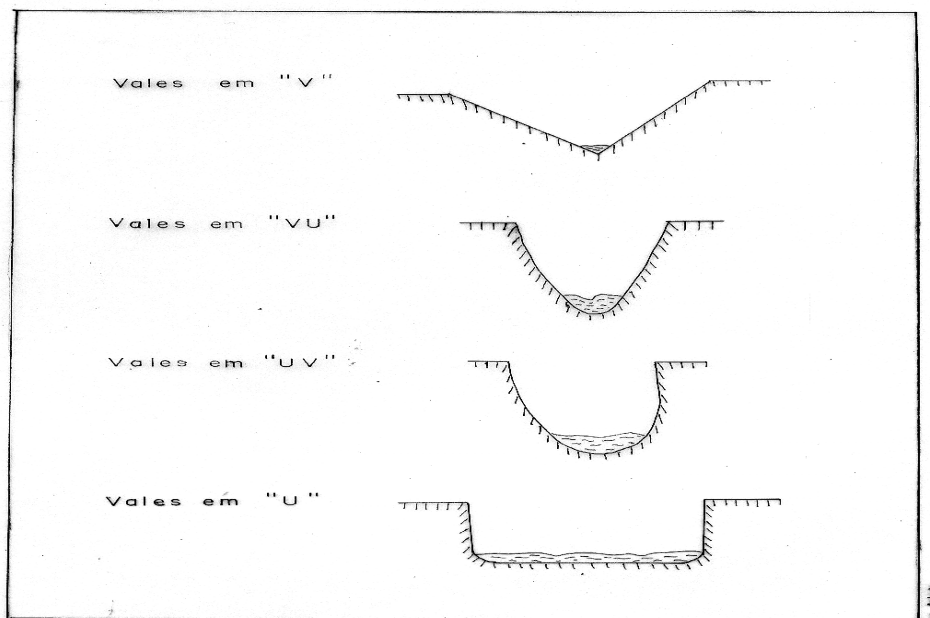


Figura 27: Forma dos Vales.

Vales em "V" e "U" e mistos, os quais se dispõem nas planícies de inundação.

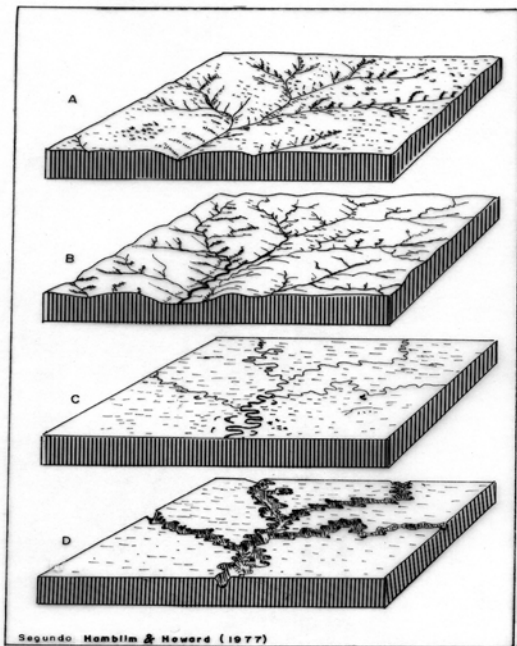


Figura 28: Estágios do ciclo fluvial de erosão.

Blocos diagramas acima ilustram os estágios do ciclo fluvial de erosão. O estágio jovem tipifica-se por vales em "V" com processo de erosão ativo e interflúvios tabulares (A); O estágio maduro retrata-se por elevada densidade de drenagem, com vales profundos em "VU" ou "ÜV", com interflúvios estreitos e arredondados (B). O estágio senil apresenta baixa densidade de drenagem, extensas planícies de inundação, meandros, alguns dos quais, abandonados (C). No rejuvenescimento (D), as feições do terreno passam a mostrar características do estágio jovem. (Segundo Hamblin & Howard, 1977).

Young



Mature



Old



A configuração do leito é caótica na transição entre os regimes de fluxo inferior e superior. O regime de fluxo inferior apresenta micro e macroondulações, enquanto que o superior é constituído por camadas planas e antidunas. Na transição, as formas de leito podem ser variáveis desde os aspectos típicos do fluxo inferior até àqueles do fluxo superior. O número de Froude situa-se em torno de 1.

No regime de fluxo superior a resistência oferecida ao fluxo é pequena, sendo, portanto, grande o transporte dos sedimentos. As ondulações da superfície e do leito estão em fase. As configurações comuns dos leitos são as camadas planas e as antidunas. O principal mecanismo de transporte dá-se pelo rolamento quase contínuo dos grãos individuais em grãos de areia com espessura correspondente ao diâmetro de alguns grãos, desde areia grossa até fina. O número de Froude é superior a 1 e o padrão de corrente caracteriza-se por fluxo rápido encrespado ou encachoeirado.

Em suma, o aumento da energia da corrente passa das formas de fluxo inferior para as de fluxo superior. As megaondulações ou dunas desaparecem, originando-se uma camada plana sobre a qual se forma uma lineação paralela ao fluxo (lineação de corrente), que nos arenitos aparece como lineação de partição. Com o incremento da energia formam-se as antidunas.

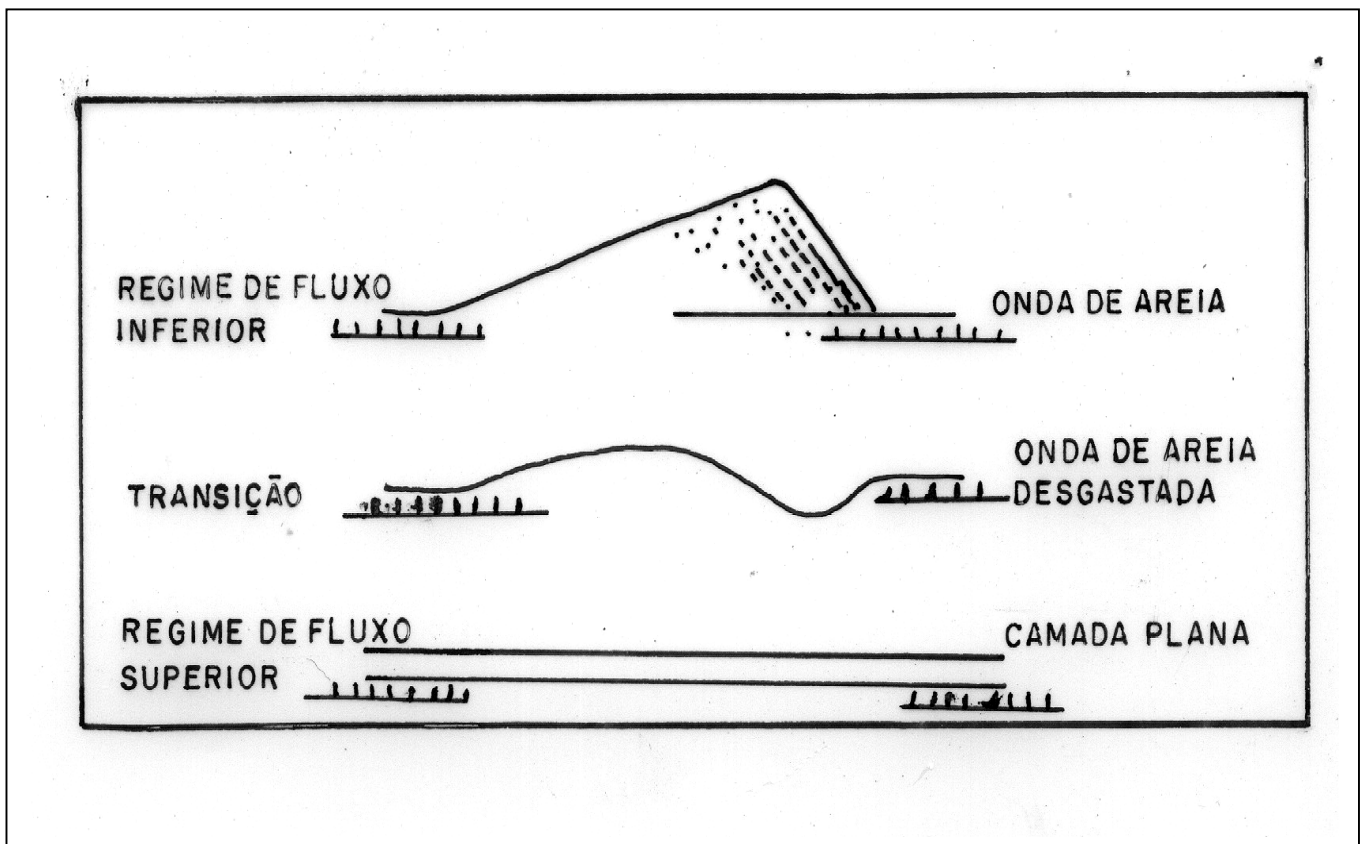


Figura 29 – Forma de Leitos.

Regimes de fluxos inferior e superior, com zona de transição (Suguio, 1980). As ondas de areia se formam em regime de fluxo superior, ao passo que as camadas planas ocorrem em regime de fluxo inferior.

IX – AMBIENTE DE SEDIMENTAÇÃO FLUVIAL

O conhecimento dos processos fluviais sofreu um grande avanço nos últimos anos, em razão de estudos encetados na caracterização de pesquisas em ambientes atuais, como também nas experiências em andamento, no campo da engenharia hidráulica.

Tal conhecimento reveste-se de importância econômica, uma vez que os principais depósitos de ouro, cassiterita, columbita–tantalita e diamante, dentre outros, estão relacionados a tais ambientes. Além do mais, materiais de construção e de artesanato, de grande importância nos centros urbanos, localizam-se neste ambiente.

Em termos geomorfológicos pode-se dividir o ambiente fluvial em dois subambientes: *depósitos de acreção lateral* e *depósitos de acreção vertical* (Leopold & Wolman, 1957). Os primeiros são resultantes da redistribuição em área dos sedimentos disponíveis, muito ativos em barras de meandros. Por sua vez, os de acreção vertical relacionam-se a depósitos por sedimentos em suspensão, a exemplo do que acontece na planície de inundação (**Figuras 18 e 19**).

Do ponto de vista prático, três são os principais grupos de depósitos fluviais (Suguio, 1980), os quais são indicados nas **Estampas 1 e 2**:

- a) **Depósitos de Canal:** formados pela atividade do canal e incluem depósitos residuais de canal, barras de meandros, barras de canais e depósitos de preenchimento de canal.
- b) **Depósitos Marginais:** originados nas margens dos canais durante as enchentes, e compreendem os depósitos de diques marginais (ou naturais) e de rompimento de diques marginais
- c) **Depósitos de Planícies de Inundação:** *constituídos essencialmente por sedimentos finos depositados durante as grandes enchentes, quando as águas ultrapassam os diques naturais e inundam as planícies. Correspondem aos depósitos de planície de inundação e pântanos.*

Os **Depósitos Residuais de Canais** são constituídos da fração mais grosseira do sedimento (cascalho), selecionados e deixados por acumulação residual; a areia se move como carga de fundo; o silte e argila, como carga de suspensão.

Os **Depósitos de Barras de Meandro** ou **Barra em Pontal** formam as feições conspícuas no lado convexas dos meandros tipificados por cordões recurvados. Cada cordão representa uma fase de migração do canal durante a enchente.

Os **Depósitos de Barras de Canais** são controlados, principalmente, pelos processos de acreção lateral e vertical, além de escavação e abandono do canal.

Os **Depósitos de Diques Naturais** são corpos litológicos em forma de cordões sinuosos, com seção transversal triangular que margeiam os canais fluviais.

Os **Depósitos de Rompimento de Diques Naturais** são formados quando a cheia ultrapassa os diques naturais por meio de canais abertos através deles.

Os **Depósitos de Preenchimento de Canais** representam o entulhamento devido ao aumento exagerado na taxa de sedimentação e a conseqüente redução da profundidade de um canal ativo, ou sedimentos em canais abandonados.

Os **Depósitos de Planície de Inundação** são formados quando as águas ultrapassam os diques naturais, nas regiões planas que margeiam os canais fluviais. Funcionam como uma verdadeira bacia de decantação, sendo em sua maioria argilosos.

Os sistemas fluviais anastomóticos e entrelaçados têm, em sua carga, principalmente, areia e cascalho e muito pouca argila. Os mesmos formam-se devido à excessiva carga que transportam e que depositam no próprio canal, produzindo um estrangulamento no fluxo. O rio é obrigado a alargar o canal, resultando uma grande migração lateral, gerando uma grande quantidade de barras: longitudinal e transversal (**Figura 20**). As principais fácies deste sistema são as barras transversais e longitudinais.

Os rios meandrantos de alta sinuosidade ocupam áreas de baixo declive e produzem uma descarga relativamente alta, com uma quantidade apreciável de lama. Aqueles de sinuosidade menor ocorrem em regiões de maior declividade com predominância de carga de fundo, resultando em uma descarga menor de lama, em detrimento da areia.

As principais fácies do sistema meandrante são barras de pontal ou de meandro, diques, marginais, depósitos de rompimento de diques e planície de inundação. **(Figura 18)**

Quadro 3a - Tipos de Canais e seus Significados

Associação dos Parâmetros	Tipo de Canal	Significado
VA+ADC+TSG	Retilíneo a moderadamente retilíneo	Terrenos montanhosos, planaltos ou serras, com percurso eivado de corredeiras, saltos e cachoeiras em rochas cristalinas.
VA+ADC+TSF	Moderadamente retilíneo com barras	Terrenos montanhosos, planaltos ou serras, presença de corredeiras e saltos, em regiões de baixo índice pluviométrico, em rochas sedimentares.
VA+BDC+TSG	Anastomosado (anastomotic)	Terrenos planos a plano-ondulados em regiões de elevado índice pluviométrico
VA+BDC+TSF	Entrelaçado (braided)	Terrenos plano a plano-ondulados envolvendo qualquer tipo de rocha. .
VB+ADC+TSG	Retilíneo a moderadamente retilíneo	Terrenos montanhosos envolvendo qualquer tipo de rocha e baixo índice pluviométrico.
VB+ADC+TSF	Intenso ravinamento com o canal principal evidenciando bastantes sinuosidades	Badlands em rochas sedimentares pelíticas e baixo índice pluviométrico.
VB+BDC+TSG	Anastomosado na porção proximal e entrelaçado na distal.	Sopé de montanhas formando os leques aluviais.
VB+BDC+TSF	Meândrico com ox bow lakes	Planícies em terrenos sedimentares

Parâmetros : Vazão Alta = **VA**; Vazão Baixa = **VB** ; Alto Declive do Canal = **ADC** ; Baixo Declive do Canal =**BDC** ;Transporte de Sedimentos Grossos (cascalho + areia) = **TSG**; Transporte de Sedimentos Finos (silte + argila) = **TSF**

Fonte Lima (2002)

X – PADRÕES DE DRENAGEM

X.1 – Fatores que Influenciam a Drenagem

Desde cedo, o homem interessou-se pelo estudo da drenagem. Os primeiros geocientistas tiveram sua atenção voltada à existência de cursos d'água retilíneos de grande extensão, sinuosidade dos meandros e presença de drenagem entrelaçada e anastomótica. Deffontaines & Chorowicz (1991) mostraram que geomorfólogos deram importância à drenagem, quando se referiram as citações de Daubree (1879), "*lignes de fil d'eau*"; de Reclus (1880) com respeito às feições de incisão e aos lineamentos de Hobbs (1904,1911).

Deffontaines & Chorowicz (op. cit) relacionam de forma mais detalhada os fatores morfológicos que influenciam diretamente nos padrões de drenagem, como visto na **Tabela 6**, dividindo-os em: Interno, Externo e Composto.

Os fatores internos derivam do comportamento da rocha, controlado pela litologia e estrutura. A litologia tem influência através das propriedades físicas e químicas, enquanto os aspectos estruturais estão ligados aos fatores intrínsecos das camadas (espessura, mergulho, direção, intercalação, etc), movimentos tectônicos e deformações recentes (neotectônica).

Dentre os fatores externos o clima desempenha importante papel no intemperismo e ciclo de erosão. A vegetação, por sua vez, está ligada ao clima e sua influência pode ser local. No entanto, para determinadas regiões como a Amazônia Brasileira, a sua importância é maior. Fato idêntico ocorre com os solos. Quanto ao homem, ele é certamente um modificador muito importante da paisagem, principalmente quando da construção de grandes obras, a exemplo de hidrelétricas como Tucuruí (PA), Balbina (AM), Itaipu (PR) e em projetos de irrigação, como nos estados do Paraná e São Paulo.

Os fatores compostos correspondem à combinação desses efeitos onde se tem a topografia, variação dos níveis eustáticos, fatores hidrológicos e feições palimpsésticas (herança),

A **Figura 30** procura exemplificar em um bloco-diagrama, conforme foi dito acima.

X. 2 – Classificação Descritiva da Drenagem

Os padrões de drenagem foram inicialmente estudados sob o ponto de vista qualitativo, através de Campbell (1896) apud Deffontaines & Chorowicz (1991) e Zernitz (1932). Seguiram-se os estudos de Parvis (1950), Miller & Miller (1961), Fairbridge (1968), Gregory & Wailing ((1974) e Howard (1967). Este desempenhou um importante papel, não somente pela enumeração dos tipos de drenagem, mas principalmente por estabelecer os tipos básicos e modificados, além da identificação de anomalias. Prud'homme (1972) e Chorley et al. (1984) seguiram tal sistemática. Por sua vez, Gagnon (1974) introduziu padrões relacionados diretamente com o clima e influências antropogenéticas. Posteriormente, estudos quantitativos foram incrementados por Horton (1945) e seguidos por Strahler (1952), Scheidegger (1965, 1967), Shevre (1967) e Gardiner (1974), dentre outros. Os padrões de drenagem são referidos como básicos e modificados. Segundo Howard (op. cit.) padrões básicos são aqueles em que suas propriedades são bem próprias e diferem fundamentalmente do outro padrão. Já o padrão de drenagem modificado é aquele com alguma variação das propriedades de um padrão básico.

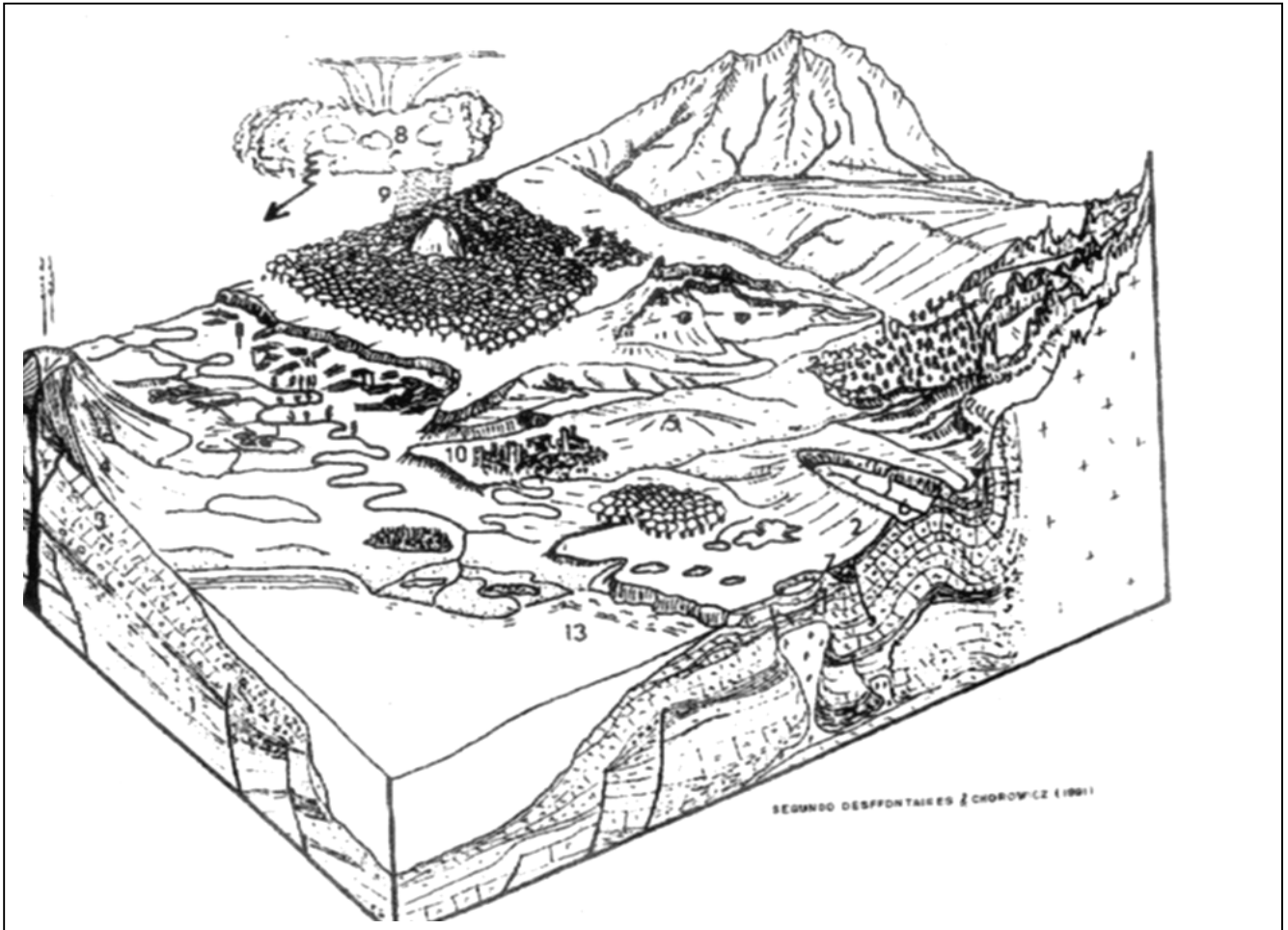


Figura 30: Bloco-Diagrama ilustrando fatores morfológicos.
Fatores endógenos e exógenos que influenciam os padrões de drenagem (Segundo Deffontaines & Chorowicz, 1991).

Os termos **radial** e **anelar**, **composto** e **contorcido e complexo**, de um lado e, **anastomótico**, **meândrico** e **entrelaçado** (*braided*) de outro, estão inter-relacionados, sem contudo serem iguais. De igual modo, **treliça de falha** e **treliça de junta** dependem de análise estrutural para serem diferenciados. **Amorfo** e **irregular** são ambíguos; **lagunado** é sinônimo de **multibasinal**; **enteromórfico** é relativo ao **dendrítico**; enquanto **treliça** e **treliça direcional** constituem uma tautologia.

Zernitz (op.cit.) classificou os principais padrões básicos como: *Dendrítico, Paralelo, Treliça, Retangular, Radial e Anular*. Posteriormente, Howard (op. cit.) incluiu quatro outros padrões: *Multibasinal, Contorcido, Complexo e Palimpsesto*.

Aqui é introduzido o padrão de drenagem básico chamado de Defluente, e no âmbito do Padrão de Drenagem Dendrítico é incluído o tipo modificado denominado Festonado (Almeida, 1974). De igual modo, são aqui considerados os padrões Yazoo e Antropogênico, já citados na literatura. Por outro lado, os modificados entrelaçado, meândrico e anastomótico são aqui referidos como tipos de canais, já discutidos no capítulo Morfologia Fluvial.

Tabela 3: COMPARAÇÃO DAS CLASSIFICAÇÕES DOS PRINCIPAIS PADRÕES DE DRENAGEM

Zernitz (1932)	Strandberg (1967)	Howard (1967)	Fairbridge (1968)	Cazabat (1969)	Gagnon (1974)	Gregory & Wailing (1974)	Lima (2002)
=	=	Dendrítico	=	=	=	=	=
=	=	Subdendrítico	x	x	x	x	=
=	=	Pinado	x	=	=	x	=
x	x	Distributário	x	x	x	x	=
x	=	x	x	Dicotômico	=	x	=
=	Anastomótico	Anastomótico	x	=	x	x	x
x	x	x	x	Dissimétrico	x	x	x
x	x	x	x	Radiado	x	x	x
x	x	x	x	Espalier	x	x	x
x	x	x	x	Dígito	x	x	x
x	x	x	x	Contorno	x	x	x
x	x	x	x	x	Meândrico	x	x
x	x	x	x	x	x	x	Festonado
=	=	Treliça (Tr)	=	=	=	=x	=
x	x	Subtreliça	x	Reticularizado	Reticulado	x	=
x	=	Tr. Direcional	x	x	x	x	=
=	x	Tr. Recurvada	x	x	x	x	=
x	x	Tr. Falha	x	Onda Sinusoidal	x	x	=
x	x	Tr. Junta	x	Enteromórfica	x	x	x
x	x	x	x	Poligonal	x	x	x
x	Barbado	x	x	x	x	x	x
=	=	<i>Paralela</i>	=	=	=	=	=
=	=	Subparalela	x	=	x	x	=
=	=	Colinear	x	x	x	x	=
x	x	x	x	Quadrile	x	x	x
=	=	Retangular	=	=	=	=	=
=	x	Angular	=	=	x	x	x
x	x	x	x	Isogonal	x	x	x
x	x	x	x	Hexagonal	x	x	Reticulado
Interna	=	Radial	x	Centrífuga	=	x	=
=	=	Centrípeta	x	Centrípeta	x	x	=
x	=	Anelar	=	=	=	=	=
x	x	x	x	x	x	x	x
x	=	Multibasinal	x	Amorfo	x	x	=
x	x	Cárstico	=	x	=	x	=
x	=	Termocárstico	x	x	=	x	x
x	=	Baía Elongada	x	x	=	x	=
x	x	Glacial	x	x	=	x	x
x	<i>Swallow hole</i>	x	x	x	=	x	x
x	x	x	x	x	<i>Kettle</i>	x	x
x	x	x	x	x	<i>B. Feston</i>	x	x

x	=	Contorcido	x	x	x	x	=
x	x	Composto	x	x	x	x	=
x		Palimpsesto	x	Fóssil Exo	<i>Inte-masq</i>	x	=
x	=	x	x	x	Yazoo	x	=
x	=	x	x	x	Antropogénico	x	=
x		x	x	x	x	x	x
x	Entr.Complex	Complexo	=	=	x	x	=
x	Lacune ass.im.	x	x	Irregular	Desordenado	x	x
x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x	Defluente
x	=	x	=	Contounè	x	=	x

Observações : x : ausente; = : existente já definido

A drenagem nunca ocorre isoladamente, une-se a outras para compor ordens mais elevadas, formando desenhos de drenagens inter-relacionadas, que são referidas como Padrão de Drenagem.

De acordo com o tipo de escoamento, os padrões de drenagem podem ser exorreicos, endorreicos, arreicos e criptorreicos. Os exorreicos são orientados o em direção ao mar, enquanto o nas endorreicas o escoamento é interno. Nos padrões arreicos não se verifica uma estruturação hidrográfica, existindo principalmente em áreas desérticas, ao passo que nas criptorreicas as águas o mostram fluxo subterrâneo, sendo típicas de regiões cársticas.

A **Tabela 4** apresenta uma síntese dos padrões básicos e, modificados e na **Figura 31**, os padrões de drenagem mais comuns.

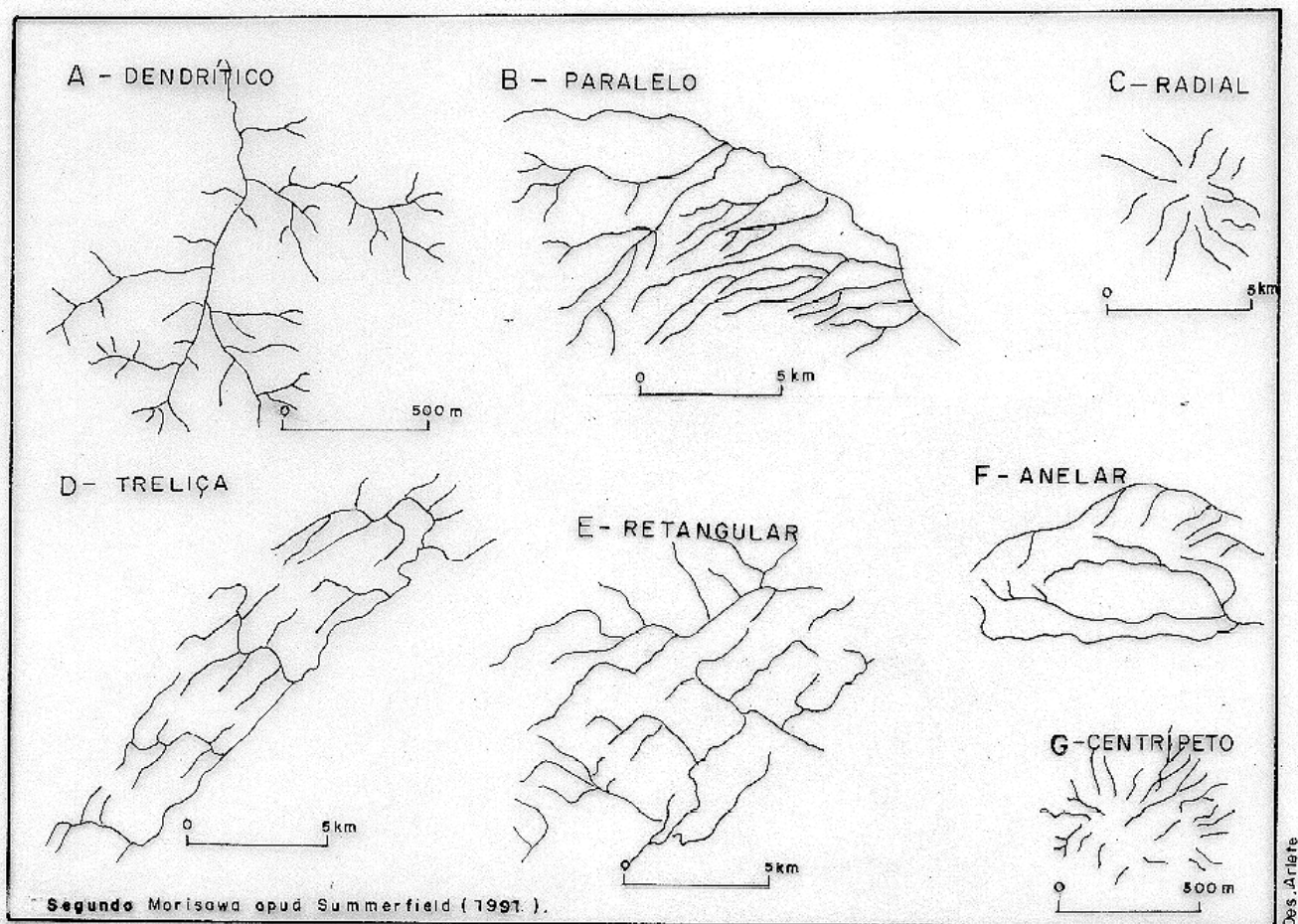


Figura 31 – Padrões de Drenagem.

Apresentação esquemática dos padrões de drenagem mais comuns. Segundo Morisawa apud Summerfield (1991).

Tabela 4: ANÁLISE DA DRENAGEM NA INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA

BÁSICO	SIGNIFICADO	MODIFICADO	OBSERVAÇÕES
Dendrítico	Rochas reologicamente homogêneas das classes sedimentar e ígnea; derrames basálticos ; terrenos dominados por granitóides não deformados	Subdentrítico	Fraco controle estrutural
		Pinado	Sedimentos argilosos facilmente erodíveis
		Festonada	Planícies de inundação, deltas, planícies de marés (mangues) e barras de meandros, transversais e longitudinais
		Distributário	Leques aluviais e deltas.
Paralelo	Geralmente indica caimento do terreno, médio a forte (topográfico ou estrutural), principalmente em rochas sedimentares; seqüências sedimentares depositadas sob a forma de cristas. Transição para o dendrítico	Subparalelo	Fraco caimento
		<i>Colinear</i>	Dunas do tipo "seif" ou longitudinal. Cordões litorâneos
Trelença	Sistemas de fraturas paralelas em rochas ígneas ou sedimentares.; Transição para o paralelo. Seqüências metamórficas de baixo a médio grau dobradas	Subtrelença Trelença Direcional Trelença Falha Trelença Recurvada	Feições estruturais subparalelas Feição homoclinal Falha Nariz de dobras
		Trelença Junta	Juntas ou Falhas
Retangular	Fraturas em ângulos retos.	Reticulado	Fraturas em forma de rede
		Retangular-Dendrítico	Ângulos oblíquos e retos
Radial	Vulcões, domos e estruturas circulares em geral.	Centrípeto	Crateras, Caldeiras e outras depressões.
	Domos, bacias, diatremas e bossas.	Centrífugo	Astroblemas, domos, etc A distinção entre domo e bacia será feita pela drenagem subsequente.
Anelar	Estruturas circulares em geral (<i>stocks</i>).		
Multibasinal	Inclui todas as depressões de origem definida ou não.	<i>Glacial</i>	Erosão e/ou deposição glacial.
		<i>Cárstico</i>	Calcários e Dolomitos. Permafrost.
		<i>Baía Elongada</i>	Planície costeira e deltas
Contorcido	Rochas dobradas da classe ígnea, sedimentar ou metamórfica.		As drenagens na zona periclinal indicam se o fechamento é de caráter sinformal ou antiformal.
Complexa	Associação de vários padrões.		
Palimpsesto	Drenagem Pretérita	Chifre de boi (<i>Ox bow lake</i>)	Paleocanais sob a forma de cicatrizes de meandro..
		Paleovale	Vale antigo
Yazoo	Flui paralelo ao rio principal		Controle estrutural
Antropogênico	Ação do homem		Canais antrópicos
Defluente	Rejuvenescimento da drenagem		Atividades neotectônicas.

Fonte : Modificado de HOWARD (1967)

X.2. 1 – Dendrítico

Lembra uma castanheira ou um carvalho com suas copas de aspecto arborescente, em vista das ramificações irregulares de suas drenagens em todas as direções, não indicando, em princípio, qualquer controle geológico-estrutural ou mesmo stratigráfico do conjunto litológico. Deve representar terrenos sedimentares ou ígneos, plutônicos ou vulcânicos, homogêneos. Pode retratar, também, regiões que sofreram intensa granitização devido a processos anatéticos e diatexíticos. No entendimento do autor o padrão dendrítico, como acima definido, dificilmente ocorre na natureza, ou seja, seria um caso ideal, já que terrenos estritamente homogêneos são raros. **(Tabela 4).**

Este padrão apresenta 4 modificações: Subdendrítico, Pinado, Distributário e Festonado e tipos de canais Anastomótico, Meândrico e Entrelaçado **(Figura 32)**. Vale salientar que os três últimos são mais específicos para canais, do que propriamente para um padrão de drenagem, ocorrendo muitas vezes na natureza uma gradação entre eles provocada por algum controle geológico, geomorfológico ou climatológico.

O Subdendrítico difere em algumas propriedades do dendrítico, provocadas, provavelmente, por controle essencialmente estrutural, litológico ou litoestrutural.

O Pinado caracteriza-se pela alta densidade da drenagem, em virtude do pequeno espaçamento entre seus ramos, dispostos, freqüentemente, em ângulo agudo. Indica sedimentos argilosos ou mesmo silticos, com elevada impermeabilidade, geralmente susceptíveis à erosão, uma vez que a drenagem não penetra no subsolo devido à baixa permo-porosidade.

O Distributário ou Dicotômico dispõe-se sob a forma de leque, com drenagem divergente, estando associado a sedimentos formados no sopé de montanha (depósitos de piemonte) ou deltas recentes.

A **Figura 21** evidencia em *Mali*, no oeste africano, na porção proximal do rio *Niger*, a presença de um delta interior com o seu típico padrão distributário.

O Festonado é um padrão de drenagem resultante do encaixamento dos rios atuais, em um sistema de estratificação cruzada fluvial pretérita, que exerce um efeito dominante no controle dos cursos d'água atuais (Almeida, 1974). Mostra como área-tipo a bacia hidrográfica do rio Solimões (AM), em sedimentos terciário-quadernários. Seus festões, na interpretação deste autor, sugerem algum controle de pretéritas barras em pontal, associado à presença de material pelítico, ou zona de interface pelítica – psamítica.

X. 2.2 – Paralelo

É assim chamado devido ao paralelismo de suas drenagens, em uma extensão relativamente grande, indicando uma inclinação do terreno. Este padrão é bem marcado em terrenos planos ou em zonas com elevado a médio grau de dissecação. Mostra transição para o padrão dendrítico. Geralmente está associado a terrenos sedimentares estruturados, sob a forma de *cuesta* ou *hogback*. Seus tipos modificados são: Subparalelo e Colinear (**Figura 33**).

O Subparalelo apresenta-se com menor paralelismo que o padrão básico, o que, de certo modo, indica uma fraca inclinação do terreno.

O Colinear mostra paralelismo de suas drenagens, em regiões de dunas do tipo *seif*, as quais ora aparecem e desaparecem, devido à alta porosidade do terreno. Pode também ocorrer associado a cordões litorâneos, em consequência ao paralelismo dos mesmos.

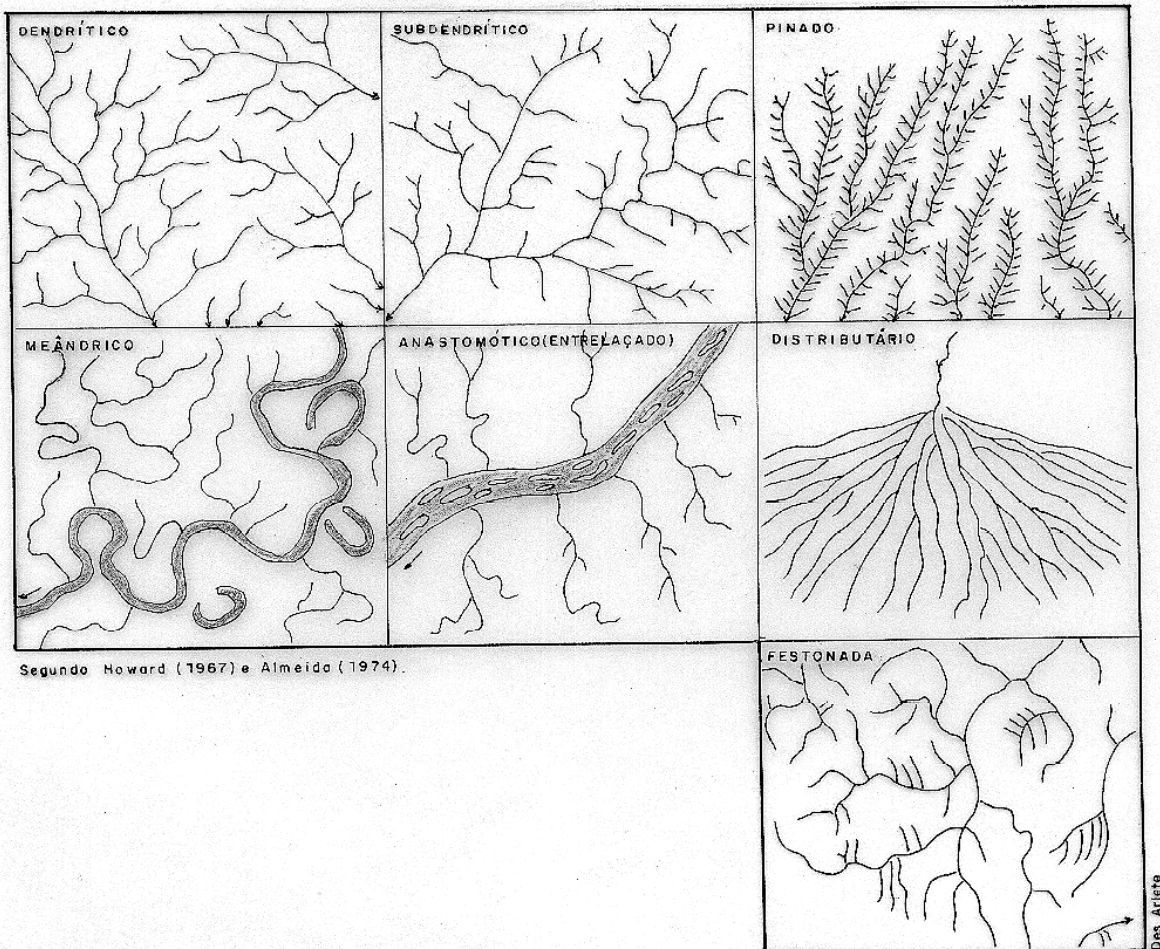


Figura 32: Padrão de drenagem básico Dendrítico e seus modificados.

O meândrico, anastomótico e entrelaçado são considerados como tipos de canais. Zonas escuras = água.

X.2.3 – Treliza

Constitui um padrão caracterizado por drenagens controladas pela estrutura geológica, com um rio principal subseqüente, bem marcante e cujos tributários, nos lados opostos, com aproximadamente o mesmo tamanho, estão dispostos em ângulos retos. Também conhecido como Barbado (Barbed). A presença deste padrão denota forte controle estrutural. Os padrões modificados são: Subtreliza, Treliza Recurvada, Treliza de Falha e Treliza de Junta. Pode apresentar uma transição para o paralelo (**Figura 34**).

O padrão Subtreliza difere do padrão básico apenas no grau de continuidade, sendo mais longo de um lado do que do outro.

O padrão Treliza Recurvado distingue-se do padrão básico pela presença de drenagem curva, ocorrendo, amiúde, em terminações periclinais (nariz de dobras).

O padrão Treliza de Falha tem sido atribuído a Dake & Brown (1925) *apud* Howard (1967) para explicar *grabens* e *horsts* em um sistema de *riftes* paralelos, com movimentação escalonada de grandes blocos estruturais.

O padrão Treliza de Junta é caracterizado por ser curto, apresentando, no entanto, drenagens retilíneas. Relaciona-se a fraturas.

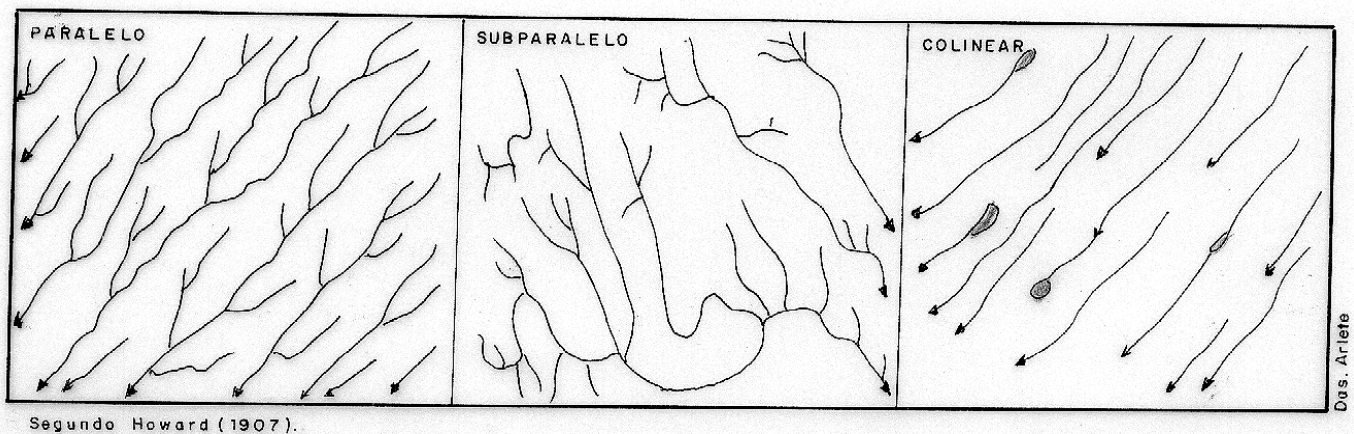


Figura 33: Padrão de drenagem básico Paralelo e seus modificados

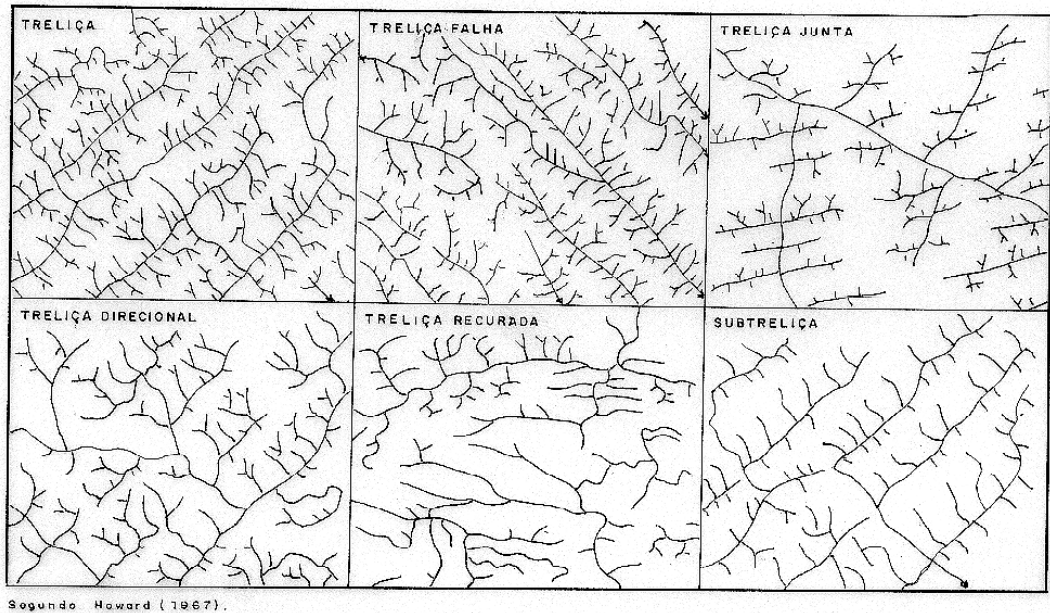


Figura 34: Padrão de drenagem básico Treliza e seus modificados.

X.2.4 – Retangular

O padrão retangular apresenta um controle devido a juntas ou falhas, as quais, dependendo da orientação devem ser retas. Geralmente está instalado em terrenos de rochas ígneas e sedimentares, sendo freqüentemente encontrado em áreas onde um conjunto adicional de fraturas é superimposto ao padrão retangular. Apresenta dois tipos modificados: Angular e Reticulado.

O padrão modificado Angular é caracterizado por numerosos ramos oblíquos entre si. Diferencia-se pela geometria angular de suas drenagens, comumente, em ângulos oblíquos e retos. O Reticulado é formado por drenagens com pequeno espaçamento e especificamente com ângulos retos entre si.

X.2.5 – Radial

Caracteriza-se pela geometria radial, estando geralmente associado a rochas ígneas constituindo crateras vulcânicas ou mesmo bossas. Existem dois padrões modificados: centrípeto e centrífugo (**Figura 35**). O padrão centrípeto ocorre quando a drenagem flui para uma depressão (convergente), ao passo que o centrífugo mostra-se presente quando existe uma feição positiva (divergente).

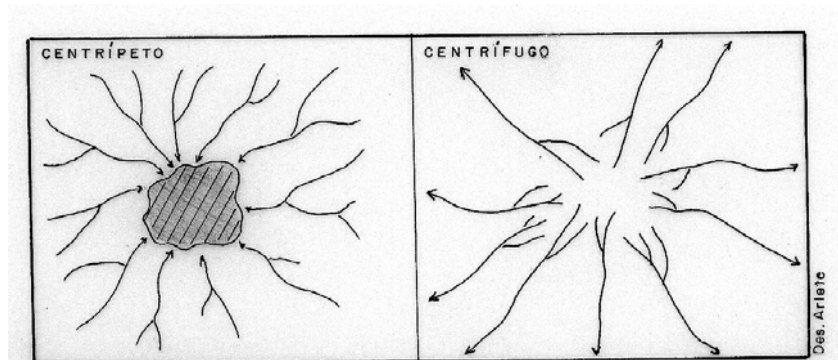


Figura 35: Padrão de drenagem Radial e seus modificados.

X.2.6 – Anelar

É caracterizado pela geometria circular de suas drenagens, compondo vários anéis, à semelhança dos anéis de crescimento de uma árvore, conforme comparação feita por Lobeck (1939). Associa-se a rochas ígneas, félsicas a ultramáficas, estando normalmente relacionado com o padrão de drenagem radial (**Figura 36 B**).

X.2.7 – Multibasinal

Distingue-se pela presença de pequenas depressões, em sua maioria formando lagos. Tais depressões geralmente estão relacionadas a terrenos cársticos ou com capeamento por crosta laterítica. Em algumas situações especiais pode associar-se à zona de fratura, em granitos. Pode ser de origem glacial, como também ocorrer em sedimentos de planícies costeiras. Por sua vez, pode ocorrer também em regiões rebaixadas ou soerguidas, devido a mudança de declividade. (**Figura 36C**).

X.2.8 – Contorcido

Identifica-se pela sua forma contorcida, sugerindo a presença de dobras com terminações pericliniais, geralmente associadas a rochas metamórficas, ou mesmo a rochas sedimentares dobradas (**Figura 34 D**).

X.2.9 – Complexo

Evidencia-se pela grande mistura de padrões de drenagem, dando, como resultado, tipos complexos, o que de certa forma é a associação mais comum na natureza. **(Figura 36 E).**

X.2.10 – Palimpsesto

Constitui pretéritas drenagens, atualmente superimpostas por padrões mais novos. Tipifica-se por paleodrenagens, com a presença de *ox bow lake*, cicatrizes de meandro e lagos. Geralmente associa-se a terraços aluviais de sedimentos recentes e, muitas vezes, apresenta significado econômico, uma vez que pode abrigar depósitos secundários de cassiterita, columbita-tantalita, ouro, diamante, dentre outros. **(Figuras 36 G e 36 H).**

X.2.11 – Defluente

É um tipo especial de drenagem, em vista do seu ângulo de junção com a drenagem de maior ordem ser obtuso, o que constitui prova cabal de uma inversão do fluxo da drenagem (defluência), denotando um forte controle tectônico. Almeida (1975) mencionou pela primeira vez este tipo de drenagem na região do Alto rio Negro, no noroeste do Estado do Amazonas, em território brasileiro, utilizando a denominação de Barbado (Barbed). Na região limítrofe Brasil - Venezuela, o canal Cassiquiare, que interliga as importantes bacias de drenagens Amazonas-Solimões e Orinoco, com cerca de 130 km de extensão, exemplifica muito bem este padrão de drenagem **(Figura 36 A)**. Observar com mais acuidade nas **figuras 46 e 47**, assim como comparar com a respectiva ilustração na **Estampa 13**.

X.2.12 – Yazoo

Denominação dada por Zernitz (1932) e Gagnon (1974) em alusão ao rio homônimo da região central dos Estados Unidos da América do Norte, afluente do Mississipi, que flui paralelo ao rio principal por dezenas de quilômetros. Ocorre na presença de diques marginais que forçam os tributários a fluírem paralelamente ao rio principal. É próprio de planícies aluviais.

X.2.13 – Antropogenético

Definição devida a Zernitz (op. cit.) com referência aos canais de irrigação elaborados pelo homem, em zonas de agricultura.

X.3 – Classificação Genética

Deffontaines & Chorowicz (op. cit.) organizaram uma classificação genética dos padrões de drenagem, justificando que a ordenação descritiva, constituin-se em apenas um "catálogo", não estabelecendo, portanto, uma relação de evolução entre os padrões.

Para proceder-se a classificação é necessário determinar uma dependência entre os diferentes padrões e entender sua evolução. A mais simples é que a relação entre os padrões, os quais normalmente se sucedem no mesmo lugar através do tempo, se dá sob a forma de etapas.

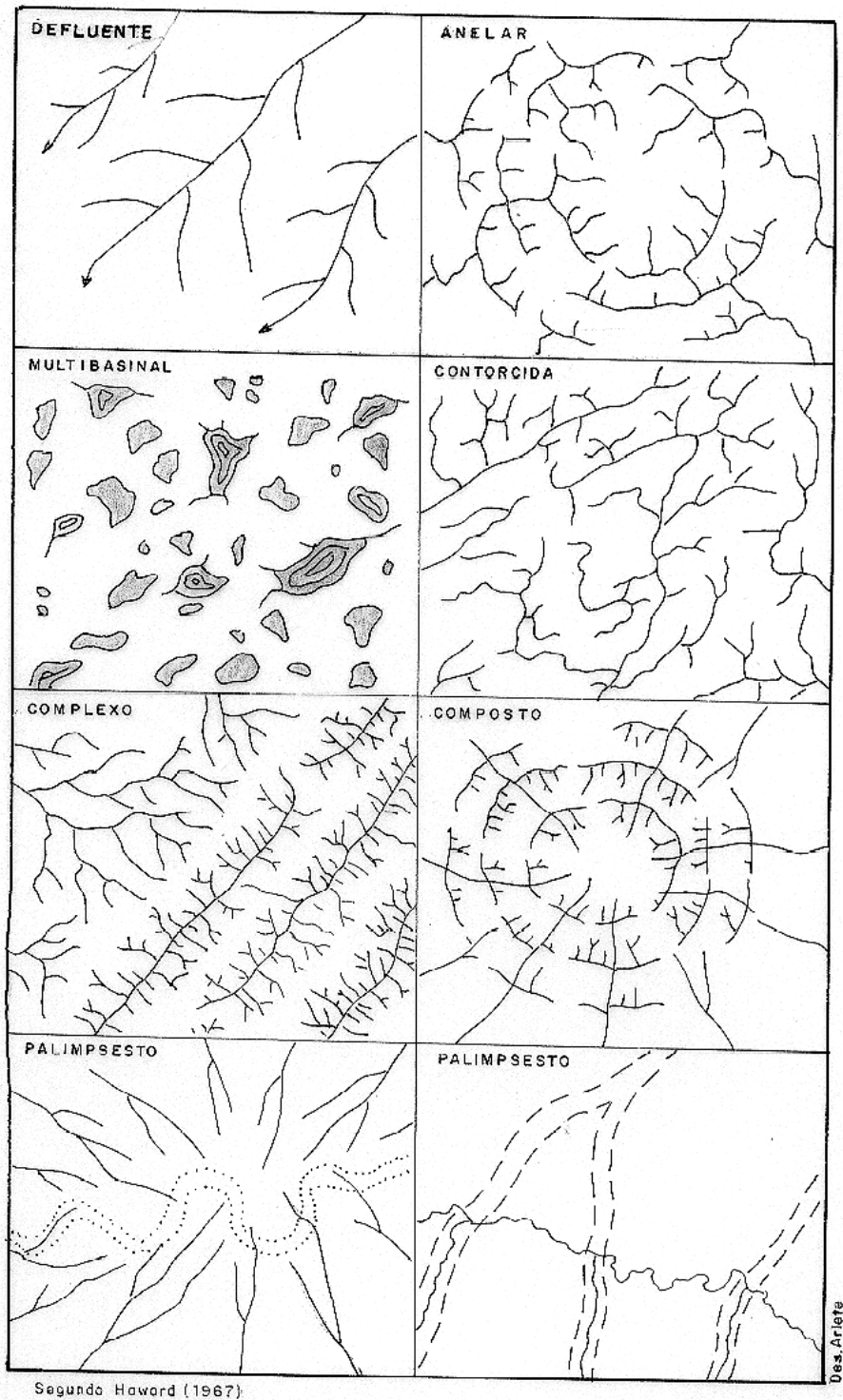


Figura 36: Padrões de drenagem básicos.

A = Defluente; B = Anelar; C = Multibasinal; D = Contorcida; E – Complexo; F = Composto; G e H = Palimpsesto.

Deve ser considerado o momento do início de uma drenagem, ou seja, o instante do fluxo da água sobre uma superfície qualquer, constituindo o Padrão de Drenagem Inicial. Tal superfície pode ser homogênea ou heterogênea, como também, horizontal ou inclinada. Neste caso atinge-se a um estágio posterior que seria o Desenvolvimento do Padrão de Drenagem. A ação continuada da erosão pode provocar a dissecação da região, representando um Padrão de Drenagem Avançado, a qual pode estar ligada a algum fator composto, como a herança, por exemplo, compondo o Padrão de Drenagem Composto (**Tabela 5**). Para exemplificar sua classificação os citados autores admitem, por exemplo, um substrato homogêneo e de disposição horizontal, podendo se desenvolver em um estágio inicial: o amorfo (muito baixa pluviosidade), o lagunado (desenvolvimento inicial do estágio de drenagem), o termocárstico (depressões de origem glacial), o cárstico (drenagem superficial e de subsuperfície) e o multibasinal (múltiplas depressões). Por sua vez, para regiões com mergulho regional existe o canal anastomótico (fluxo concentrado em canais), distributário (tributários divergindo do canal principal), centrífugo e centrípeto (fluxos para dentro ou para fora, respectivamente). Em terrenos heterogêneos desenvolve-se o padrão reticulado (rede em uma superfície subhorizontal) ou dicotômico (padrão de árvore sobre uma superfície inclinada). No estágio seguinte, para superfícies horizontais ocorre o padrão Dendrítico e Inclinado; o Paralelo /Colinear para terrenos homogêneos, enquanto que para terrenos heterogêneos o mesmo pode apresentar os padrões Angular, Treliça, Contorcido ou Anular. Em um estágio avançado pode apresentar o padrão Enteromórfico (feições dendríticas abertas), mas mostrando alguma feição herdada, ou então pode ser composta com forte herança (Palimpsesto), ou intensa reativação (Pinado), ou ainda refletir a atividade humana (antropogenético). Vide **Tabelas 5 e 6**.

Uma região onde tal situação está muito bem exemplificado constitui-se pela bacia do rio Solimões, no quadrante oriental da Amazônia brasileira onde tem-se em terrenos horizontais, ou levemente inclinados, a presença do Amorfo, tipificado por uma drenagem desordenada e Multibasinal, grande incidência de lagos, como *padrões de drenagem inicial*, passando para Reticulado e Subdendrítico. Na fase seguinte, no estágio *Desenvolvimento do Padrão de Drenagem* podem ocorrer o Angular, e Contorcido, atingindo até o Palimpsesto no estágio final. Outra região bem interessante para se fazer tal tipo de análise é a região da ilha de Marajó, Estado do Pará (Pantanal Paraense), na região amazônica. Neste os padrões Palimpsesto são muito comuns e representam a fase final da evolução, como pode ser observado na **Tabela 5**.

As **Figuras 37, 38, 39, 40 e 41** retratam exemplos naturais de padrões de drenagens simples e compostos, com ênfase para o dendrítico, canal meândrico-anastomótico, paralelo, multibasinal e retangular, respectivamente. São também mostrados os padrões anelar (**Figura 42**), treliça (**Figura 43**), treliça e retangular (**Figura 44**) e distributário e retangular (**Figura 45**), com exemplos naturais extraídos de Lima (1995a)

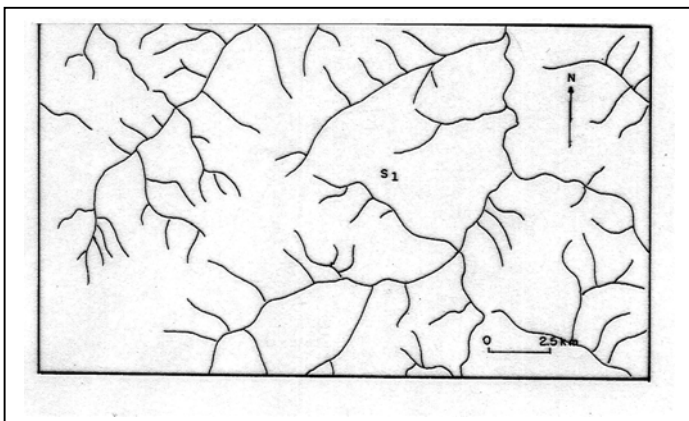


Figura 37: Padrão de drenagem Dendrítico.
Folha SC.23-Y-A. S1 = rocha sedimentar. Lima, 1995a.

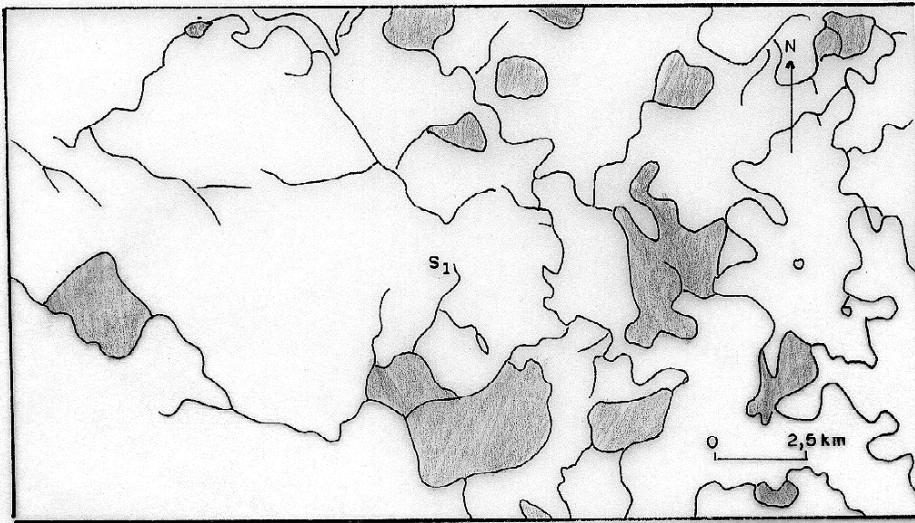


Figura 38: Canal de drenagem Meândrico-Anastomótico.
 Folha SE.21-V-B. S1 = rocha sedimentar. Lagos em preto. Lima, 1995a.

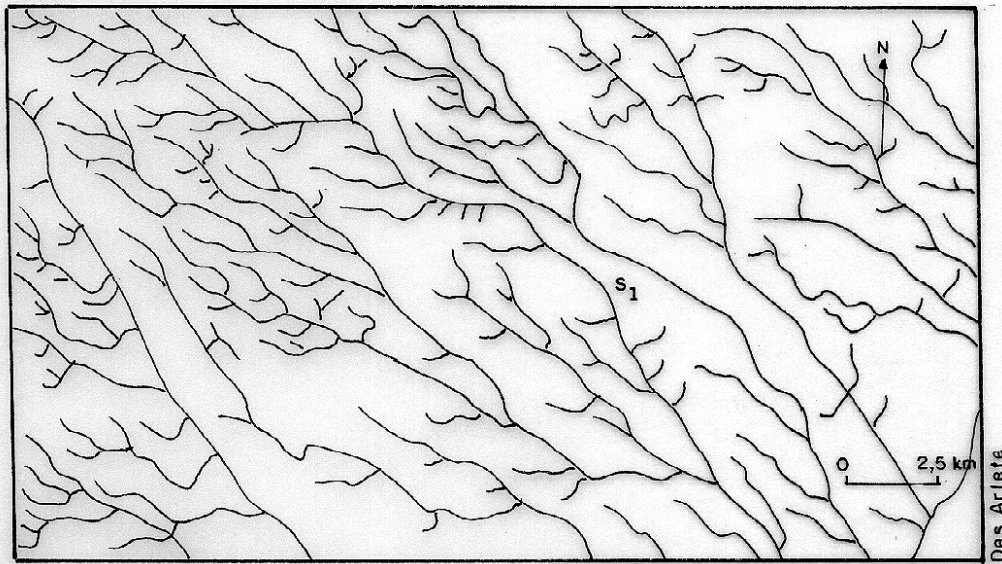


Figura 39: Padrão de drenagem Paralelo.
 Folha SE.24-V-B. S1 = rocha sedimentar. Lima, 1995a.

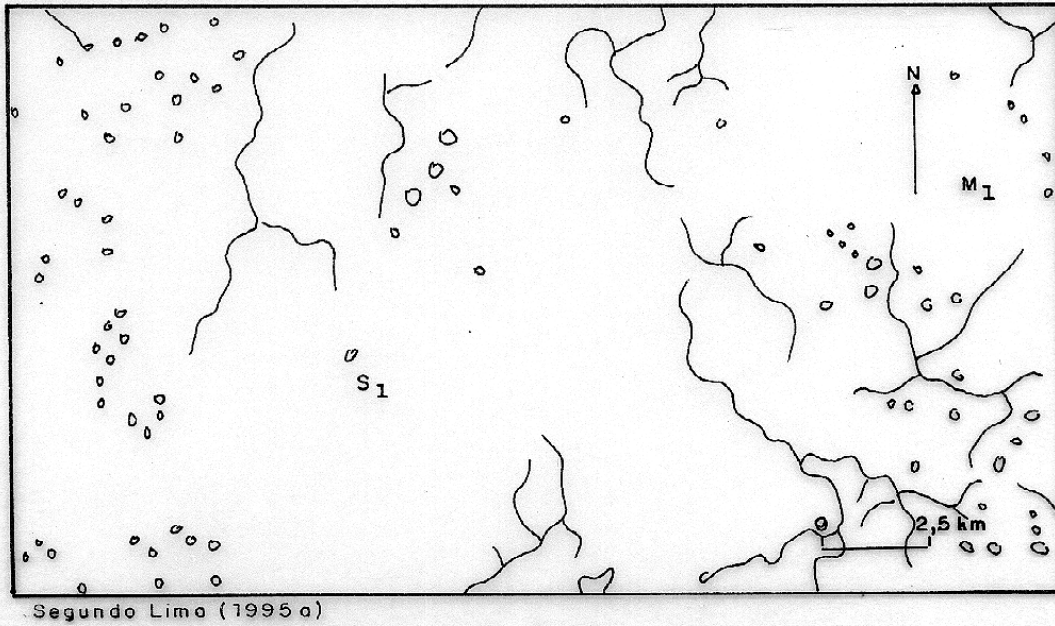


Figura 40: Padrão de drenagem Multibasinal.
 Folha SD.23-X-D. S1 = rocha sedimentar. Lagoas em pequenos círculos. Lima, 1995 a.

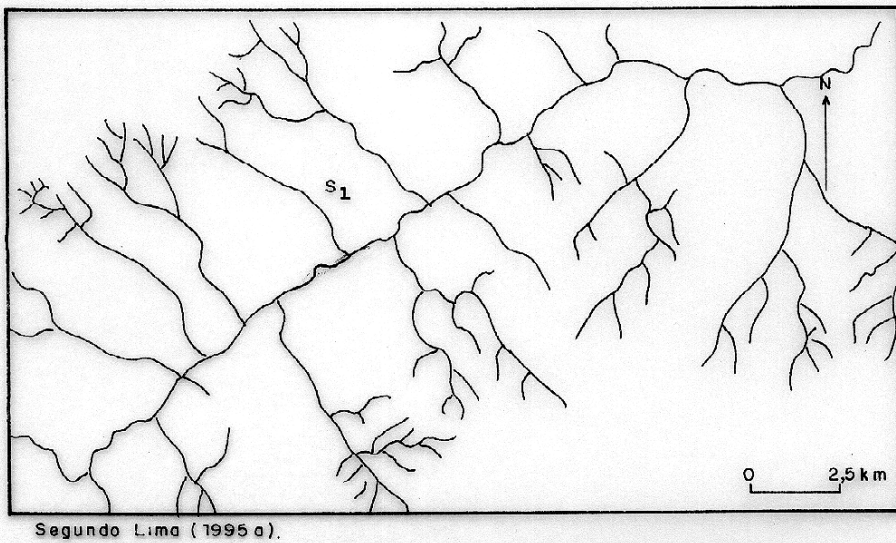


Figura 41: Padrão de drenagem Retangular. Folha SD.23-Y-B.
 S1 = rocha sedimentar. Lima, 1995 a.

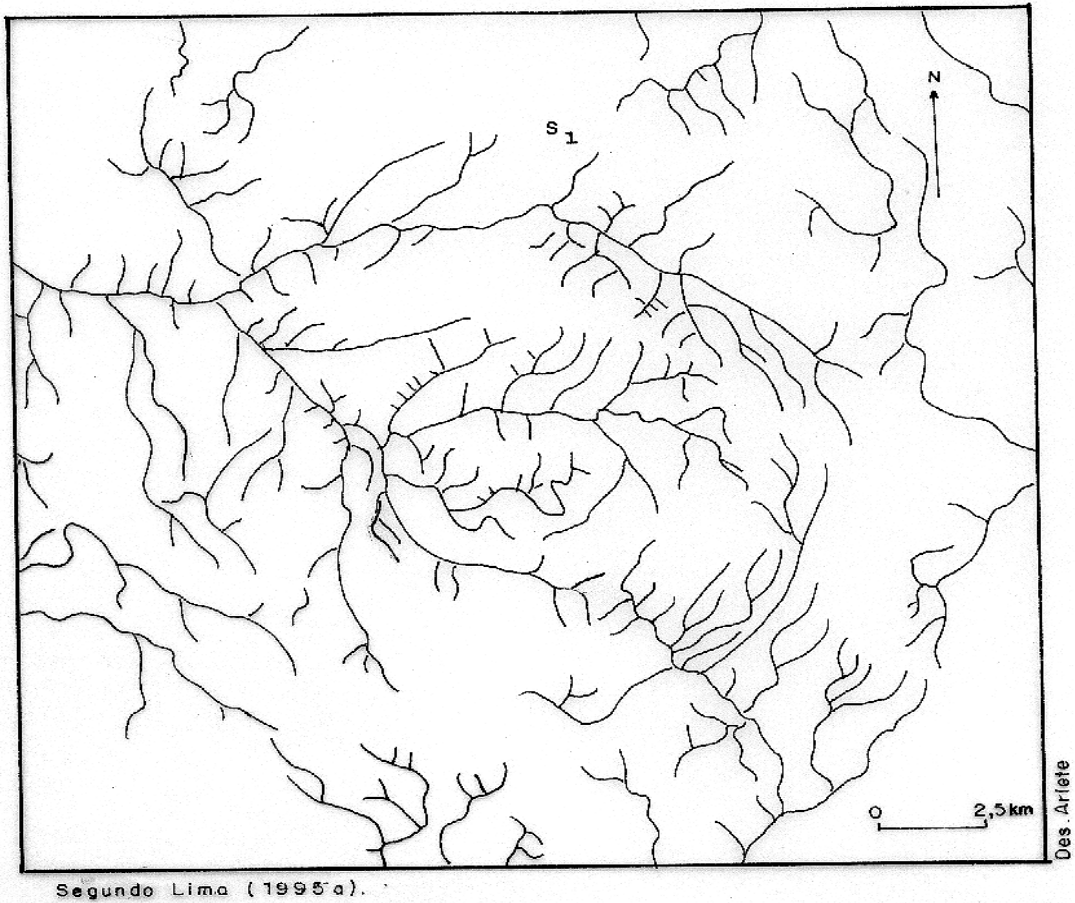


Figura 42: Padrão de drenagem Anelar. Folha SD.23-V-C.
 S1 = rocha sedimentar. Lima, 1995 a.

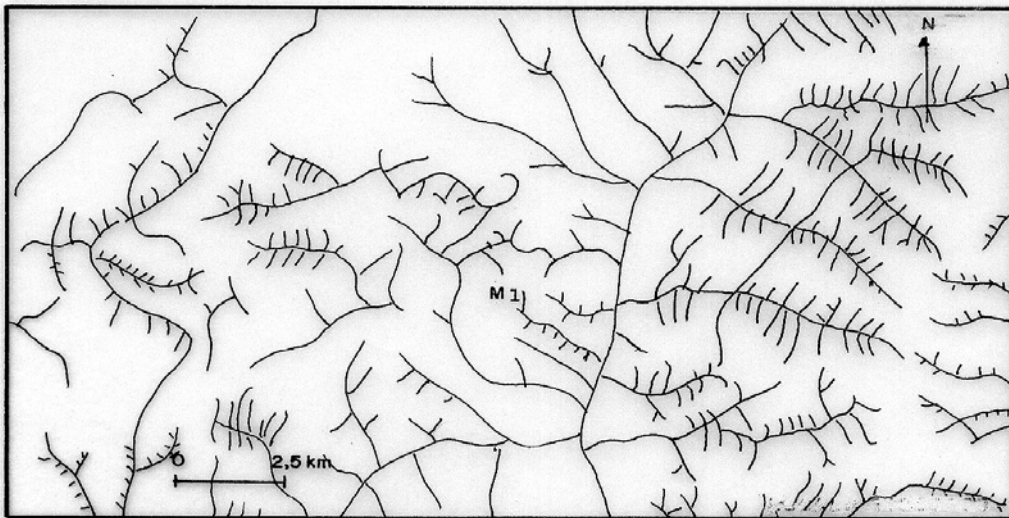


Figura 43: Padrão de drenagem Treliça. Folha SD.23-Z-D.
 M 1 = rocha metamórfica.

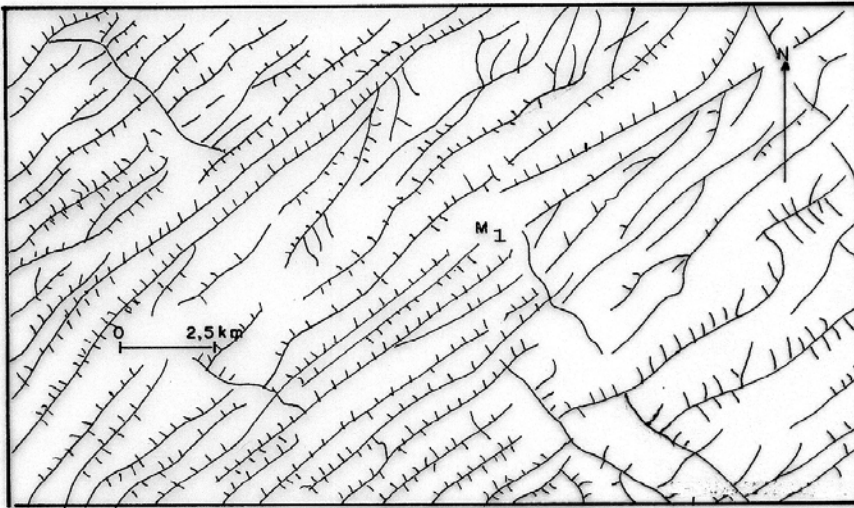


Figura 44: Padrões de drenagem Treliça e Retangular. Folha SF.23-Z-A.
M1 = rocha metamórfica. Lima, 1995a.

Tabela 5: CLASSIFICAÇÃO GENÉTICA DOS PADRÕES DE DRENAGEM

TIPO DE PADRÃO	HORIZONTAL		INCLINADO
Padrão de Drenagem Inicial	Ho	Amorfo Lagunado Termocárstico Cárstico Multibasinal	Anastomótico Distributário Centrífugo Centrípeto
	He	Reticulado	Dicotômico
Desenvolvimento do Padrão de Drenagem	Ho	Dendrítico	Paralelo - Colinear
	He	Angular Treliça Contorcido Anelar	
Padrão de Drenagem Avançado	Enteromórfico		
Padrão de Drenagem Composto	Palimpsesto Pinado Antropogênico		

Fonte: Deffontaines & Chorowicz (1991)

Abreviaturas: Ho = homogêneo; He = heterogêneo

Tabela 6: FATORES MORFOLÓGICOS QUE AFETAM A EVOLUÇÃO DO PADRÃO DE DRENAGEM

Fatores Internos		
LITOLOGIA	Parâmetros Físicos	Presença ou não de cimento, porosidade, permeabilidade, resposta à erosão, competência e dureza.
	Parâmetros Químicos	Dissolução química da água subterrânea, (re)cristalização e diagênese
ESTRUTURA	Disposição das Camadas	Espessura das camadas, direção e mergulho da camada, alternância de litologias, discordância e compactação diferencial.
	Neotectônica	Movimentos horizontais e verticais, vulcanismo e plutonismo, geodinâmica, levantamento e abaixamento, subsidência, zona de deslocamento horizontal, dobra, falha, juntas ou fratura, e colocação de corpos magmáticos.
	Tectônica	Riftes, bacias, domos, áreas de vulcano-plutonismo, discordância, dobras (antiforme e sinforme), falhas e juntas.
Fatores Externos		
CLIMA	Precipitação (quantidade, tipo, estação, neve ou chuva), temperatura (variação, estação) e paleoclima (glacial e periglacial)	
VEGETAÇÃO	Tipo, presença ou ausência e formação florestal.	
HOMEM	Drenagem na, irrigação, canais, edifícios estradas, etc.	
Fatores Compostos		
TOPOGRAFIA	Pendente regional e local, curva de nível, paleotopografia e paleossuperfície.	
VARIAÇÃO EUSTÁTICA	Erosão, sedimentação e nível de base.	
FATORES HIDROLÓGICOS	Padrão dos canais, vazão, carga e confluência.	
HERANÇA	Padrão da paleodrenagem, outros tipos de talvegues (glacial, oceânico), evolução da drenagem (superimposta, antecedente, captura)	

Fonte: Deffontaines & Chorowicz (1991)

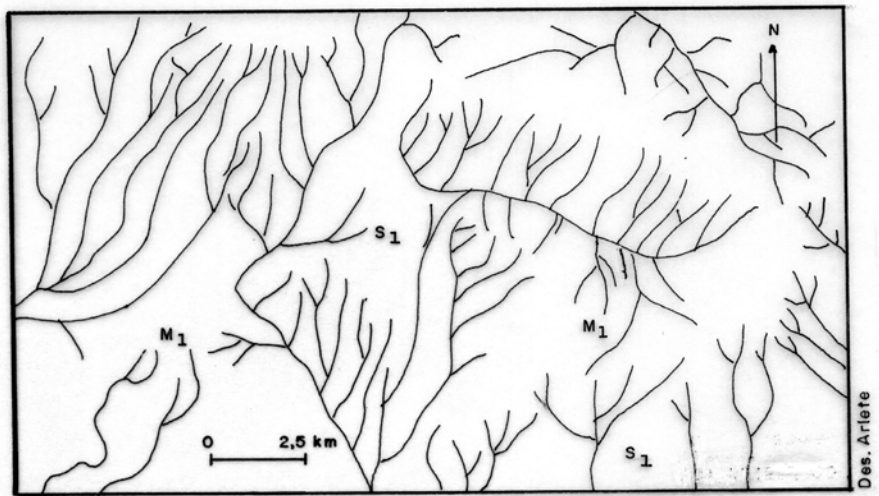


Figura 45: Padrões de drenagem Distributário e Retangular. Folha NA.19-Z-D.
M1 = rocha metamórfica; S1 = rocha sedimentar. Lima, 1995a.

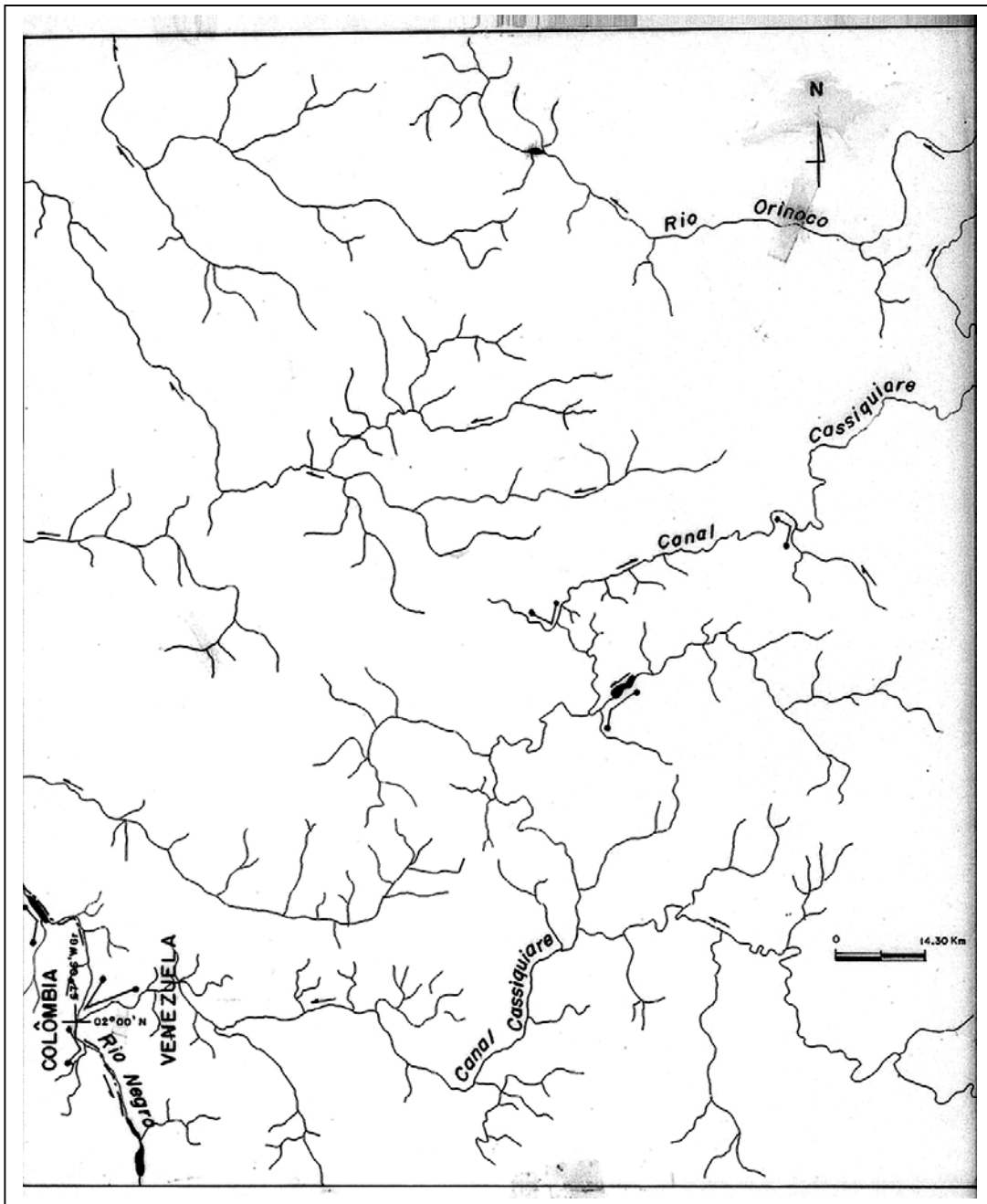


Figura 46: Exemplo de Drenagem Defluente: Canal Cassiquiare.

Tal canal é o elo entre duas importantes bacias hidrográficas: Amazonas-Solimões e Orinoco. Por sua vez, constitui a principal evidência de neotectonismo. Atentar para o ângulo de confluência obtuso, constituindo-se, em verdade, numa defluência.

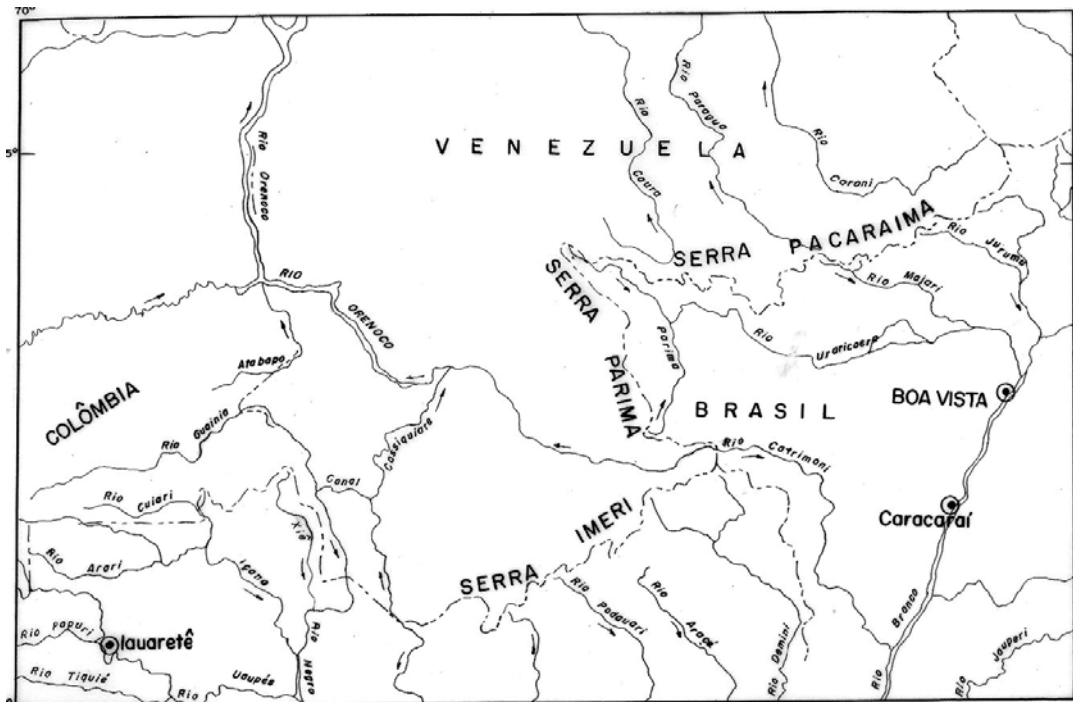
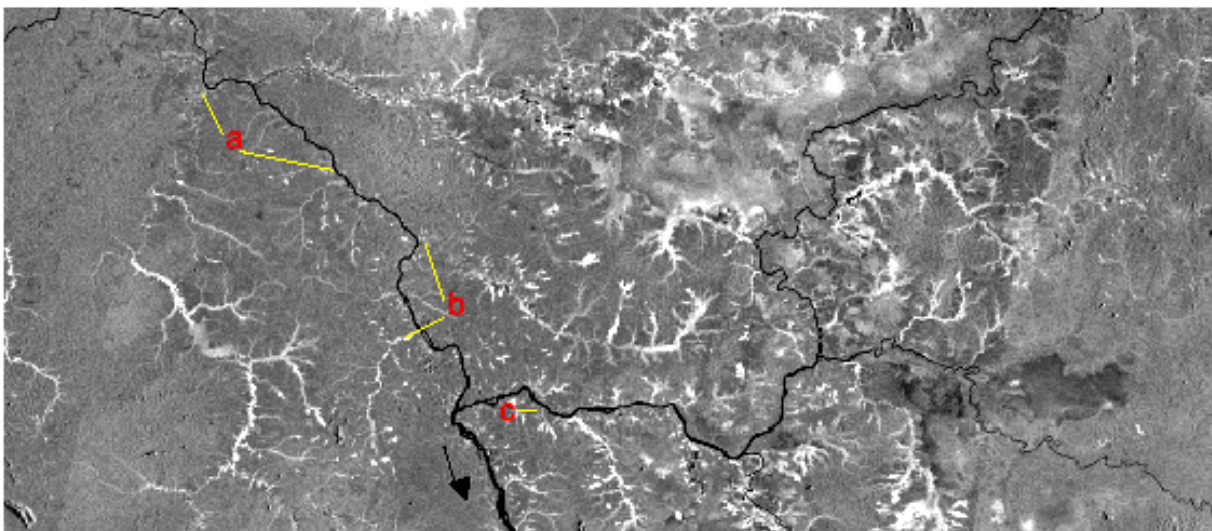


Figura 47: Exemplo de Drenagem Defluente no limite Brasil, Venezuela e Colômbia: Canal Cassiquiare (Venezuela/Colômbia).

Visão geral das bacias Amazonas-Solimões e Orinoco, assim como o Canal Cassiquiare que as interliga.



Estampa 13a – Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS, banda L, 10/1995. Canal Cassiquiare.

A seta preta indica o sentido da corrente do rio Negro que é para sul. Feições lineares escuras rio Negro e Canal Cassiquiare. Feições lineares brancas são afluentes com mata ciliar. Em (a) e (b) pode-se observar as defluências e em (c) o canal Cassiquiare. Confrontar com as figuras 46 e 47. Norte no topo.

No **Quadro 4** Deffontaines & Chorowicz (1991) apresentam as principais características dos principais padrões de drenagens, procurando estabelecer as suas causas.

Quadro 4 – CARACTERÍSTICAS DOS PADRÕES DE DRENAGEM

TIPOS PRINCIPAIS DE PADRÕES DE DRENAGEM		
TIPO	MORFOLOGIA	CAUSAS
Dendrítico	<ul style="list-style-type: none"> - ramos irregulares em todas as direções (1); - ramos semelhantes a uma árvore; - - junção do canal principal com os tributários em ângulos variados; - - canais inseqüentes em origem (1); - - nenhum canal é subseqüente 	<ul style="list-style-type: none"> - declive é o fator controlador; - as rochas oferecem resistência uniforme em superfícies horizontais (planos, platôs, rochas cristalinas maciças); - -rochas que sofreram intenso metamorfismo (1). Por conseguinte, nem sempre homogênea - a drenagem dendrítica implica em carência ou ausência de controle estrutural significante; - - situação difícil de ser encontrada na natureza
Treliça	<ul style="list-style-type: none"> - tributário secundário paralelo ao canal principal ou outro canal para o qual o tributário primário conflui (1); - tributário secundário alongado em ângulo reto em relação ao tributário primário (1); - situa-se entre os padrões dendrítico e retangular ; - a drenagem treliça compreende canais subseqüentes, conectados por reseqüentes ou obseqüentes (1) 	<ul style="list-style-type: none"> - a drenagem como um todo é conseqüente em origem;pode localmente assumir o padrão treliça como um resultado de glaciação; - o padrão treliça ´é característico de estratos dobrados ou basculados e em planície costeira dissecada (1); - rochas sedimentares, vulcânicas ou metassedimentares de baixo grau, inclinadas ou dobradas (2); - área de fraturas paralelas; - - associa-se comumente as rochas dobradas de litologias distintas
Paralelo	<ul style="list-style-type: none"> - canais aproximadamente paralelos uns aos outros (1) ; - planícies de lagos, planícies costeiras, bacias glaciais basculadas e com declive forte; - lados de vales jovens em lagos ou mares fechados, em escarpas de falha. 	<ul style="list-style-type: none"> - declive associado a fraturas; - declive regional pronunciado (longo) e inclinação moderada a forte (1); - controle do declive por feições topográficas paralelas, controladas por estruturas dobradas, ou estruturas monoclinais (1).
Retangular	<ul style="list-style-type: none"> - curvas em ângulo reto tanto no canal principal como nos tributários. É mais irregular do que no padrão treliça; - confluências em ângulo reto (1). 	<ul style="list-style-type: none"> - controle estrutural dominante (1); - juntas e falhas das rochas em ângulo reto; (1); - os canais seguem as linhas de fraqueza (1); - rochas metamórficas e sedimentares dobradas ou ígneas fraturadas.
Centrífugo	<ul style="list-style-type: none"> - os canais irradiam de uma área central ; - radial do centro para fora (3); - confluências em ângulo reto (1) 	<ul style="list-style-type: none"> - drenagem conseqüente de domos e montanhas (vulcões, monadnocks, maciços residuais)(1,3).
Anelar	<ul style="list-style-type: none"> - é como um anel (1) ; - subseqüente em origem e associado com domo intensamente dissecado ou estruturas embaciadas; diatremas (1,3); - (a) conseqüente e radial em origem (1); - (b) tributários subseqüentes desenvolvidos na medida que a erosão avança (1) 	<ul style="list-style-type: none"> - maior influência da estrutura sobre o declive: - (a) o declive só controla o curso inicial do canal; - (b) estrutura e declive ajustam o curso na maturidade do canal
		-

Multibasinal	-múltiplas depressões; - lagos (3)	- - depósitos superficiais hummocky(2); - áreas de vulcanismo recente, dissolução de calcários e evaporitos de uma maneira geral e permafrost (2); - zonas de espesso capeamento laterítico
Contorcido	- difere do treliça recurvado pela carência de uma linha de ordem regional e a descontinuidade de cristas e vales geralmente é em menor escala (2)	- rochas metamórficas grosseiramente foliadas (2); - diques, veios e bandas migmatizadas originam camadas resistentes em algumas áreas (2).
Defluente	- canais em ângulos obtusos em relação ao principal	- reflexo de movimentos neotectônicos
Dendrítico Modificado		
<i>Subdendrítico</i>	- canais principais conseqüentes (1); - os tributários se estendem horizontalmente; - variações sutis do dendrítico	- fraco controle topográfico ou estrutural insignificante; - rochas não homogêneas.
<i>Pinado</i>	- os canais são conseqüentes em origem (1); - junções em ângulos agudos e tributários comumente espaçados e mais ou menos paralelos - padrão me forma de pena ou em forma de árvores (2).	- - controle pela declividade uniforme do canal principal; - rochas homogêneas resistentes (materiais de fácil erosão de granulação fina, como cinza vulcânica, siltes, loess) (3).
<i>Dicotômico</i>	- padrão arborescente ou em ramagens (2)	- acumulação recente é o fator controlador (3).
<i>Distributário</i>	- leques aluviais e deltas (2); - os tributários divergem de um canal principal	- queda de energia provoca a formação dos leques
<i>Anastomótico</i>	- entrelaçamento de canais tortuosos, lamacentos, pantanosos e <i>ox bow lakes</i> {diferente dos canais entrelaçados (braided)}(1); - comuns em planícies de inundação, deltas, pântanos e planícies de marés (1)	- considera-se neste trabalho como tipo de canal
Treliça Modificado		
<i>Subtreliça</i>	- formas de relevo alongadas e paralelas e continuidade de drenagem dominante	-
<i>Treliça Direcional</i>	- direção de treliça dominante controlada pela estrutura ou pela litologia e os tributários de um lado são mais longos do que do outro(2)	- série de falhas, juntas ou planos de fratura paralelos; - declividade fraca em cordões litorâneos; - homoclinais suaves(2)
<i>Treliça de Falha</i>	- espaçamento entre os canais subseqüentes paralelos é mais largo que o treliça típico (1); - ramos convergentes e divergentes de falhas grosseiramente paralelas (2)	- é umtreliça controlado por falhas (1); - série de falhas ou planos de fraqueza paralelos; - grâbens e horts alternados ou uma sucessão de riftes paralelos .
<i>Treliça de Junta</i>	- falhas ou juntas retilíneas paralelas (2).	-
<i>Treliça Recurvada</i>	- curvas acentuadas ao redor de eixos de dobras com caimento (2).	- Pode distinguir antiformes e sinformes, o canal mais longo indica o sentido do mergulho do

		eixo (2)
<i>Reticulado</i>	- à semelhança de um grid (rede)	- - origem natural ou antropogênica
Paralelo Modificado		
<i>Subparalelo</i>	- canais orientados em direções similares , mas sem a regularidade do padrão paralelo; - como uma árvore de álamo (2)	- - acamamento, foliação, falhamentos e dobramentos complexos (1); - controle pela declividade e formas de relevo paralelas (1,2)
<i>Colinear</i>	- sucessão de canais que se estendem ao longo de uma mesma linha reta (podem desaparecer e emergir logo rio abaixo) (1)	- - litologia. Dunas ou sulco em rochas de composição uniforme (areias, cinza vulcânica)
Retangular Modificado		
<i>Angular</i>	- as junções formam agudo ou obtusos sem nenhum ângulo reto(2); - numerosas curvas em ângulo agudo e tributário defluente (2);	- rochas sedimentares, ígneas ou metamórficas intensamente falhadas(3); - intercessão de sistemas de falhas em juntas nem sempre em ângulo reto(2).
Centrífugo Modificado		
<i>Centrípeto</i>	- vertentes internas de crateras ou caldeiras, domos brechados e bacias estruturais (1); - algumas vezes suas dimensões são insignificantes para aparecer em mapa (1); - os canais fluem para dentro em direção ou nas proximidades de depressões centrais fechadas (2); - multicentripetro (multidepressões) (2) - radial para dentro	- - as drenagens centrípetas de bacias estruturais podem ser consequentes ou resequentes, enquanto que dos domos é obsequente (1); - crateras, caldeiras ou outras depressões (2); - - sinclinais e anticlinais erodidos (3).
Multibasinal Modificado		
<i>Cárstico</i>	- depressões fechadas com declive forte;	- calcários (2)
<i>Termocárstico</i>	- pequenos lagos circulares ou ovais	- permafrost (2)
<i>Baia Alongada</i>	- as depressões são largas elípticas e paralelas (2)	- planícies costeiras e deltas (2)
<i>Glacial</i>	- depressões, pequenas ou largas, espaçadas	- erosão e/ou deposição glacial(2)
Contorcido Modificado		
<i>Irregular</i>	- regiões glaciais (1); - zonas de inundação ;	- a glaciação desenvolve uma nova rede de drenagem sem relações com a estrutura geológica subjacente (1)
<i>Composto</i>	- dois ou mais padrões na mesma área (2)	- integração parcial de drenagem em área de <i>morenas</i>
<i>Palimpsesto</i>	- canais antigos abandonados	-
<i>Yazoo</i>	- diques marginais forçam os tributários a desviar e fluir paralelamente ao canal principal	- acumulação recente é o fator controlador
<i>Antropogênico</i>	- figuras retilíneas ou geométricas	- irrigação
<i>Dessaranjado</i>	- glaciamentos superimpostos	- pequenos lagos e canais sinuosos

(1) Zernitz (1932) ; (2) Howard (1967) ; (3) Gagnon (1974) ; (4) este trabalho

Fonte : Deffontaines & Chorowicz (1991)

XI – PROBLEMAS DO TRAÇADO FLUVIAL

XI.1 – Meandros

O nome *meandro* (inglês=meander e grego=maiandros) deriva do rio *Buyükmenderes*, atual *Menderes*, na Turquia, que drena o oeste da Anatólia e desemboca no mar Egeu. Exemplifica com propriedade as curvas que descrevem uma drenagem, isto é, fugindo, sem motivo aparente, de sua direção de fluxo.

Canais meândricos são curvas sinuosas, largas, harmoniosas e semelhantes entre si, elaboradas pelos rios através de um trabalho contínuo de escavação na margem côncava (maior velocidade da corrente) e deposição na margem convexa (menor velocidade da corrente), Christofolletti (1980). A fim de distinguir o que representa, em verdade, um canal meândrico foi proposto o *índice de sinuosidade*, que é a relação entre o comprimento do canal e a distância do eixo do vale (**Figura 48**). O valor de 1,5 é usado por alguns pesquisadores como ponto de partida para considerar os canais como meandros (**Figura 49**). Deste modo, não deve ser chamado de meandro qualquer sinuosidade, sendo reservado este termo para um traçado que se afasta, sem motivo aparente, de sua direção de fluxo, para voltar a ela depois de descrever uma pronunciada curva.

Anteriormente era admitido que os rios atingiam a fase meandrante fluvial na maturidade do ciclo davisiano, relacionadas às planícies fluviais e deltaicas. Contudo, esta interpretação não procede, uma vez que rios de todos os tamanhos e em todas as altitudes podem formar meandros, desde que uma condição básica seja encontrada: existência de rochas sedimentares, que sejam coerentes, firmes e não soltas (Christofolletti, 1980).

A presença de meandros é a forma mais provável, pois minimiza a declividade, o cisalhamento e a fricção. Quando predomina a carga no leito, com material grosseiro, os canais são rasos e largos e apresentam baixo índice de sinuosidade. Quando predomina a carga em suspensão, com materiais finos, os canais são estreitos e profundos e mostram alto índice de sinuosidade (Christofolletti, op. cit.).

Pode-se distinguir dois tipos de meandros: encaixados e divagantes. Aqueles estão relacionados ao desenho de seus vales, enquanto estes se relacionam a planícies aluviais. (**Figura 24**).

Para que seja formado um meandro deve existir um estado de equilíbrio entre a pendente, a vazão, a carga, e a resistência das margens. A evolução do meandro supõe certa potência total; o meandro é uma forma de escavação ou de equilíbrio, e não de colmatação.

XI. 2 – Capturas

Os meandros são acidentes menores no traçado de um rio, sendo que uma maior modificação ocorre quando um rio captura o outro.

Os divisores de água não se mostram bem definidos na juventude, sendo contudo melhor caracterizados na maturidade. A migração dos divisores pode ser lenta, rápida, por captura, ou de outras formas. O motivo mais comum que leva a captura é a aptidão que um rio possui para manter e estender seu vale a um nível mais baixo do que um rio adjacente. A captura pode se manifestar por: erosão remontante, aplanamento lateral e desvio subterrâneo (Thornbury, 1966). A captura por transbordamento acontece quando um rio, correndo em nível mais alto do que outro, faz alçar o seu leito por excesso de deposição. A corrente pode vazar por um rebaixamento e fluir para o rio mais próximo por um processo de cavamento (**Figura 50**). A erosão remontante pode ocorrer quando um rio tem seu vale aprofundado em rochas mais facilmente erosionáveis, ou então quando possui um gradiente mais elevado do que o outro (**Figura 51**). Onde ocorrem calcários ou outras rochas solúveis que jazem sobre o nível de base de erosão pode haver a captura subterrânea, desde que o outro rio esteja em um nível inferior.

A captura pode ser o resultado da erosão lateral ou aplanação. Este fato acontece depois que os rios estão equilibrados e quando predomina a erosão lateral.

O ponto onde se realiza a captura é denominado *nó de captura* e o rio que perdeu parte de sua bacia chama-se *decapitado*. Vide **estampas 13b e 13c**.

XI.3 – Anarquia de Rios

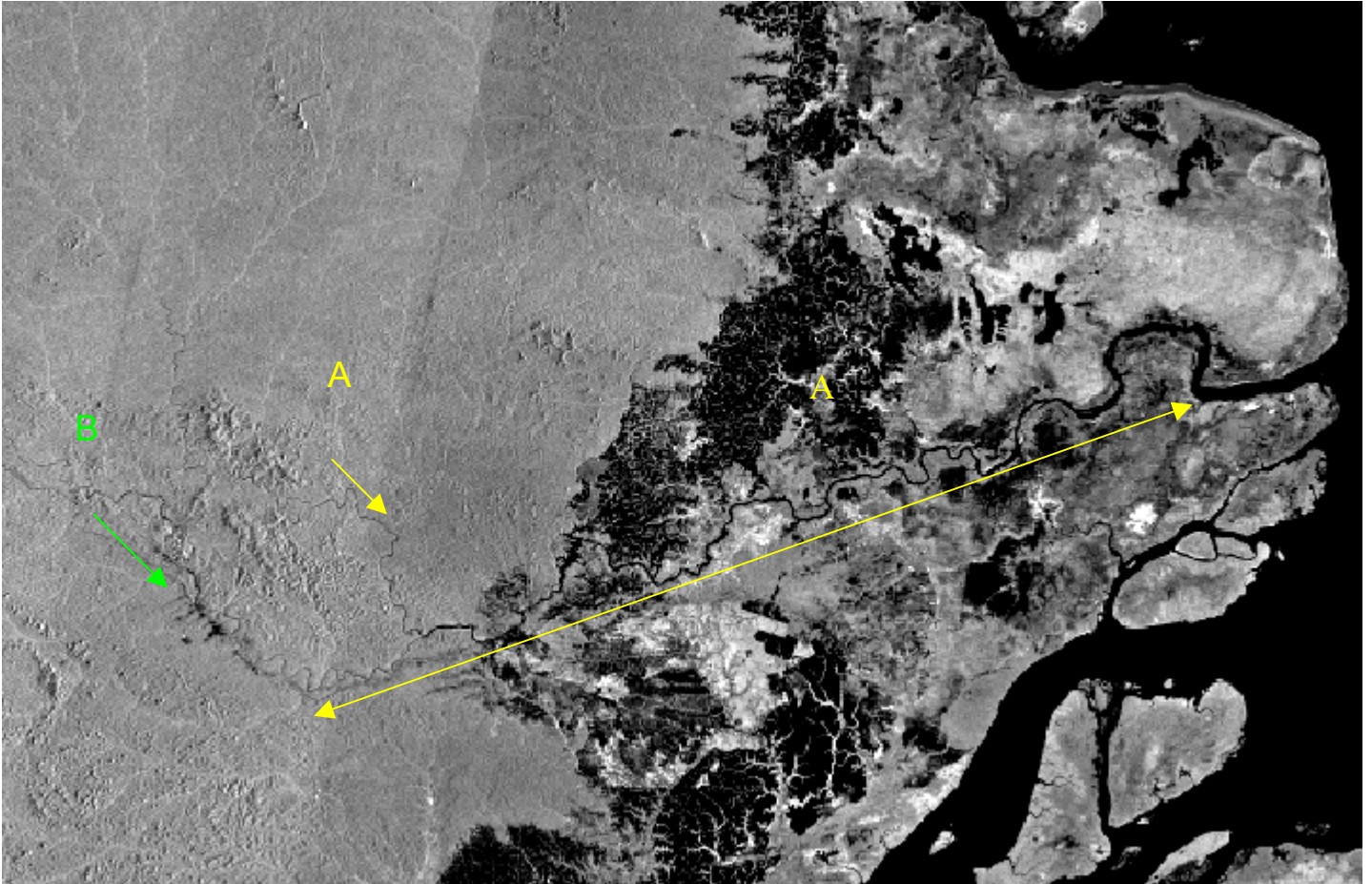
A anarquia dos rios pouco tem a ver com a captura, salvo nos casos em que envolve mudança nos cursos. A anarquia pode ser o resultado de glaciação, acumulação eólica ou diastrofismo.

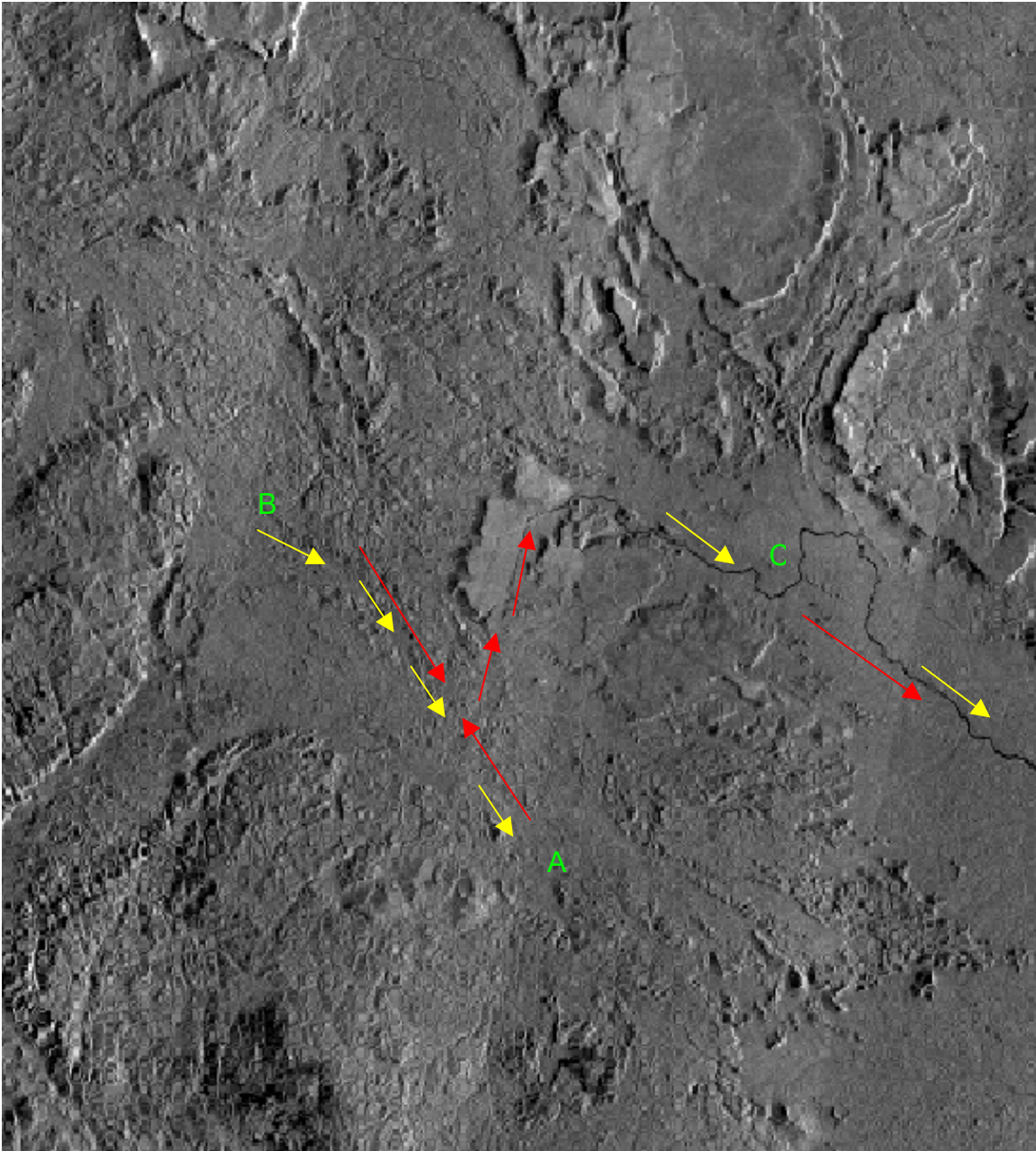
XI.4 – Rios sem Proporção

Alguns rios são desproporcionais, para menos ou para mais, em relação aos vales que ocupam (Davis, 1913 apud Thornbury, 1966), sendo esta última situação a mais difícil de ocorrer na natureza, posto que um rio não pode permanecer em tal situação por muito tempo, em vista do aumento de seu poder erosivo. Já a desproporção para menos pode persistir por muito tempo.

Estampa 13b– Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS, banda L, 10/1995. Bacia do rio Araguari (AP). Captura do rio Araguari.

O rio Ataguari em (A) flui no sentido de norte para sul e de igual modo o seu afluente pela margem direita, rio Amapari em (B).. No entanto, ocorreu uma captura (mudança brusca) com orientação cerca de NE-SO, devido provavelmente a presença de uma falha de gravidade oblíqua dextral, conforme ilustra a imagem de radar abaixo. Indica-se a mesma por uma seta dupla (cerca de 225 km) de extensão .Observar a orientação marcante do rio Araguari, em sua porções média e foz, para NE-SO e a presença de fraturas de disposição quase meridiana. Norte no topo.





Estampa 13c– Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS, banda L, 10/1995. Serra Parima. Captura do rio Parima (RR).

As setas amarelas retratam a posição pretérita de fluxo rios Parima (A) e Urariçuera em (C), com orientação de noroeste para sudeste. Por sua vez, as setas vermelhas mostram o quadro atual devido a inversão de blocos com o rio Parima fluindo para noroeste e com inflexão para nordeste caracterizando uma captura. Em (B) ocorre o rio Auauris. Atentar para o ângulo de defluência entre (A) e (B). Distância entre A e C cerca de 50 km para efeito de escala. Norte no topo.

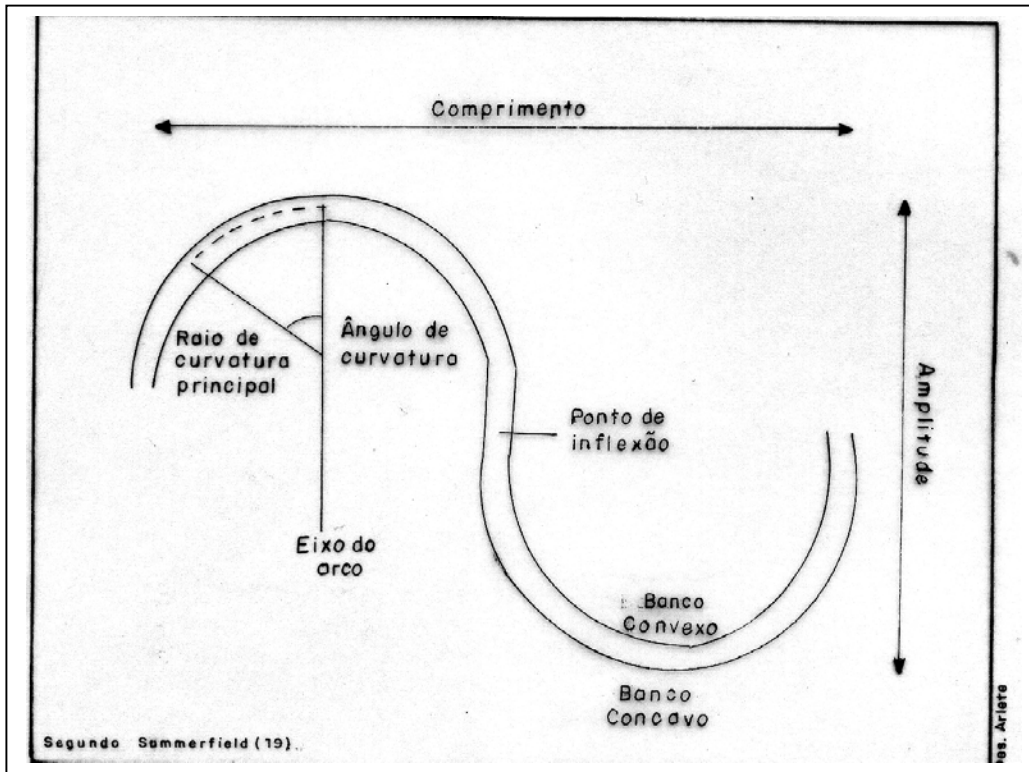


Figura 48: Principais componentes da geometria de um meandro.
 Observar os significados de: comprimento, amplitude, ponto de inflexão e eixo do arco.

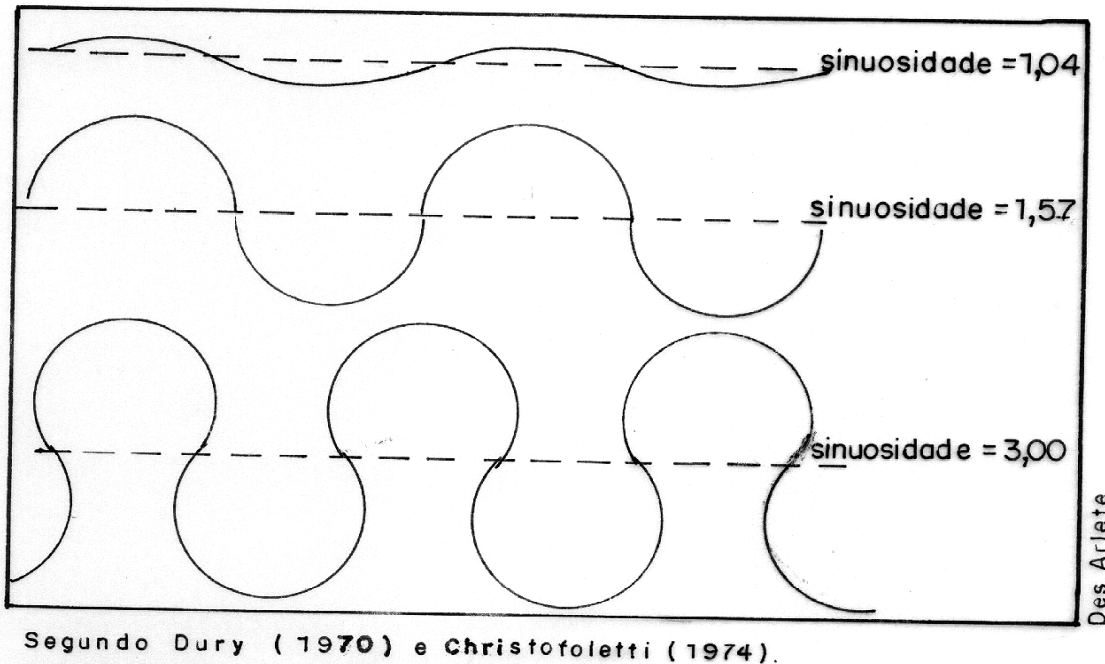


Figura 49: Índice de Sinuosidade da drenagem.

O Índice de Sinuosidade constitui a razão do comprimento do canal e a distância do eixo do vale. Deste modo, o valor igual ou superior a 1,5 para o índice de sinuosidade define o canal meândrico de uma drenagem. Dury (1970) e Christofoletti (1974).

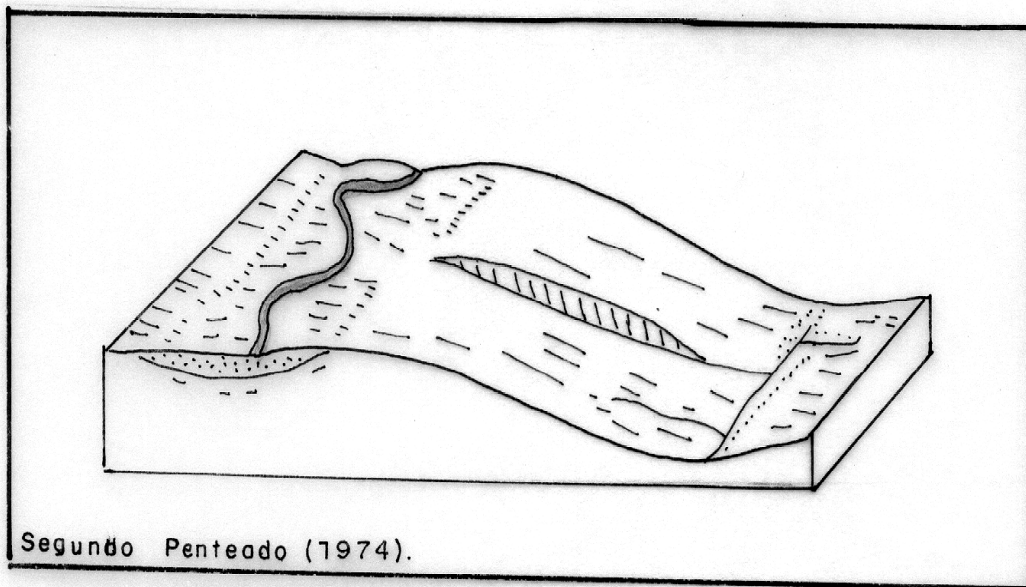


Figura 50: Captura fluvial por transbordamento. Segundo Penteadado (1974) ocorre pelo levantamento do vale do rio situado na parte superior. Exemplo de *neotectonismo*.

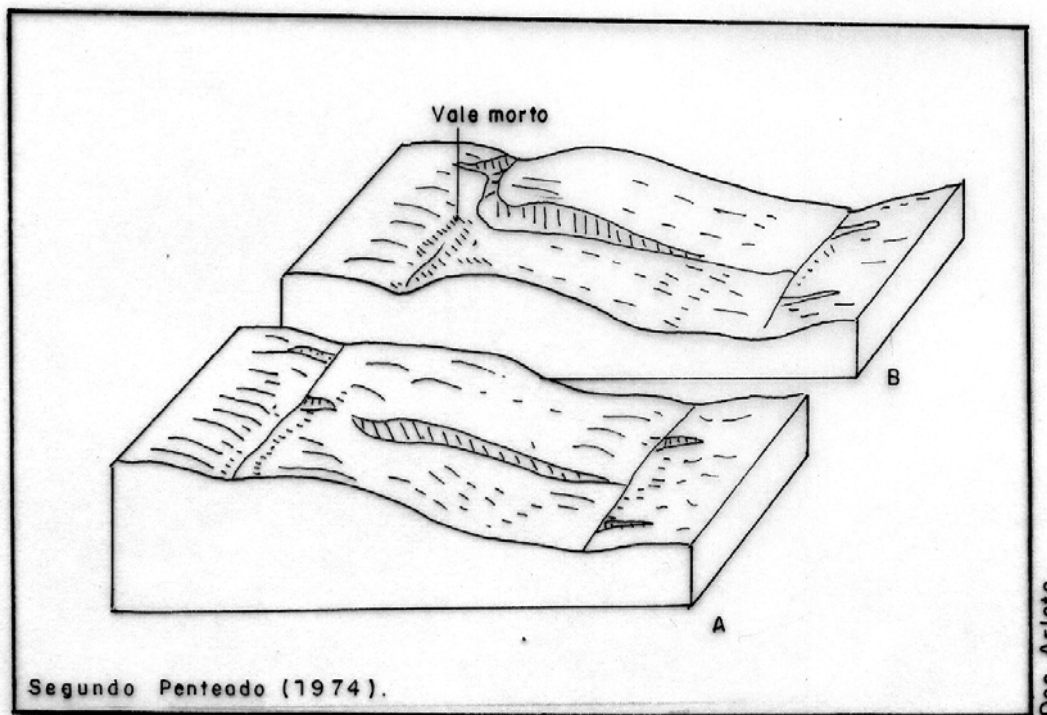
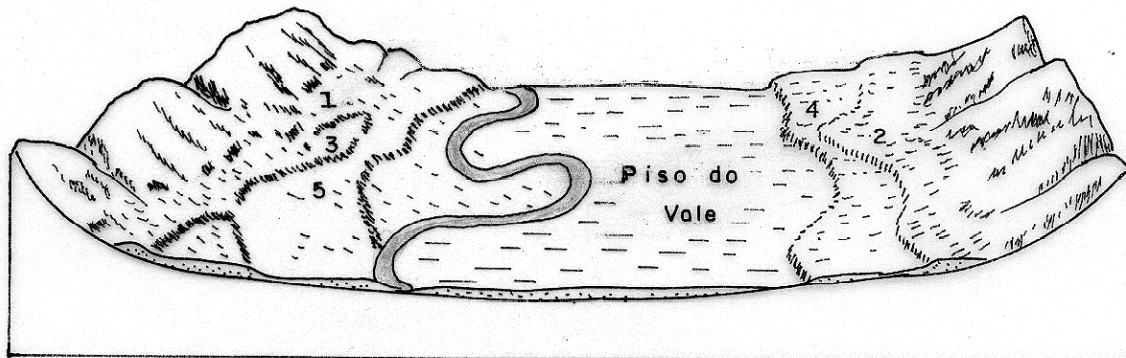


Figura 51: Captura fluvial por recuo de cabeceira. Segundo Penteadado, (1974), Ocorre pelo levantamento da cabeceira do rio situado na parte inferior. Exemplo de *neotectonismo*.



Seg. Longwell et al. apud Thornbury (1966).

Des. Arlete

Figura 52: A drenagem, o vale e seus terraços.

Terraços assimétricos denotam movimentos tectônicos (ascendente ou descendente) em ambas margens e em épocas distintas. Longweel et al., apud Thornbury(1966)

O fato de um vale grande ser sulcado por um rio pequeno, não significa, necessariamente, que o rio seja proporcionado em menos, uma vez que um rio pequeno, mediante erosão lateral pode escavar um vale extenso. Caso os meandros atuais apresentem um raio de curvatura muito menor que os meandros abandonados existentes no piso do vale, pode-se concluir que o rio é desproporcionado para menos (Thornbury, 1966).

Uma outra condição de desproporcionalidade para menos resulta de mudanças no deságüe devido a captura e anarquia dos rios.

Estampa 13d– Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS, banda L, 10/1995. Baixada Maranhense . Foz do rio Mearim (MA). Paleomeandros.

Didático exemplo de várias gerações de paleomeandros tendo como palco a baixada maranhense, na foz do rio Mearim e seus afluentes, dentre os quais o rio Pindaré. . A fim de melhor ilustrar mostram-se setas em cores . A seta de cor ciano indica o meandro mais jovem, seguida pela de cor verde e posteriormente azul marinho. As setas de cores amarelo e vermelho indicam os paleomeandros mais antigos. A largura média do rio Mearim é de 7 km.Norte no topo.



XII – TERRAÇOS ALUVIAIS

A erosão fluvial é realizada através dos processos de *corrosão*, *corrasão* e *cavitação*. A *corrosão* está ligada a qualquer atividade química entre a água e a rocha com que está em contato. A *corrasão* constitui o desgaste pelo atrito mecânico, comumente, pelo impacto das partículas carregadas pela água. Ressalta-se, nesse caso, um tipo especial denominado de *eversão*, originado pelo movimento turbilhonar, causando o desenvolvimento de marmitas ou caldeirões, bastante comuns em regiões próximas a cachoeiras. Finalmente, a *cavitação* constitui-se na fragmentação das rochas pelo impacto das águas, como resultado da grande velocidade de fluxo.

De acordo com McGee (1897) apud Suguio & Bigarella (1990), o terraço representa um plano horizontal ou aproximadamente horizontal, em maior ou menor extensão, limitada de um lado por um terreno mais elevado e do outro por uma escarpa. Está implícito que o plano encontrava-se originalmente no nível da água ou abaixo dele, mostrando-se agora em posição superior às anteriores. Leopold et al. (1964) consideram o terraço como uma planície de inundação abandonada.

Os terraços aluviais constituem antigos pisos do vale fluvial. Na verdade, podem representar um terraço de erosão ao invés de um terraço de acumulação. O mesmo só se forma porque, mediante a erosão, desenvolve-se outro fundo plano do vale, debaixo do teto do vale anterior, fato que não impede dizer ser a superfície de um terraço uma área de acumulação (Thornbury, op. cit.).

Os terraços fluviais são produzidos por etapas de erosão ao longo dos vales dos rios e, por conseguinte, refletem os períodos de rejuvenescimento. Cotton (1940) apud Thornbury (1966) classificou os terraços fluviais em *cíclicos* e *não cíclicos*. Os primeiros reproduzem pisos de vales formados em períodos nos quais o aprofundamento processou-se através de erosão lateral, formando terraços pares (**Figura 1**). Os terraços cíclicos podem envolver ciclos parciais de erosão relacionados a um levantamento intermitente, ou ainda representar alternância de períodos de agradação e degradação relacionados com mudanças eustáticas. Os terraços não cíclicos denotam que houve escavação continuada, acompanhada por erosão lateral. Nessas condições, a faixa de meandros se desloca pelo vale, de uma parte a outra e, no período tempo que se movia de um costado a outro, o piso do vale havia descido, e os terraços deixados nos lados opostos estavam em altitudes diferentes (Derruau, 1970). Vide **Figura 52**.

O estudo dos terraços relaciona-se com o reconhecimento das variações dos níveis de base, das retomadas cíclicas de origem climática e dos movimentos tectônicos. (Penteado, 1974)

XIII –ANOMALIAS DE DRENAGEM

Segundo Howard (1967) anomalia de drenagem constitui um desvio local, em algum lugar, da drenagem regional e/ou padrão de drenagem, tendo por base sua conhecida estrutura regional e/ou topografia. Por sua vez, De Blieux (1949) considera o padrão de drenagem esperado, como normal, e os seus desvios, como anomalias. Com efeito, entende-se que uma anomalia sugere mudanças na geologia estrutural e, como consequência, nas formas de relevo em âmbito regional.

Portanto, anomalia de drenagem significa um desvio inesperado de uma ou mais drenagens em relação ao seu padrão. Como exemplo, cita-se um padrão dendrítico que, inesperadamente, mostra padrões anelar e radial, ou então um padrão paralelo que passa a exhibir repentinamente, o padrão treliça recurvado ou treliça fratura.

Holmes apud Howard (op. cit.) destaca como exemplos de *anomalias de drenagem* a presença das seguintes feições (**Figura 53**) :

- retilinearidade;
- aparecimento abrupto e localizado de meandros;
- meandros comprimidos;
- desenvolvimento abrupto e localizado do canal anastomótico;
- estreitamento anômalo de vales ou canais;
- *levées* (diques marginais) isolados; e
- curvas anômalas.

A esses se pode acrescentar:

- ausência de divisor de águas com o desenvolvimento de lagos;
- aparecimento brusco de canal do tipo entrelaçado;
- grande incidência de terraços;
- assimetria distinta com relação ao comprimento dos seus afluentes.

A *Retilinearidade* é uma feição com extensos e retilíneos canais de drenagem inseridos em um padrão de drenagem que não seja retangular ou treliça. Geralmente está associado a fraturas, sendo que um bom exemplo é a zona lindeira Brasil/Guiana Francesa, revelada pelo rio Oiapoque, que mostra extensas zonas retilíneas na região norte do Brasil (**Figura 15**).

Os *Meandros Locais*, quando presentes em um canal essencialmente reto, sugerem a presença de uma estrutura dômica ou uma mudança abrupta no gradiente de um canal.

Os *Meandros Comprimidos* podem ocorrer em uma seqüência de menor índice de sinuosidade, insinuando também a presença de um alto estrutural.

O *Canal Entrelaçado*, de ocorrência local, pode indicar a inabilidade da corrente em transportar carga de fundo, devendo estar relacionada a uma mudança no gradiente provocada por um alto estrutural.

O *Estreitamento de Canal ou Vale* pode relacionar-se a um alto estrutural local.

Os *Lagos, Pântanos e Depósitos Aluviais localizados* podem sugerir a presença de subsidência ou levantamento.

Os *Diques Marginais (Levéés) localizados ou largos* são indicativos de subsidência, levantamento ou de uma estrutura geológica encoberta.

As *curvas anômalas* são indicativas, em sua maioria, de inversão de relevo ou então de marcante controle estrutural.

Assimetria distinta denota ângulos de pendentes diferentes. Isto pode ser perfeitamente analisado pelo traçado dos divisores de água. Sempre que uma drenagem ou seus padrões forem muito extensos em relação aos do padrão contíguo merecem um cuidado especial.

Na **Figura 54** apresenta-se as possíveis situações decorrentes de um arqueamento da drenagem, desde a presença de lagos nos interflúvios e a ocorrência de canais interligando drenagem, como exemplos típicos de defluência tipo Cassiquiare (**Figuras 46 e 47**) e Jauaperi-Branco, afluentes do rio Negro pela margem esquerda (**Estampa 16**).

Pode-se portanto concluir que a presença de capturas, anarquia de rios e rios sem proporção, de uma maneira ou de outra, estão ligados a anomalias de drenagem.

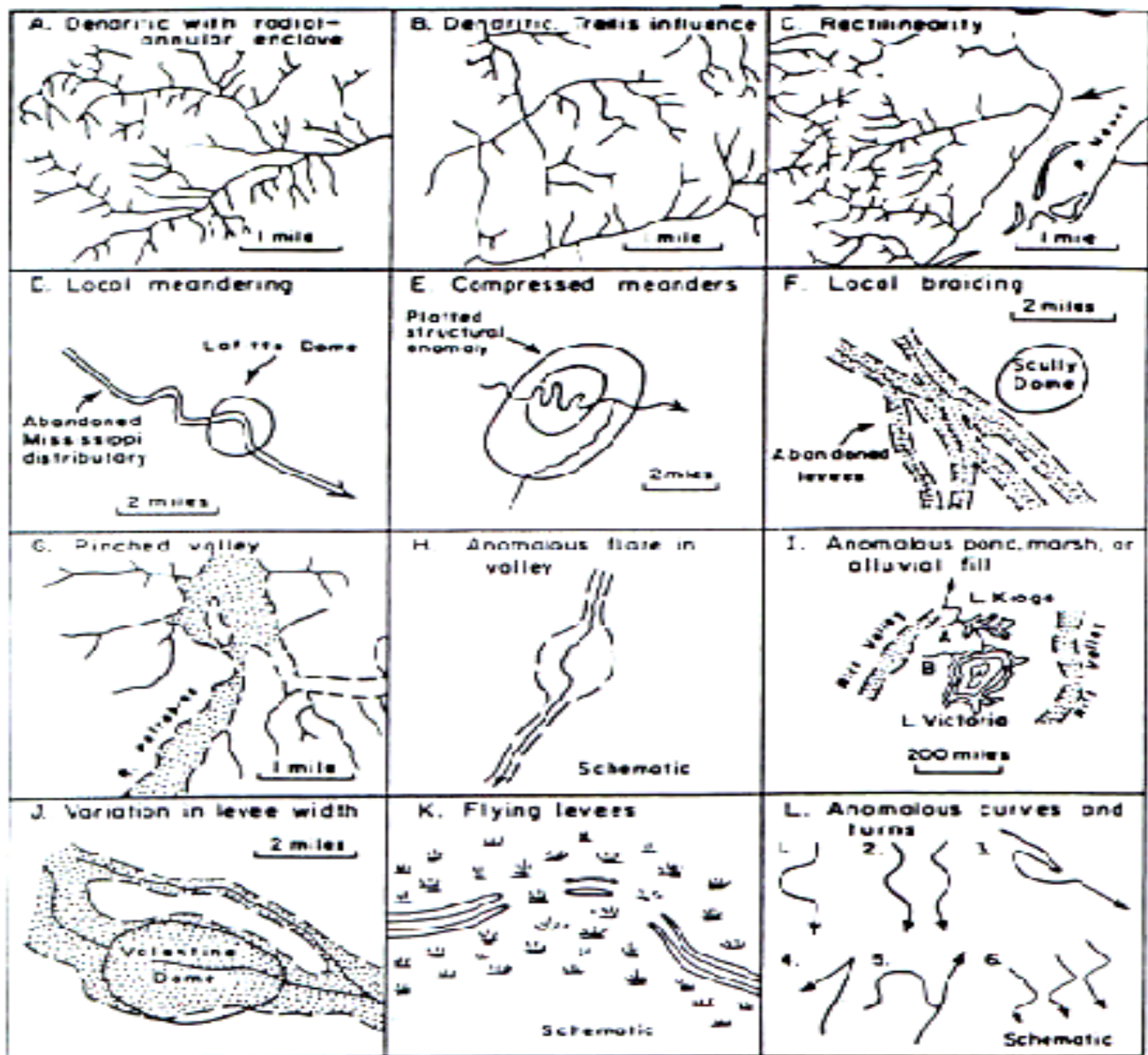


Figura 53 –Anomalias de Drenagem . Holmes apud (Howard, 1967).

A = Padrão Dendrítico com padrão anular-radial localizado; B = Padrão Dendrítico com presença local de Padrão Treliça; C = Drenagem retilínea bem localizada; D = Meandros localizados ; E = Meandros com alta sinuosidade locais ; F = Canal Entrelaçado bem localizado ; G = Estreitamento de vale; H = Alargamento de vale; I = Pântanos e depósitos aluviais locais ; J = Variação na largura dos diques marginais; K = Diques marginais localizados e descontínuos ; L = Curvas anômalas ou defluências.

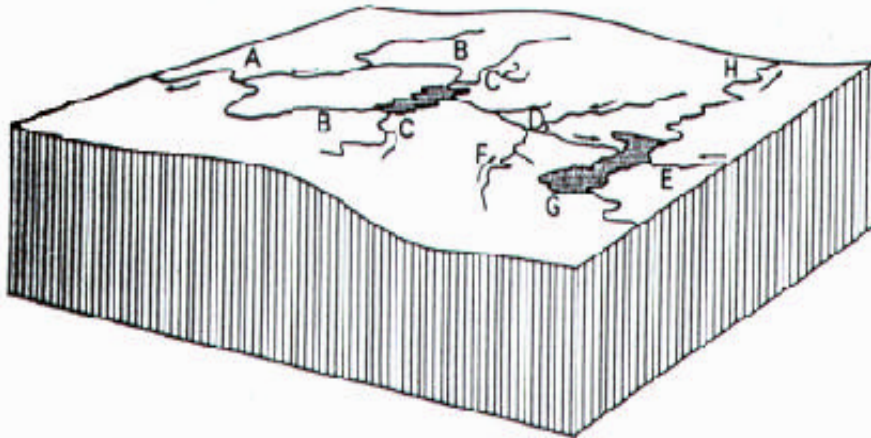


Figura 54 - Efeitos do arqueamento em um sistema de drenagem.

A jusante do arqueamento haverá um aumento do gradiente de uma parte do canal (1), mas a descarga de um trecho a montante do eixo do soerguimento será cortada (decapitação) (B). Ao longo do eixo do arqueamento, o gradiente do canal será reduzido estabelecendo-se uma drenagem desorganizada, incluindo-se lagos rasos (C). Se o arqueamento for de baixa amplitude e longo comprimento de onda, aparecerão extensas regiões com drenagem pobremente integrada e com baixo gradiente. No flanco a montante haverá inversão da drenagem (D), até o ponto onde o declive a montante é restabelecido (E). Os canais tributários podem ter poder erosivo suficiente para manter sua direção original de fluxo embora sofram redução de gradiente (F). Isto produzirá um padrão de drenagem defluente (feição diagnóstica de drenagem invertida). Lagos também podem se formar onde a drenagem invertida junta-se com a drenagem de montante que manteve sua direção de fluxo original (G), mas o desenvolvimento de drenagem paralela à direção do eixo do arqueamento (H), pode evitar a preservação desses lagos (Summerfield, 1991).

XIV – DRENAGEM E FORMAS DE RELEVO

XIV.1 – Introdução

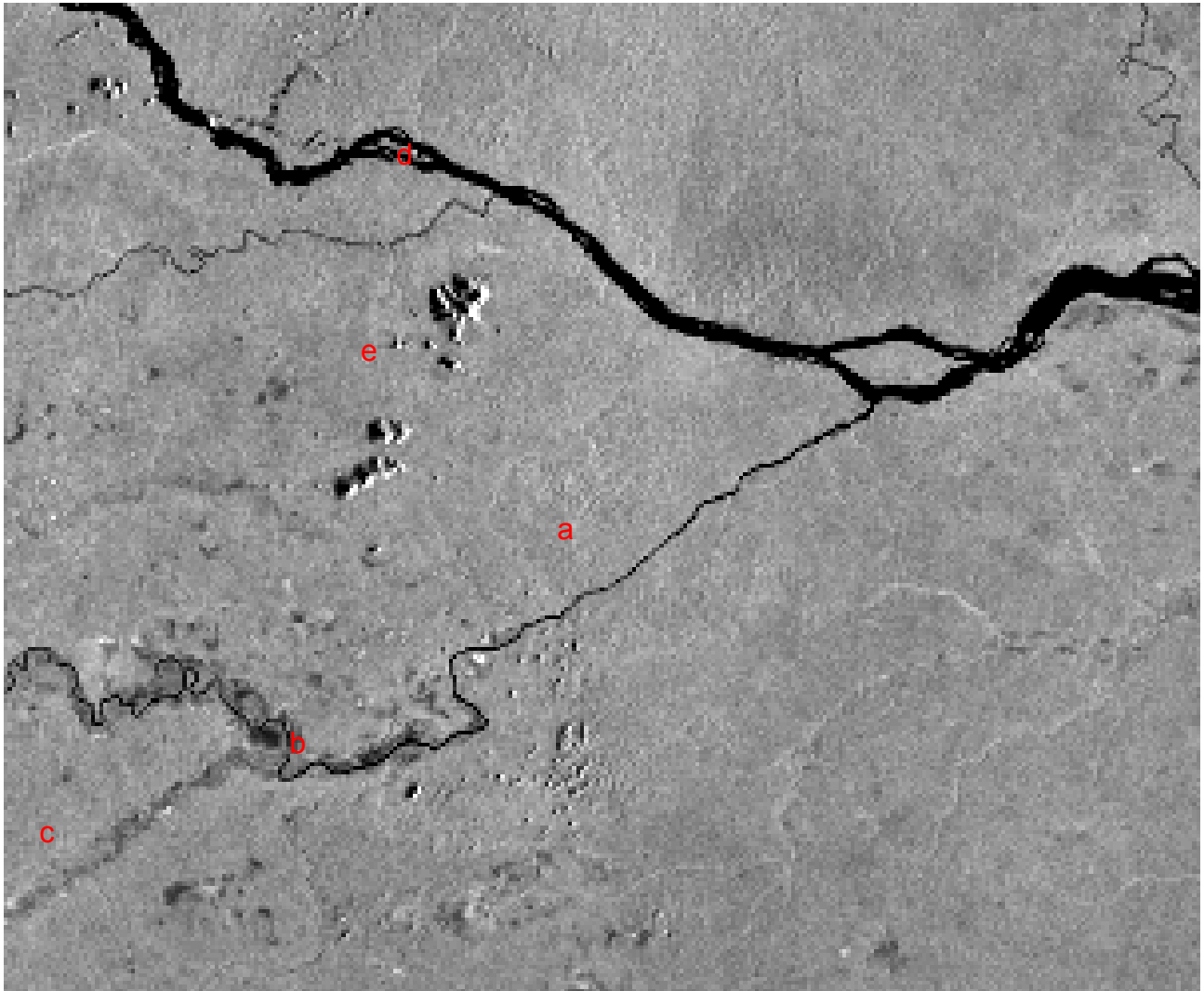
As formas de relevo, direta ou indiretamente, inter-relacionam-se com a litoestrutura, como pode ser constatado em diversas regiões brasileiras, em que os ambientes geológicos condicionam praticamente as formas de relevo. Assim sendo, pode-se observar, dentre outros, que a presença de chapadões interligam-se às seqüências sedimentares horizontais (Sinéclise do Parnaíba -MA/PI), que a existência de cristas e vales associam-se a seqüências metassedimentares dobradas (região do Alto Paraguai - MT), e que a ocorrência de formas mamelonares e pães de açúcar relacionam-se a complexos ígneos (serra dos Órgãos – RJ).

Na **Figura 55** estão mostradas esquematicamente oito formas de relevo relacionadas diretamente com a estrutura geológica. Deste modo, os chapadões, a presença de cristas e o mar de morros, acima citados, referem-se a Camadas Horizontais, Dobras e Maciços Cristalinos Homogêneos, respectivamente. Na **Estampa 14** pode-se observar o controle estrutural nos rios Negro, Marié e Curicuriari e seus tipos de canais.

Como a litoestrutura relaciona-se diretamente com a drenagem, pode-se deduzir da importância significativa do estudo da drenagem e seus padrões, em termos da caracterização das formas de relevo. A **Tabela 7** apresenta uma correlação das formas de relevo com os padrões de drenagem.

Estampa 14 – Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS, banda L, 1995. Região do rio Marié.

Em (a) rio Marié com forte controle estrutural de cerca 57,5 km, segundo NE-SO, exemplificando um canal retilíneo. Em (b) mantém-se, porém em (c) já mostra evidências de meândrico. Em (d) rio Negro e em (e) serra do Curicuriari. Levantamento em (a) e controle estrutural em toda a região. Exemplo prático da Figura 54. Norte no topo.



A **Figura 56** expressa a inter-relação das formas de relevo resultantes, em regiões sedimentares, com o desenvolvimento de mesa, *cuستا* e *hogback*, que retratam os mergulhos, ausente, fraco e médio, respectivamente. Obviamente cada feição terá implicações importantes em termos de padrão de drenagem.

Por sua vez, na **Figura 57** é mostrada com minudência a relação da drenagem, com referência a uma estrutura homoclinal, principalmente no que concerne a assimetria.

A **Tabela 7** mostra a inter-relação das formas de relevo com o padrão de drenagem, enquanto que a **Tabela 8** apresenta as convenções e abreviaturas utilizadas na interpretação das formas de relevo, em consonância com o que foi sugerido por Lima, 1995b.

XIV.2 – Índices de Dissecação

Um relevo é dissecado quando está sendo submetido à influência de agentes erosivos. Com base nessa conceituação, qualifica-se aqui, o grau de dissecação de uma região como sendo de três tipos principais: alto, médio e baixo. O grau de dissecação baixo denuncia um tipo de relevo em estágio inicial da ação dos agentes erosivos, com vales em "V", ao passo que um alto grau de dissecação relaciona-se a um relevo em estágio final de retrabalhamento por agentes erosivos, com vales em "U" e relevo arrasado (peneplanizados) Vide **Figura 28**.

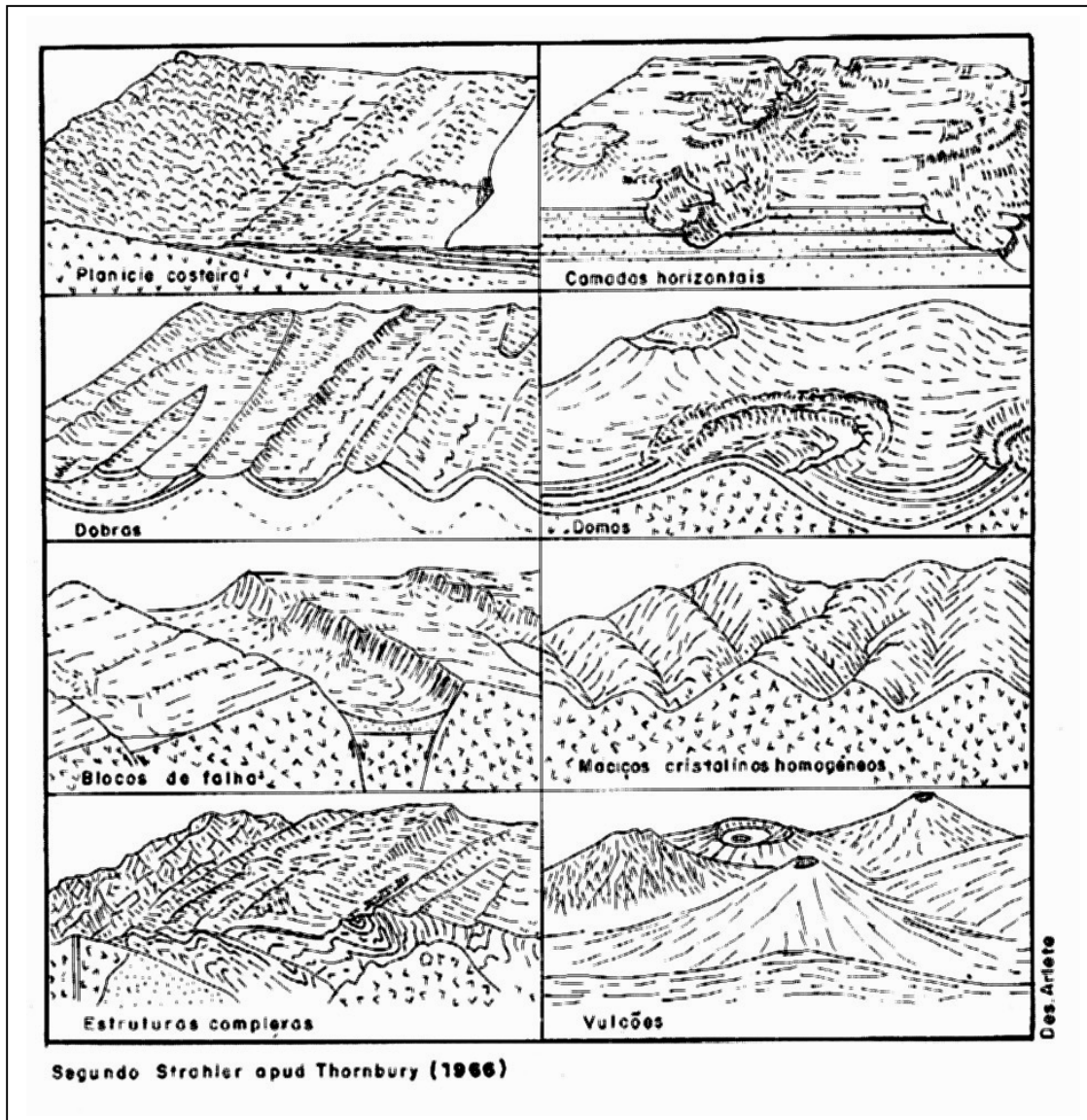


Figura 55: Inter-relação entre a litoestrutura geológica e a paisagem.

O substrato e fundamental na elaboração das formas de relevo como pode ser perfeitamente visualizado em oito ambientes tectônicos distintos. Segundo Strahler apud Thornbury (1966).

Tabela 7 – PADRÕES DE DRENAGEM E FORMAS DE RELEVO

PADRÃO DE DRENAGEM BÁSICO	PADRÃO DE DRENAGEM MODIFICADO	FORMAS DE RELEVO
Dendrítico	Subdendrítico	Chapadões com zonas dissecadas e morros de topo convexo com alto a médio grau de dissecação
	Pinado	Morros com variável grau de dissecação
	Distributário	Leques aluviais e deltas. Sopé de montanhas e zonas costeiras.
Paralelo	Subparalelo	Terreno plano com caimento médio a fraco. Cuesta.
	Colinear	Dunas do tipo <i>Seif</i> . Planícies costeiras
Treliça		Relevo em cristas ou em morros de topo agudo. <i>Hog back</i> .
Retangular		Terrenos intensamente fraturados.
Radial		Cratera, caldeira, astroblema, etc.
Anelar		Morros com formato circular, vulcões, etc.
Multibasinal		Terrenos cársticos, glaciais, planície costeira e deltas.
Palimpsesto		Planícies aluviais em blocos que sofreram basculamentos.
Defluente		Zona de movimentação neotectônica.

Tabela 8 – CONVENÇÕES E ABREVIATURAS UTILIZADAS NA INTERPRETAÇÃO DAS FORMAS DE RELEVO

TABELA VIII
CONVENÇÕES E ABREVIATURAS UTILIZADAS NA INTERPRETAÇÃO
DAS FORMAS DE RELEVO

FEIÇÕES		CONVENÇÕES	
QUEBRA DE RELEVO	Abrupta	-----	
	Gradativa	---///---///---	
TOPO	Plano		
	Agudo	Morros	---_---
		Crista Indiferenciada.	-----
		Crista Simétrica.	+++++
	Crista Assimétrica.	▽▽▽	
Convexo	+++++		
PENDENTE	Vertical	TTTTTTT	
	Ravinada	^ ^ ^	
	Inclinada	n n n	
	Mista	n n n	
VALE	Encaixado	V	
	Fundo Chato	┌┐	
	Transição	┌┐	
OUTROS	Caimento do Topo Plano	-----	
	Depressão	⊕	
	Elevação	◇	
GRAU DE DISSECAÇÃO	Alto ----- > ω_3		
	Médio ----- > ω_2		
	Baixo ----- > ω_1		
ÍNDICE DE DISSECAÇÃO	P_{11}		
	a_{12}		
	CX_{23}		
RESISTÊNCIA À EROÇÃO	Resistente ----- > θ_3		
	Resistência Média ---- > θ_2		
	Pouco Resistente ----- > θ_1		

Observação : Utilizar grafite marron

Fonte : Lima (1995b)

A elaboração de tais níveis de dissecação, por agentes erosivos, pode estar ligada a fatores climáticos, litológicos ou tectônicos, ou a uma conjugação dos mesmos. Sua análise poderá ser feita em conjunto com os elementos de drenagem, e será de grande valia na análise das formas de relevo (Lima, 1995b).

Nascimento & Prates (1976), no levantamento geomorfológico da Folha NA.19 – Pico da Neblina para PROJETO RADAMBRASIL, introduziram importantes modificações na representação das formas dissecadas, através da colocação de dois dígitos, em termos do tipo de topo analisado. O primeiro índice refere-se à extensão da forma, e o segundo ao aprofundamento da drenagem, são considerados como "Índices de Dissecação". Prefere-se, entretanto, adotar aqui uma conotação mais simples na avaliação do grau de dissecação, utilizando-se dois parâmetros: o primeiro com relação à forma do vale, e o outro para o espaçamento entre os mesmos (Lima, 1995b). **Vide Tabela 9.** De acordo com esses índices,

pode-se qualificar, de forma bem generalizada, o grau de dissecação de uma região em baixo, médio e alto.

De outro modo, tais índices de dissecação servirão de referência para a forma de topo dominante, em uma determinada região. Por conseguinte, caso o topo seja principalmente plano, deve-se usar a letra *p*, acrescida dos índices, i.e.: p13. Vide **Tabela 9**.

Após análise relativa ao grau de dissecação pode-se estabelecer, em termos relativos, o grau de resistência à erosão dos litotipos, assim como pode constituir-se em mais um parâmetro na distinção de tipos litológicos.

Tabela 9 – ÍNDICES DE DISSECAÇÃO

FORMA DO VALE	DISTÂNCIA INTERFLÚVIO			GRAU DE DISSECAÇÃO
	< 1,00 (KM)	1,00 – 1,75 (KM)	1,75 – 2,50 (KM)	
FUNDO EM V	11	21	31	BAIXO
TRANSIÇÃO	12	22	32	MÉDIO
FUNDO CHATO	13	23	33	ALTO

Fonte : NASCIMENTO & PRATES (1976)

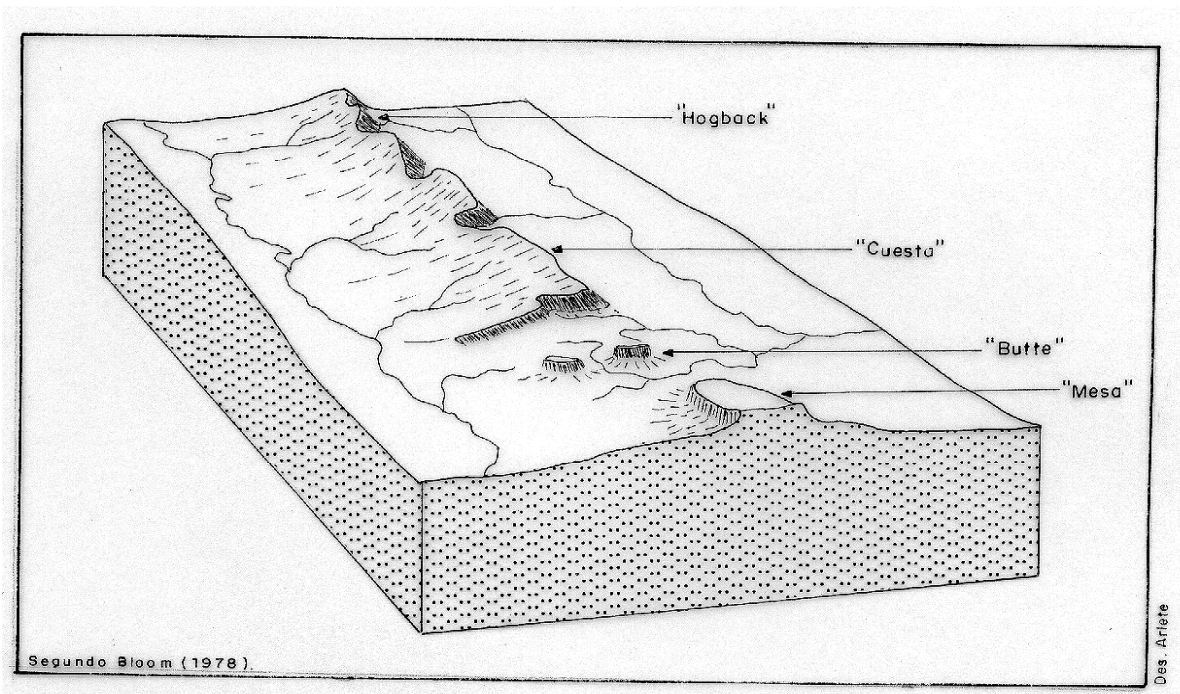


Figura 56: Formas de Relevo associadas a rochas sedimentares.

O ângulo de inclinação das camadas é o fator preponderante, indo desde horizontal (mesa), inclinação média (cuesta) até forte inclinação (hogback). (Bloom, 1978)

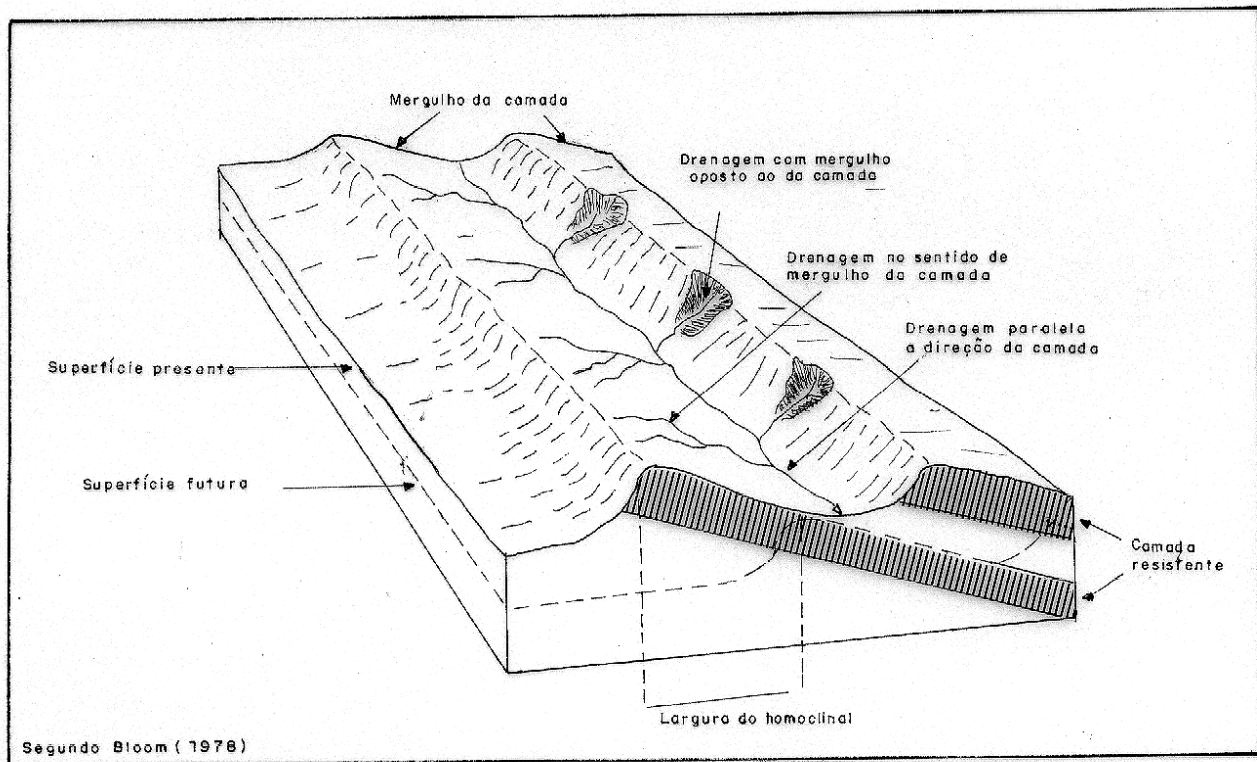


Figura 57: Relação da drenagem com estrutura homoclinal.

A drenagem controlada pelas camadas resistentes e a assimetria são importantes parâmetros na caracterização dessa estrutura (cuesta). Merecendo destacar a sua (zona escarpada) frente e o seu reverso (zona inclinada). Segundo Bloom, 1978.

XV – ESTILOS ESTRUTURAIS

XV.1- Introdução

A inserção do presente capítulo reveste-se de importância, uma vez que visa introduzir o conceito de estilos estruturais, o qual fornecerá subsídios ao intérprete quando da utilização da drenagem na interpretação estrutural. Em outras palavras, procurar respaldar o intérprete na definição de elementos estruturais com base na drenagem, preâmbulo do próximo capítulo Drenagem e a Estrutura Geológica.

O Estilo Estrutural de uma determinada região é definido pelo conjunto de seus elementos-chave, relativos a uma mesma fase tectônica, e pelo seu arranjo espacial característico (Milani, 1990). Segundo Lowell (1985) o estilo de uma região descreve sua geometria estrutural predominante. Deste modo, torna-se importante a definição dos elementos-chave, como guia na identificação do estilo estrutural.

No entanto, tal identificação não é tarefa simples, devido a não-exclusividade de um determinado elemento-chave a uma única assembléia estrutural. Assim sendo, falhas normais ocorrem praticamente em todos os ambientes geotectônicos. Portanto, a sua presença não seria um fator decisivo para a caracterização de um estilo estrutural. Segundo Lowell (op.cit.) a identificação depende de: reconhecimento de elementos-chave; caracterização de peculiaridades locais; e definição do padrão regional das estruturas.

A identificação de elementos-chave é importante na caracterização do regime tectônico, uma vez que fornece indicações importantes sobre o tipo de tensões envolvidas. Por isso, uma distribuição “*en echelon*” terá um significado, ao passo que em “*relay*” terá outro. No primeiro caso os elementos estão paralelos uns aos outros, mas posicionados obliquamente em relação à zona de deformação, existindo também uma superposição lateral consistente entre as estruturas da zona; no segundo, os elementos são paralelos entre si e ao “*trend*” regional de deformação, sendo eventual a superposição lateral entre as estruturas.

A primeira etapa consiste na identificação do campo de tensões, induzidos pela dinâmica interna do planeta que atuaram em determinada região e responsáveis pelos deslocamentos de massas, relativos aos movimentos tectônicos.

As tensões são abordadas com base em um sistema de três eixos dinâmicos σ_1 (sigma 1), σ_2 (sigma 2) e σ_3 (sigma 3) convencionando-se que:

- $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$;
- as tensões compressivas são positivas e as distensivas, negativas.

Deste modo, torna-se mister estabelecer o elipsóide de tensão, cujos eixos principais, perpendiculares entre si, são os eixos dinâmicos.

Os movimentos tectônicos provocam:

mudança de forma (distorção);

- mudança de atitude (rotação);
- mudança de posição (translação); e
- mudança de volume (dilatação), que pode ser negativo ou positivo.

Com base no triedro de esforços compressivos principais, os estilos podem ser classificados em compressional, transcorrente e distensional, conforme a orientação do elipsóide de tensão: no estilo compressional, σ_3 encontra-se na posição vertical, σ_1 e σ_2 em posição horizontal, promovendo um campo de tensões responsável pelo desenvolvimento de falhas de empurrão. (**Figura 58 A**); no estilo transcorrente, σ_2 encontra-se na posição vertical, σ_1 e σ_3 no plano horizontal, dando lugar a falhas de rejeito direcional (**Figura 58B**); e no estilo distensional, σ_1 encontra-se na posição vertical, σ_2 , e σ_3 no plano horizontal, condição para o desenvolvimento de falhas de gravidade (**Figura 58C**)

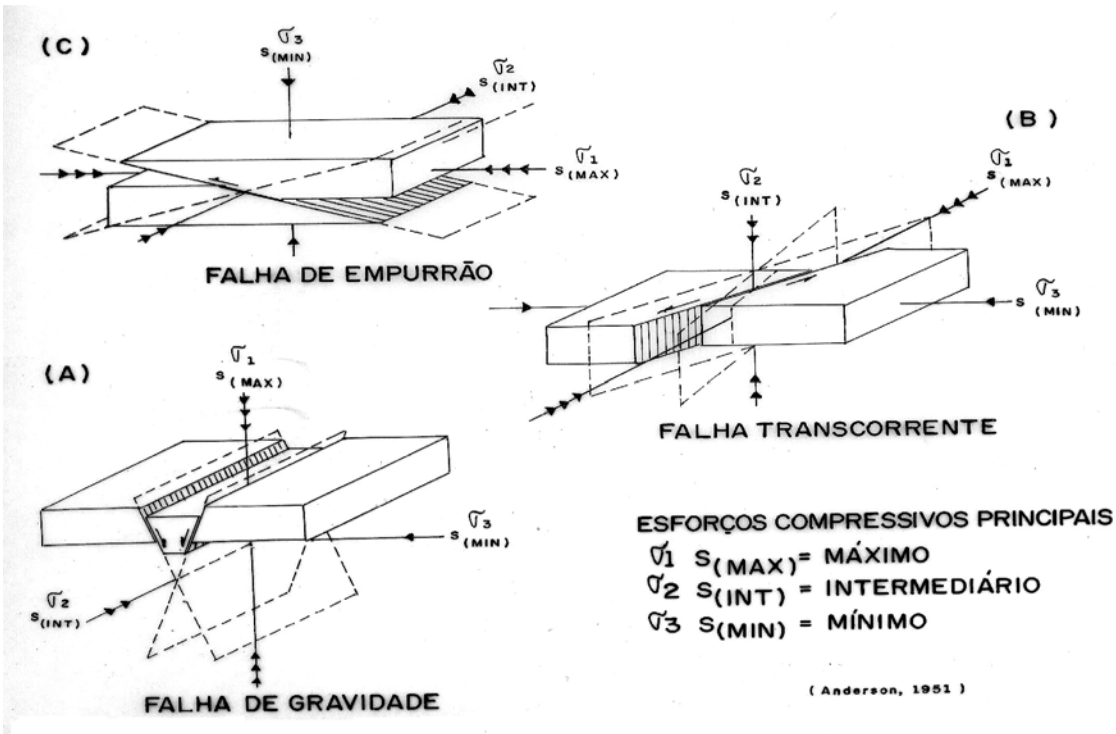


Figura 58: Esforços Compressivos e Estilos Estruturais.

Falhas de empurrão, gravidade e transcorrente e suas relações com os sigmas. (Anderson, 1951). Nas falhas de empurrão e transcorrente o esforço compressivo máximo é horizontal, diferindo apenas na posição dos esforços compressivos médio e mínimo. Por sua vez, na falha de gravidade o esforço compressivo máximo é vertical.

XV.2 – Estilo Compressional

No Estilo Compressional a estrutura mais fotogênica é a dobra, cujo plano axial pode ser vertical, inclinado e horizontal, dependendo de Sigma 1, aos quais se associam falhas de empurrão. Assim sendo, o encurtamento e o soerguimento crustais em função da compressão do plano horizontal são dissipados segundo o eixo vertical. Associadas às estruturas dobradas estão presentes falhas Transferentes, que servem apenas para acomodação de movimentações diferenciais, constituindo superfícies de cisalhamento nulo, com significado distinto das falhas Transcorrentes.

Os estilos estruturais compressivos envolvem movimentos horizontais, cujos limites são denominados de rampas que, de acordo com seu posicionamento em relação ao deslocamento principal, são cognominadas de frontais, oblíquas e laterais (**Figuras 59 e 60**). O primeiro, é essencialmente horizontal; o segundo combinado, horizontal e direcional, que é o mais comum nos cinturões móveis; enquanto o último é principalmente direcional.

Uma das características dos sistemas compressivos é o desenvolvimento de uma série de fatias ou escamas, que se empilham umas sobre as outras, com as conseqüentes inversões estratigráficas, limitadas por zona de cisalhamento. Tais fatias são, constantemente, de baixo ângulo. Ângulos superiores a 10 graus mostrarão feições semelhantes a homoclinais. A **Figura 61** exemplifica as feições mais conspícuas de uma zona de cavalgamento através do *Patamar* e da *Rampa*. Além disso, devem

ser identificadas as estruturas mais características deste sistema: *quilha*, *feição triangular* e os *dúplexes* (Hasui & Costa, 1991), expostas na **Figura 62**.

Os litotipos geralmente associados aos sistemas de alto ângulo, são da classe das rochas metamórficas, em especial metassedimentos de fraco a baixo e de baixo a médio graus metamórfico. Para os sistemas estruturais compressivos de baixo ângulo é comum o aparecimento de rochas catazonais.

Os principais critérios para a identificação de sistemas litoestruturais compressivos, em imagens de sensoriamento remoto são:

- grande incidência de feições planares (foliação) nos sistemas compressivos de baixo a médio ângulo;
- grande incidência de feições lineares (lineamento) e planares (foliação) nos sistemas compressivos de alto ângulo;
- convergência e divergência de feições planares (foliação) relativos à quilha e feições triangulares;
- feições planares (foliação) invertidas;
- sigmóides desenhados por feições lineares;
- presença de falhas de empurrão, tipificadas por discontinuidades, associadas a feições planares (foliação, clivagem, acamamento), com mergulho sempre com o mesmo sentido.

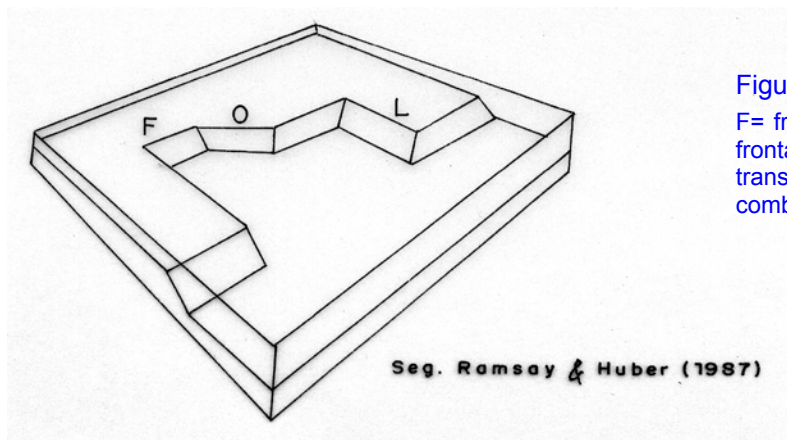


Figura 59: Rampas.

F= frontal; O = oblíqua; L = lateral. A inclinação varia. Nas frontais desenvolvem-se cavalgamentos; nas laterais transcorrências; nas oblíquas o movimento combinado. (Ramsay & Huber, 1987).

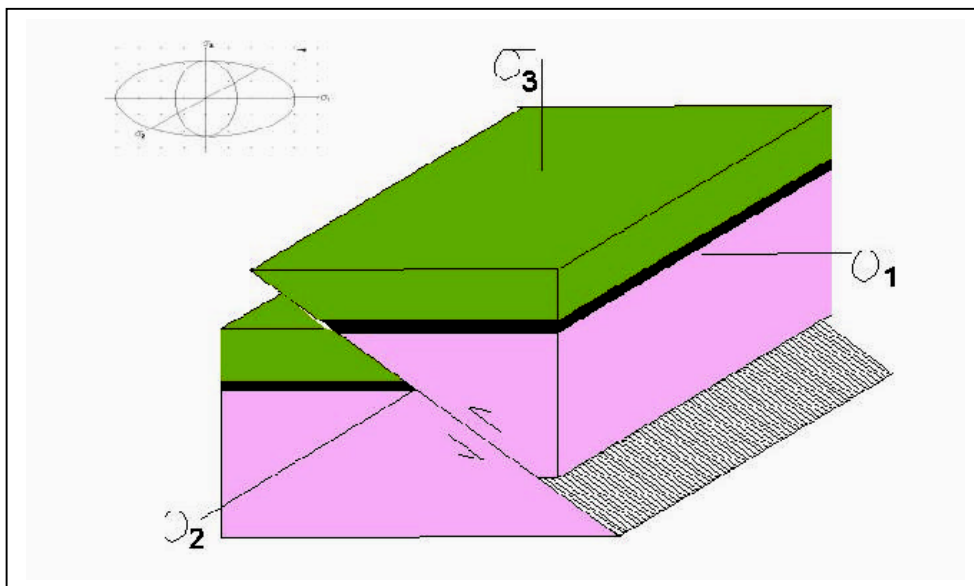
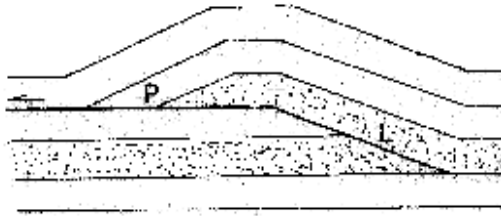


Figura 60 - Relação entre os eixos de tensão no estilo compressional.

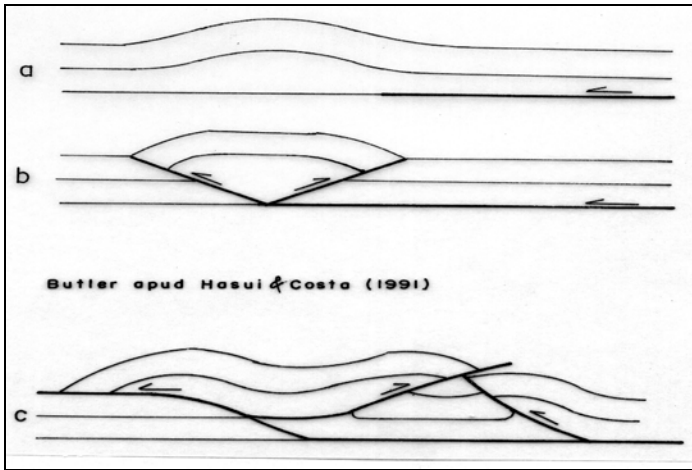
Sigma 1 e Sigma 2 são horizontais e Sigma 3 é vertical. Vide diagrama no canto superior esquerdo.



Butler apud Hasui & Costa (1991)

Figura 61: Zona de Cavalgamento.

P = patamar ou degrau; L = lanço ou rampa. Butler apud Hasui & Costa (1991)



Butler apud Hasui & Costa (1991)

Figura 62: Pop up e Zona Triangular.

A falha em propagação tem o movimento bloqueado (a) e há o desenvolvimento de um lanço; com um retrocavalgamento forma-se o pop up (b). Em (c) desenvolvem-se os cavalgamentos para a esquerda e com o retrocavalgamento constituem-se o pop up e a zona triangular. (Butler apud Hasui & Costa, 1991).

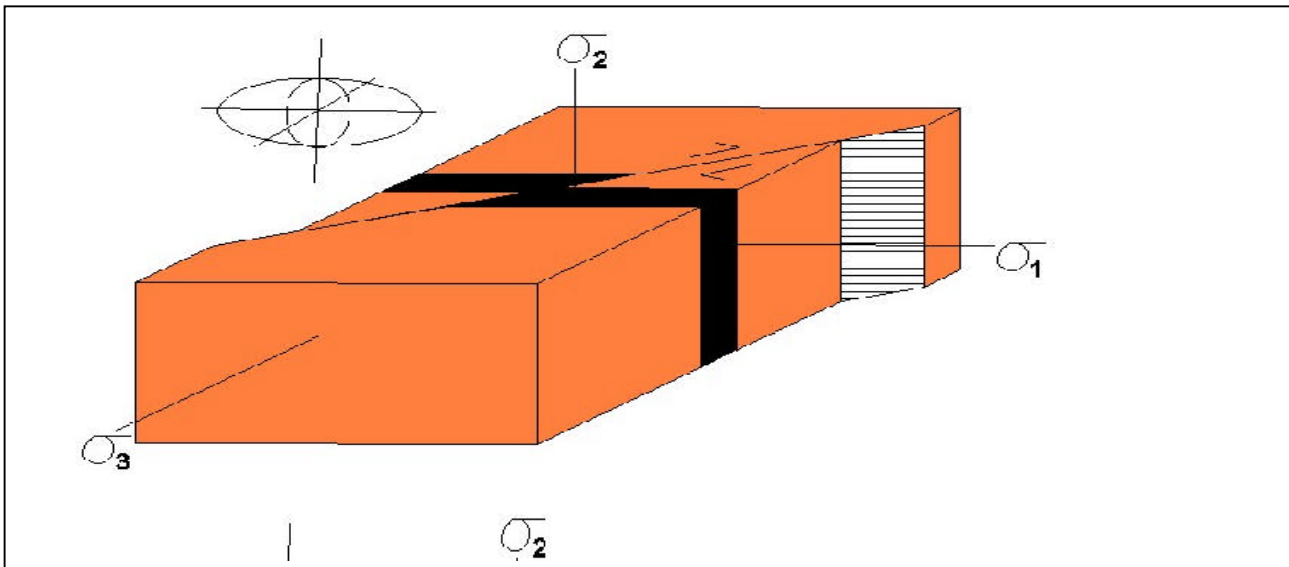


Figura 63 - Relação entre os eixos de tensão no estilo direcional.

Sigma 1 e Sigma 3 são horizontais e Sigma 2 é vertical. Vide diagrama no canto superior esquerdo.

XV.3 – Estilo Direcional

As estruturas sigmoidais, típicas deste estilo, baseiam-se na atuação de um binário cisalhante (irrotacional ou puro e rotacional ou simples) que pode ser destralo ou sinistral (**Figura 63**). No primeiro caso o bloco da direita movimenta-se na direção do observador, enquanto o outro se afasta e, no segundo caso, ocorre o inverso, considerando-se que o observador esteja colocado de frente para os blocos. Vide **Figura 66**.

A **Figura 64** apresenta as fraturas típicas associadas ao cisalhamento puro e a **Figura 65** as do cisalhamento simples. O primeiro caso praticamente inexistente na natureza, ocorrendo apenas em zonas bem localizadas. Em trabalhos de campo e em produtos de sensores remotos a distinção de tais elementos constitui importante subsídio na caracterização de sua cinemática.

Ao longo de um plano de falha transcorrente a movimentação relativa entre os blocos pode se dar de três maneiras: paralela, convergente ou divergente. No primeiro caso o traço de falha teria que ser rigorosamente reto, fato pouco comum. As situações mais usuais são as convergentes ou divergentes entre os dois blocos adjacentes, caracterizando condições de transpressão e transtensão, respectivamente (**Figuras 66, 67 e 68**) (Harland, 1971). Sob condições de transpressão, originam-se estruturas compressoriais tais como *pop-ups*, falhas reversas, dobras e blocos soerguidos, enquanto que a transtensão promove a subsidência de blocos por meio de falhas normais, dando lugar às bacias tipo *pull-apart* ou rombóide.

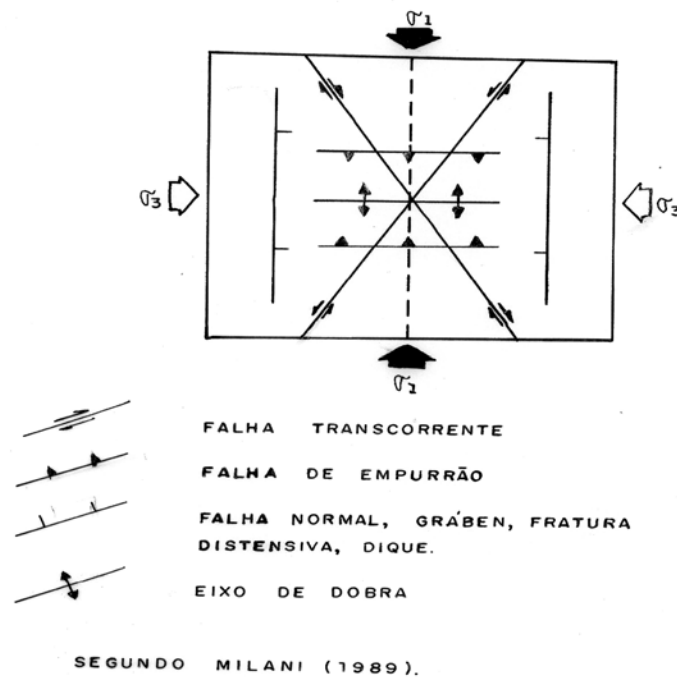


Figura 64: – Características Geométricas de um Cisalhamento Puro (Irrotacional). Segundo Milani (1989).

Perpendicular ao compressivo máximo (σ_1) desenvolvem-se os eixos de dobras e falhas de empurrão, assim como falhas transcorrentes de forma oblíqua compondo um binário. As falhas normais seriam perpendiculares ao eixo compressivo mínimo (σ_3).

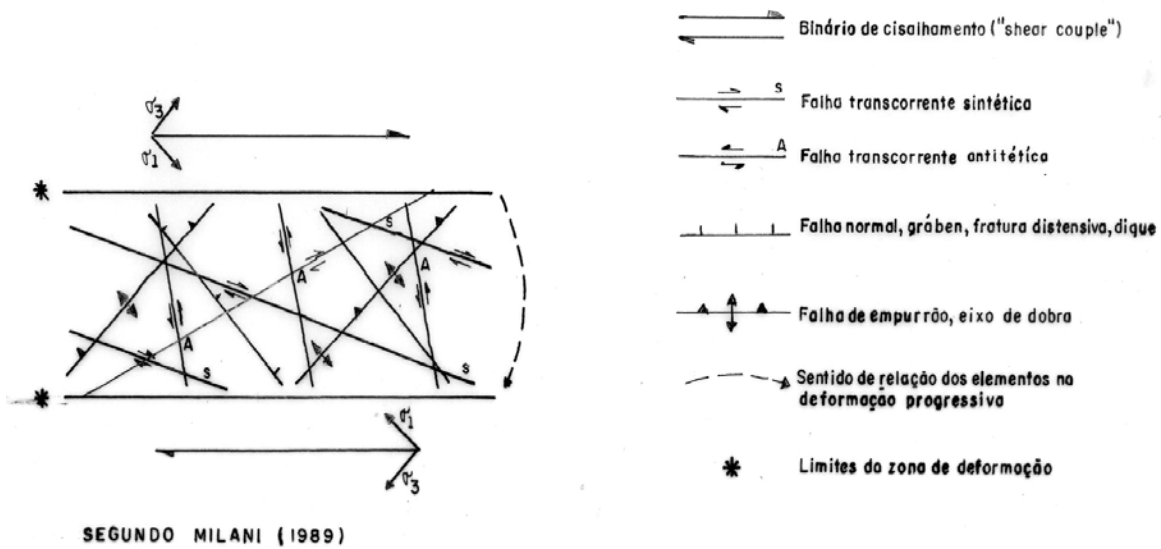


Figura 65: Características Geométricas de um Cisalhamento Simples (Rotacional). Segundo Milani, 1989.

Para um binário destal, formam-se as falhas de empurrão e eixo de dobra perpendiculares a σ_1 , assim como perpendiculares a σ_3 as falhas normais e grabens. Falhas transcorrentes sintéticas (s) e antitéticas (A) dispõem-se oblíquas ao binário.

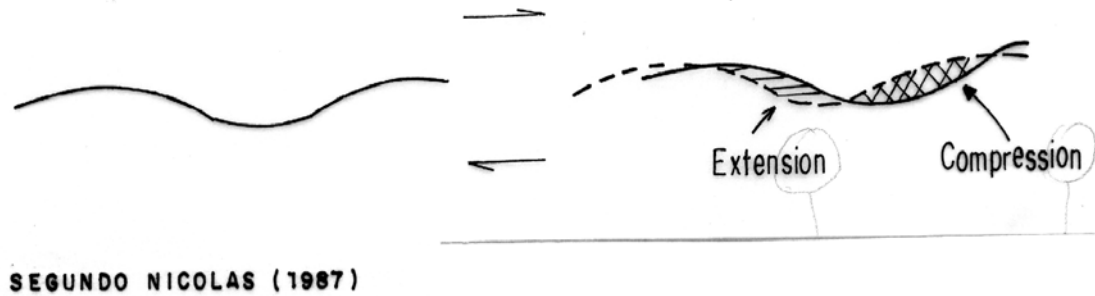


Figura 66: Zonas Transpressivas e Transtensivas.

Setores distensivo e compressivo ao longo de uma falha de superfície curva (Nicolas, 1987). Atentar para a zona de extensão (extension) e compressão (compression), consoante a movimentação destalora apresentada. No caso de uma movimentação sinistral haveria uma inversão.

Os sistemas litoestruturais direcionais envolvem movimentos horizontais, cujo traçado pode ser linear ou curvo, e o mergulho comumente vertical e de caráter destalou sinistral. As principais feições associadas são (Hasui & Costa, 1991):

- encurtamento e estiramento de blocos;
- desnivelamento de blocos;
- raro magmatismo;
- fraco metamorfismo; e
- rejeitos diversamente orientados das dobras e empurrões.

As principais estruturas resultantes são:

- estrutura em flor;
- estrutura em rabo de cavalo;
- dúplexes; e
- dobras e/ou fraturas " en echelon ".

Os sistemas litoestruturais direcionais se associam principalmente com rochas metamórficas de baixo a alto grau, sendo, no entanto, freqüente sua associação com rochas ígneas e sedimentares no Nível Estrutural Superior.

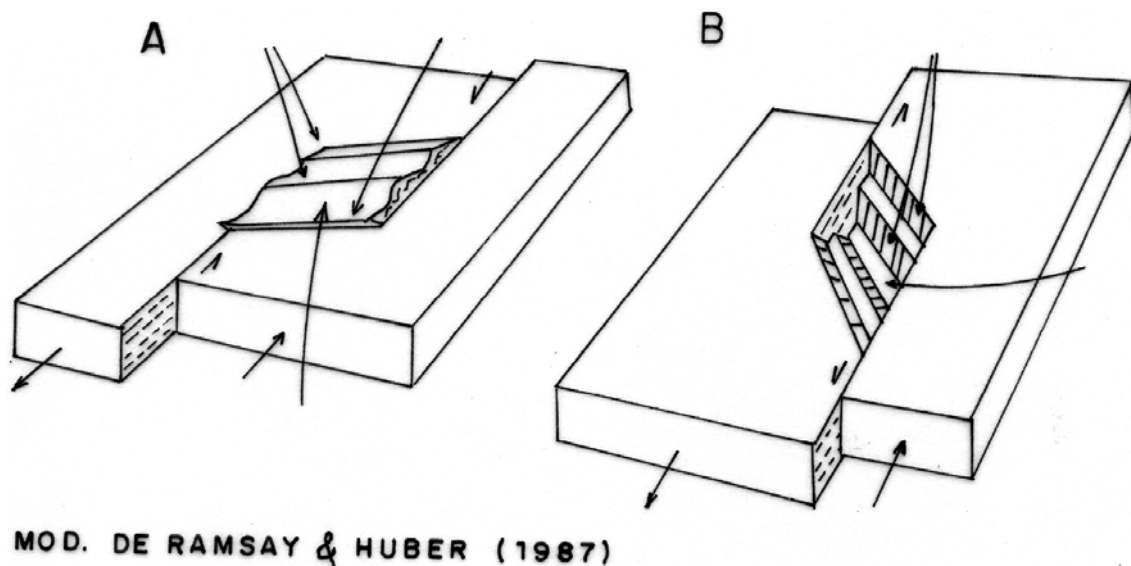
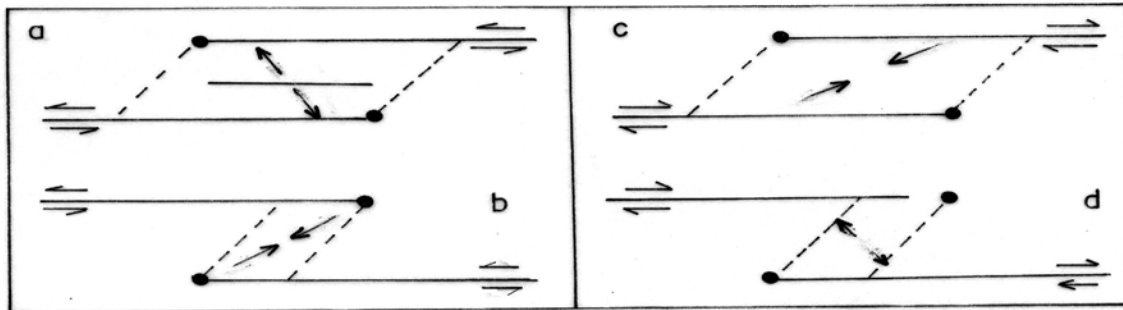


Figura 67: Zonas de Transpressão e Transtensão.

A) Região soerguida formada em zona transpressiva por escalonamento à direita de falhas ou zonas de cisalhamentos sinistrais. B) bacias pull-apart formada em zonas transtensivas por escalonamento à direita de falhas ou zonas de cisalhamentos sinistrais. No caso de movimentação destalocorre o inverso. (Ramsay & Huber, 1987).



SEGUNDO HASUI & COSTA (1991)

Figura 68: Recobrimentos e Zonas de Transtensão e Transpressão.

O observador na extremidade de uma falha vê a extremidade de outra à esquerda (a, c) ou à direita (b, d). Em zonas de cisalhamento sinistral, recobrimento à esquerda gera transtensão (a) e à direita, transpressão; se dextral, a regra é ao contrário. (Hasui & Costa, 1991). Comparar com as Figuras 62 e 63.

Os principais critérios para identificação dos sistemas litoestruturais direcionais são:

- associação de dobras "en echelon" com feições lineares (lineamento);
- feições lineares com terminação em "rabo de cavalo";
- existência de feições lineares anastomosadas (dúplexes);
- feições lineares em forma de amêndoas ou romboedros;
- feições lineares e planares tipificando uma "estrutura em flor".

As principais feições estruturais ligadas aos sistemas direcionais são:

- falhas simples;
- falhas secundárias e fraturas;
- estruturas em "rabo de cavalo" (*horse tail*);
- dobras;
- bacias de afastamento (*pull-apart*);
- bacias em forma de cunha;
- dúplexes; e
- estruturas *sidewall ripout*.

As *Falhas Simples* desenvolvem-se em sistemas onde blocos adjacentes deslizam um sobre o outro, quando o movimento direcional é preponderante (**Figura 69**).

As *Falhas Secundárias e Fraturas* correspondem a conjuntos de diferentes orientações, as quais estão temporalmente relacionadas com a falha principal. Seis conjuntos de fraturas assimétricos são definidos: R, R', T, X, P e Y (**Figura 70**).

Falhas em Rabo de Cavalo (Horse Tail) são feições associadas com terminações de falhas direcionais, que podem ser de caráter distensivo ou compressivo (**Figura 72**).

Dobras en Echelon estão arranjadas em disposição oblíqua a direção principal do deslocamento horizontal.

Estruturas Pull-apart são desenvolvidas em consequência da transtensão oblíqua aos segmentos ou deslocamentos devidos a falhas direcionais.

Estruturas em Cunha (Wedge Shape Basin) são um tipo especial de bacia de afastamento em forma de cunha como resultado da depressão tectônica, em regiões de falhas entrelaçadas e/ou, anastomosadas (**Figura 67**).

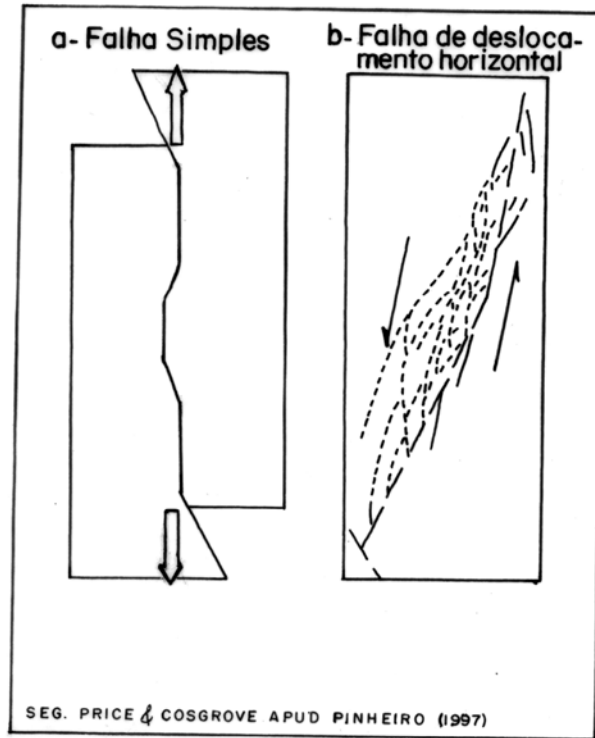


Figura 69: Falha Simples e Zona de Falha Direcional.

Em a e b pode-se observar a diferença fundamental entre ambas. Segundo Price & Cosgrove apud Pinheiro (1997).

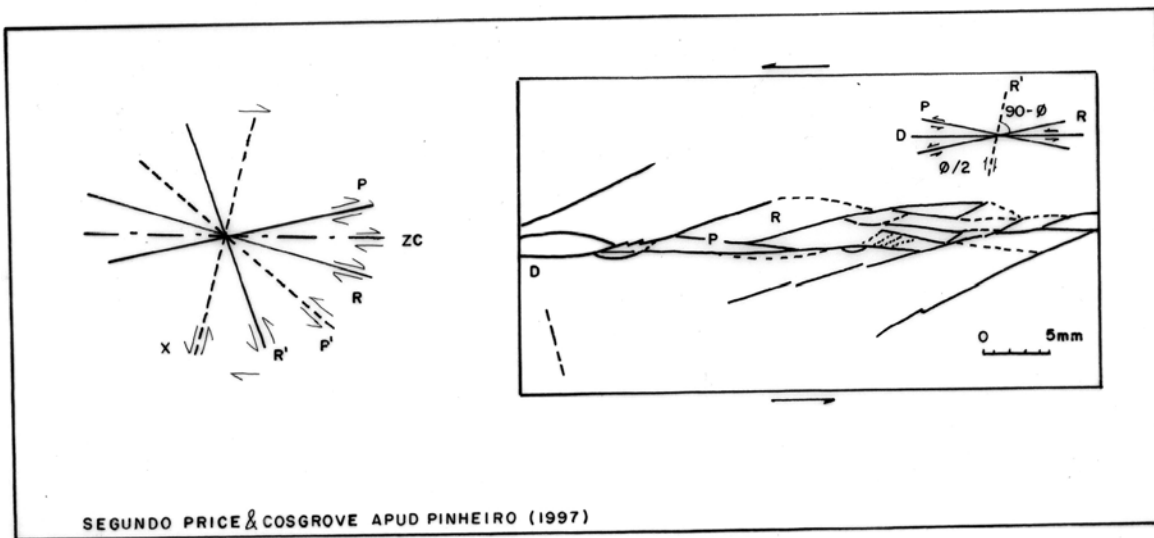


Figura 70: Falhas Secundárias e Fraturas.

Atentar para a presença de R, R', P e P' dentro de uma ZC (zona de cisalhamento). Segundo Price & Cosgrove apud Pinheiro (1997). Comparar com a Figura 61

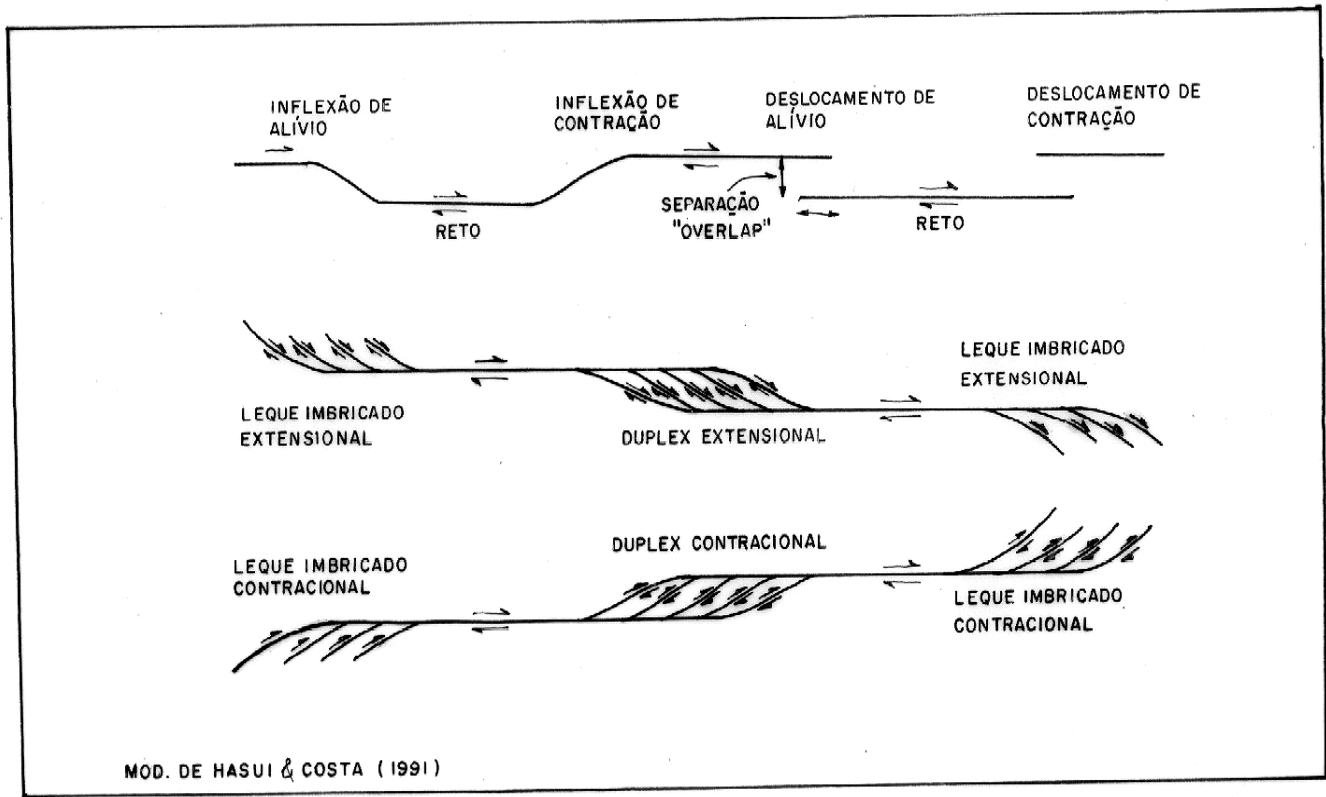
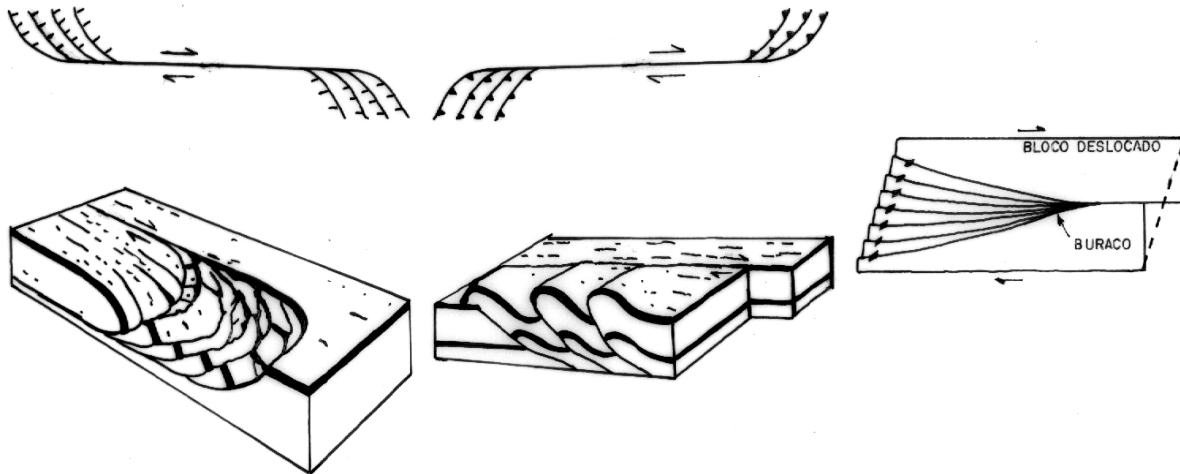


Figura 71: Dúplexes Direcionais e Terminações de Leques Imbricados.

Dependendo da movimentação, dextral ou sinistral, e da curvatura, côncava ou convexa, poderá ocorrer uma transpressão ou uma transtensão. Modificado de Hasui & Costa, 1991. Para uma movimentação sinistral as curvaturas côncavas para cima serão extensionais por que haverá uma inflexão de alívio, provocando a formação de leque imbricado extensional; em uma inflexão de contração as curvaturas convexas para cima, provocarão o desenvolvimento de um dúplex contracional. Para a movimentação dextral ocorrerá o inverso.

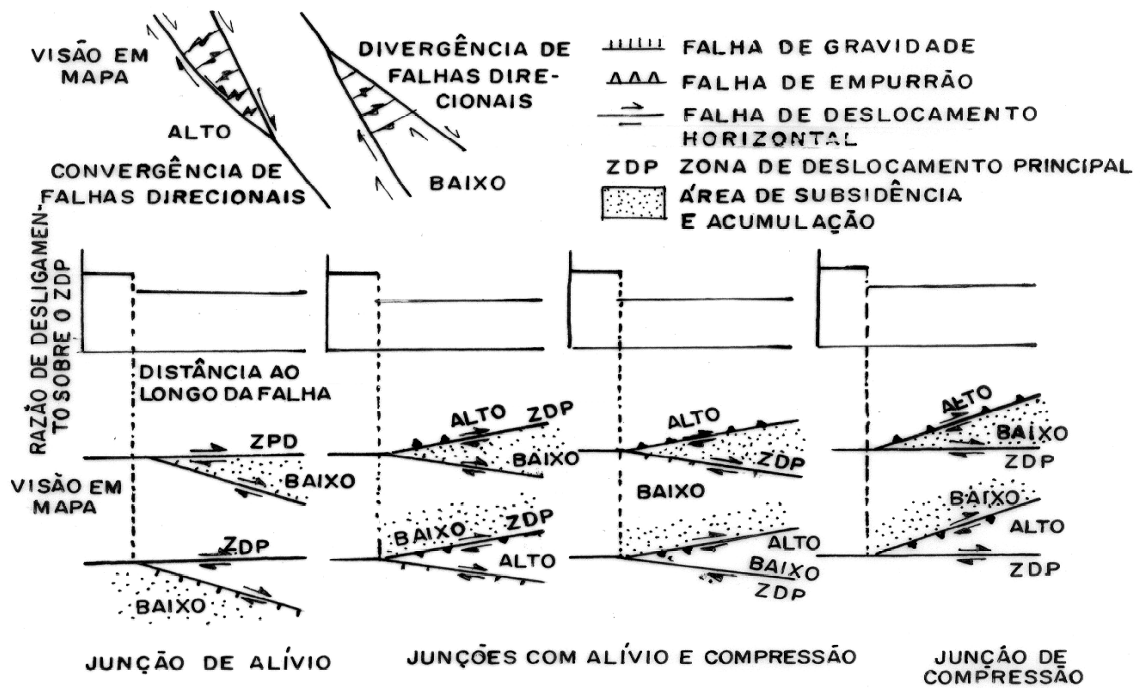
ESTRUTURAS DO TIPO "RABO DE CAVALO" (Horsetail)



SEGUNDO TWISS & MOORE APUD PINHEIRO (1997)

Figura 72: Estruturas do tipo Rabo de Cavalo (Horsetail).

Tais estruturas podem ser compressivas ou distensivas. É uma aplicação da Figura anterior. Segundo Twiss & Moore apud Pinheiro, 1997.



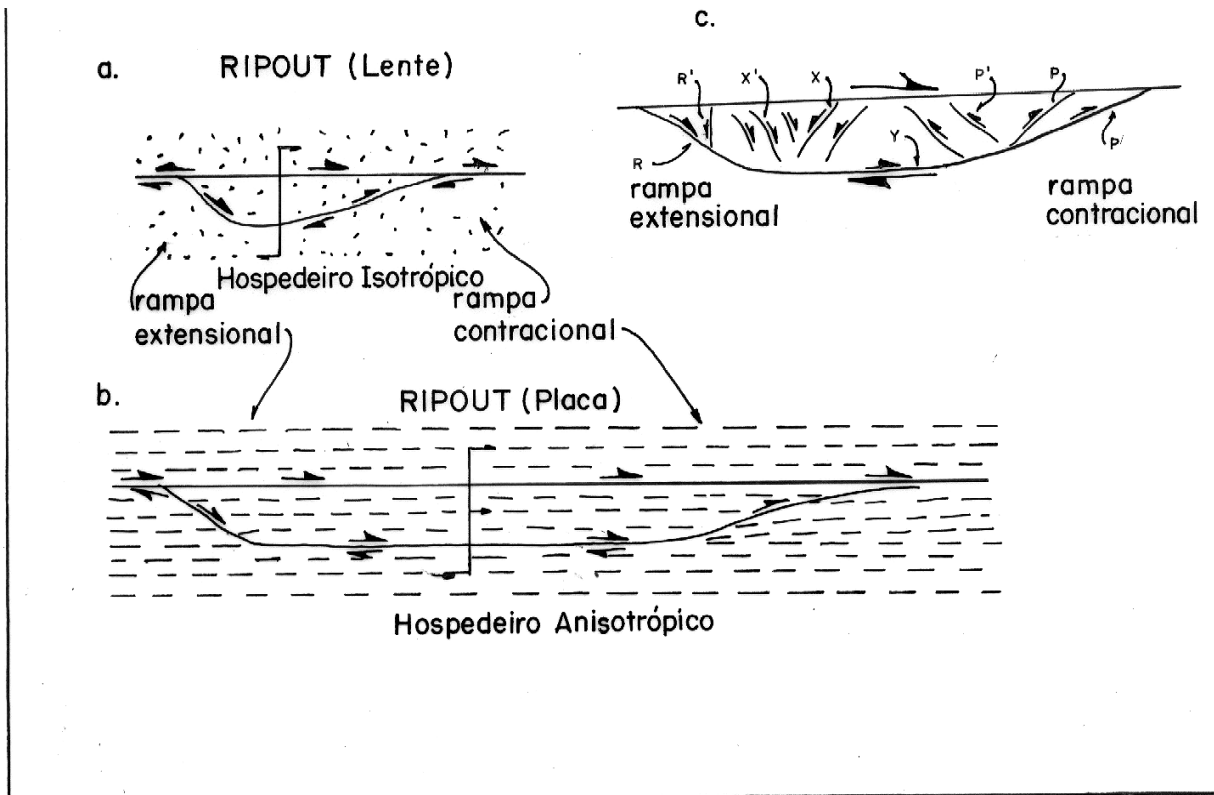
Seg. Christle Blick & Biddle, 1985

Figura 73: Estruturas em Cunha. Junções do tipo distensivo e compressivo, e combinados. Segundo Christle Bick & Biddle, 1985.

As subsidências e elevações irão ocorrer de acordo com as movimentações, se convergentes ou divergentes.

Dúplex refere-se a um conjunto de falhas que convergem tanto para cima como para baixo para uma única falha de teto ou de muro.

Estruturas Sidewall Ripout são jogos de falhas arqueadas ou lístricas que cortam faixas alongadas ou lentes assimétricas das paredes laterais adjacentes à falha direcional (**Figura 70**).



Mod. de Pinheiro (1997)

Figura 74 : Estrutura Side Wall Ripout. Perfil (a e b) e planta (c).

Modificado de Pinheiro, 1997. Constituem uma série de falhas arqueadas ou lístricas que cortam faixas alongadas ou lentes assimétricas das paredes laterais adjacentes à falha direcional.

XV.4 – Estilo Distensional

Os sistemas litoestruturais distensivos (**Figura 75**) envolvem movimentos verticais, resultando em formas de relevo elevadas e abatidas, limitadas por zonas de cisalhamento normais. As feições mais comuns são falhas de gravidade (sintéticas e antitéticas), dispostas em padrão lístrico ou dominó, sendo o padrão lístrico caracterizado pelo volteio ("roll over"), cuja forma em superfície é a de uma antiforma (Hasui & Costa, 1991). Vide **Figura 76**.

As falhas normais, em um sistema distensional, podem assumir geometria planar ou lístrica. As planares geram problemas de acomodação ao se prolongarem em profundidade, uma vez que, ao rotacionarem, os blocos produzem o efeito dominó, deixando vazios em sua porção basal, que são preenchidos por brechação, catáclase ou fluxo de material. Por sua vez, a geometria lístrica acomoda progressivamente a distensão crescente com a profundidade, deitando-se paulatinamente até alcançar a posição horizontal. Uma característica é a rotação que produzem nos estratos do teto (bloco baixo),

principalmente na região próxima à zona do falhamento, criando a feição conhecida com *rollover* (arrasto reverso) (**Figura 76**).

Em termos espaciais, as falhas normais podem ser sintéticas e antitéticas, pelo fato de terem seu plano com pendente no sentido do mergulho regional da bacia ou contra ele, respectivamente.

O sistema litoestrutural distensivo ocorre comumente em rochas sedimentares, compondo, muitas vezes, cinturões de grande amplitude.

Os principais critérios, em imagens de sensoriamento remoto, para identificação dos sistemas litoestruturais distensivos são:

- formas de relevo elevadas e abatidas, intimamente associadas;
- quebra de relevo retilíneo e grande incidência de feições lineares negativas associadas;
- padrão de drenagem retangular;
- mudança brusca dos padrões texturais; e
- os critérios acima descritos, desde que associados a lineamentos de grande extensão.

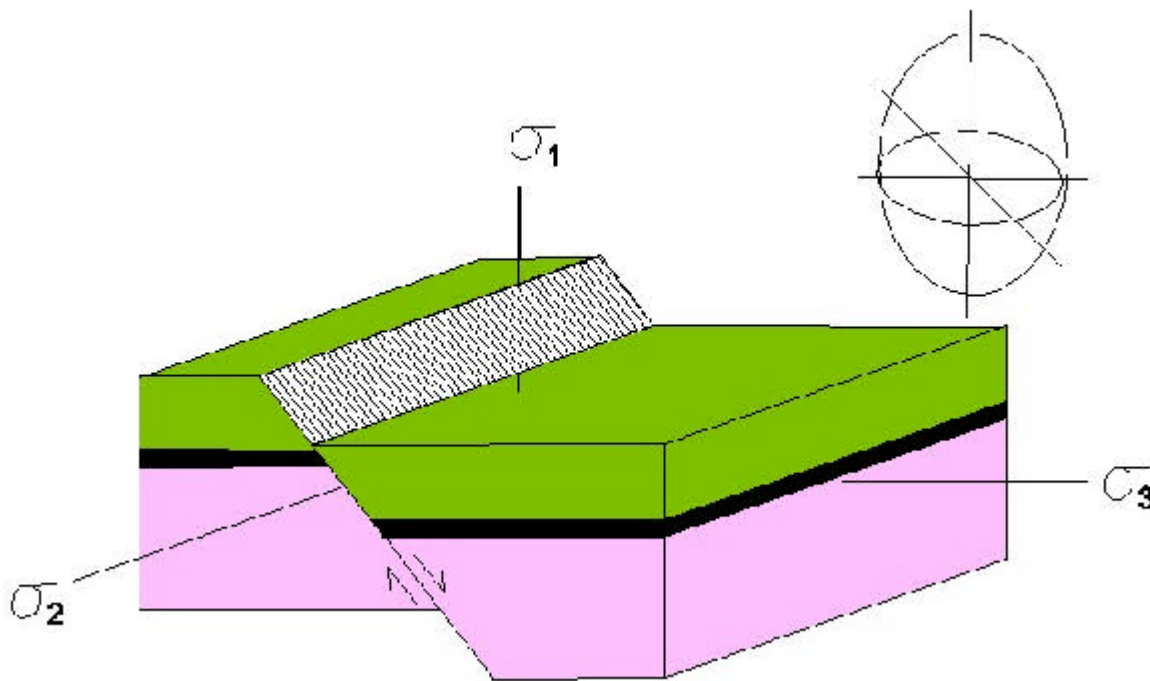


Figura 75 - Relação entre os eixos de tensão no estilo distensional. Sigma 2 e Sigma 3 são horizontais e Sigma 1 é vertical.

Vide diagrama no canto superior direito.

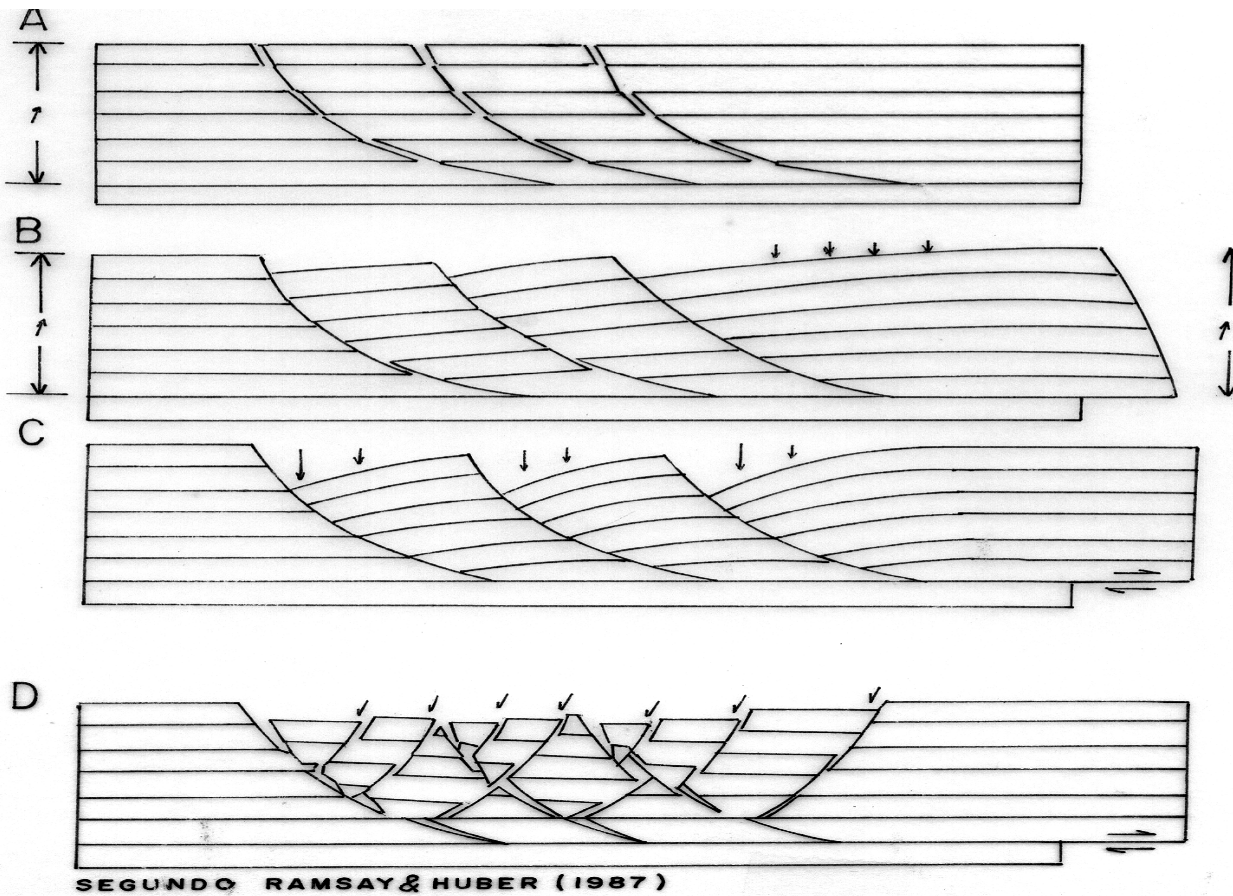


Figura 76: Modelos da Falhas Normais Lítricas.

A - posição inicial do plano de falha; B - subsidência vertical dos planos de falha ligadas a uma zona de deslocamento basal; C- modificação de cada bloco lítrico desenvolvendo roll-over antiformal no teto por deslizamento flexural ou algum mecanismo de fluxo flexural; D - desenvolvimento de falhas lítricas conjugadas ao principal feixe de falhas lítricas (Ramsay & Huber, 1987)

XVI – DRENAGEM E A ESTRUTURA GEOLÓGICA

Quase sempre existe uma convivência entre a drenagem e a estrutura geológica, uma vez que aquela implanta-se em zonas de fraqueza, e esta, em sua maioria, é controlada por alguma estrutura geológica, como seja: fraturas, juntas, falhas, discordâncias, eixo e flanco de dobras, interface litológica, acamamento, foliação, lineação, lineamentos, etc.

Portanto, torna-se importante determinar o condicionamento da drenagem e seus padrões com a estrutura geológica. Com relação a esta, os cursos de água podem ser classificados em (**Figura 77**):

- conseqüentes;
- subseqüentes;
- reseqüentes;
- obseqüentes; e
- inseqüentes;

Conseqüente é o rio que tem seu curso controlado pelo sentido do mergulho de uma estrutura planar primária ou secundária, seja ela tectogênica ou não, e que nem sempre coincide com o pendor do terreno. O caráter planar da estrutura geológica pode ser um plano de fratura, junta ou mesmo de falha, ou então planos sob a forma de acamamento ou foliação.

Subseqüente é o rio cujo curso desenvolve-se ao longo de linhas de fraqueza, tais como: fratura, contato entre litotipos, discordâncias, etc., sendo por isso mesmo também chamado de rio direcional. É um rio que apresenta controle estrutural ou estratigráfico. Geralmente, o perfil transversal de seus vales é assimétrico.

Reseqüente é o rio que apresenta seu curso disposto no mesmo sentido da drenagem conseqüente, mas em um nível topográfico inferior, sendo geralmente afluente de um rio subseqüente.

Obseqüente é o rio que corre em direção oposta à drenagem conseqüente da área, e, portanto, em sentido contrário às estruturas planares tectogênicas ou não de uma dada região.

Inseqüente é o rio que não se apresenta, aparentemente, controlado por qualquer parâmetro geológico, seja ele de caráter estrutural, litológico ou estratigráfico.

A drenagem pode também ser classificada com relação as principais estruturas geológicas de uma região em:

- superimposta; e
- antecedente.

Superimposta é a drenagem que estabelece seu curso cortando as estruturas geológicas já existentes, sendo, portanto, mais jovem do que as mesmas.

Antecedente é a drenagem que teve seu curso preservado, apesar das novas estruturas que foram criadas. É mais antiga do que as mais recentes estruturas implantadas na área.

A **Figura 78**, conforme Oberlander (1985), retrata os diversos estágios de desenvolvimento da drenagem nas Montanhas Zagros (Irã), em rochas sedimentares dobradas, nas quais é evidente a presença dos tipos de drenagens superimposta e antecedente, em várias etapas de seu desenvolvimento.

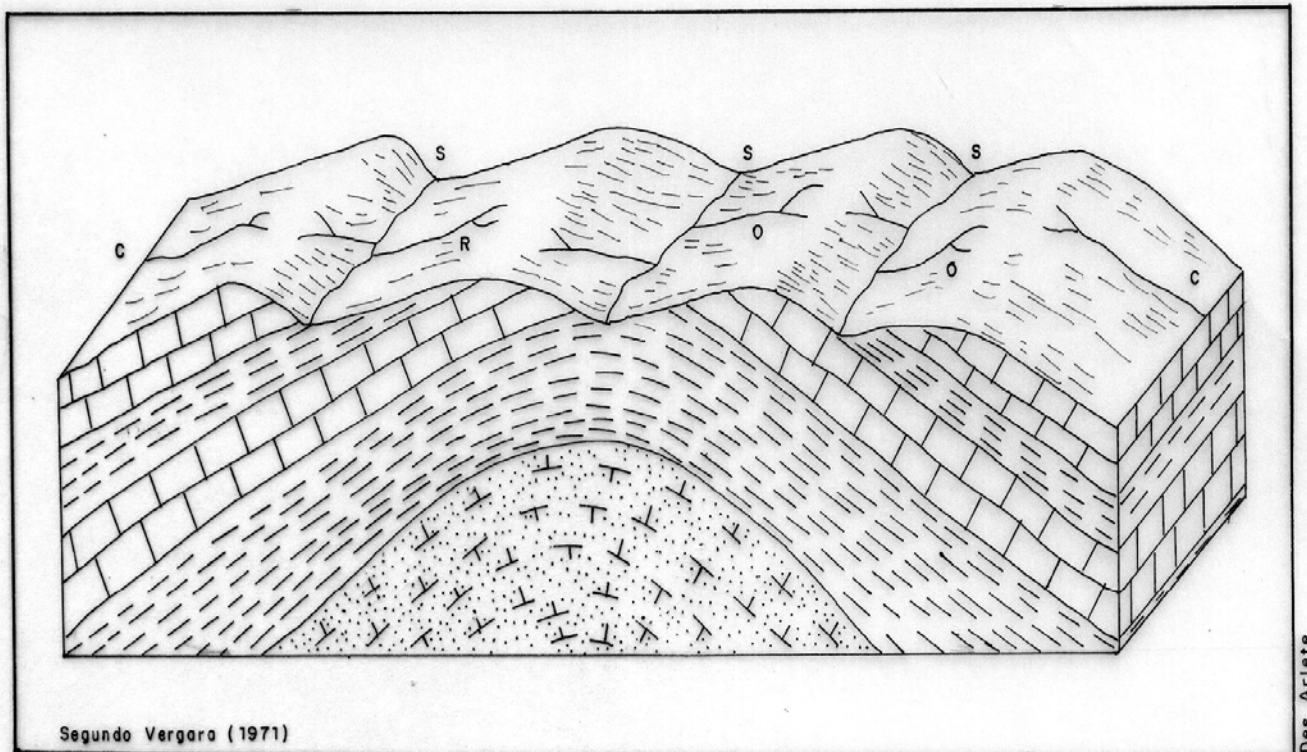


Figura 77: Estrutura Geológica e a Drenagem.

Subseqüente, Conseqüente, Obseqüente e Reseqüente são as drenagens relacionadas a uma estrutura geológica. Segundo Vergara, 1971.

A **Figura 79** refere-se ao lêmén do Sul, localizado na porção sul da península Arábica, e retrata a porção do Platô Hadhramuth, sustentado por sedimentos do terciário inferior que mergulham para norte em direção à bacia de *Rub' al Kalhi*. Tais sedimentos representam a transgressão do Paleoceno que acolheu uma seqüência de calcários, a Formação Jeza, coberta por uma seqüência evaporítica, a Formação Rus. Estas duas unidades mostram extensa exposição e um padrão muito diferente de dissecação e erosão. No Platô Hadhramuth estão presentes anticlinais e sinclinais de grande amplitude. A drenagem principal, o rio Al Masiah, flui ao longo do eixo de uma sinclinal. O padrão dendrítico do platô é modificado para um padrão treliça na parte inferior da mesma, refletindo a presença de amplas dobras.

A **Figura 80** exemplifica a relação da drenagem, a topografia e a inclinação de camadas, em termos do traçado de seu contato, conhecida na literatura como a Regra dos V's. Esta regra é de suma importância na elaboração de mapas geológicos.

XVII - MORFOESTRUTURAS

O termo morfoestrutura foi introduzido por Gerasimov *apud* Gerasimov & Mescherikov (1968), que propôs, através de análises geomorfológicas, a divisão das formas de relevo em três principais categorias genéticas: geotexturas, morfoestruturas e morfoesculturas. As primeiras correspondem às feições maiores do relevo terrestre (maciços continentais, bacias oceânicas, etc.). Os elementos das morfoestruturas complicam as formas das geotexturas. As morfoestruturas são afetadas por formas menores, os elementos das morfoesculturas.

Segundo Gerasimov & Mescherikov (1968) as morfoestruturas são formas da superfície terrestre produzidas pela interação de forças endógenas e exógenas, sendo reveladas pelas formas principais do relevo da Terra (cadeias de montanhas, bacias intermontanas, planaltos, depressões, etc.). No entanto, feições de relevo relativamente menores com anticlinais, bacias, domos, arqueamentos, falhas e outros elementos topográficos formados diretamente por movimentos tectônicos, também constituem morfoestruturas.

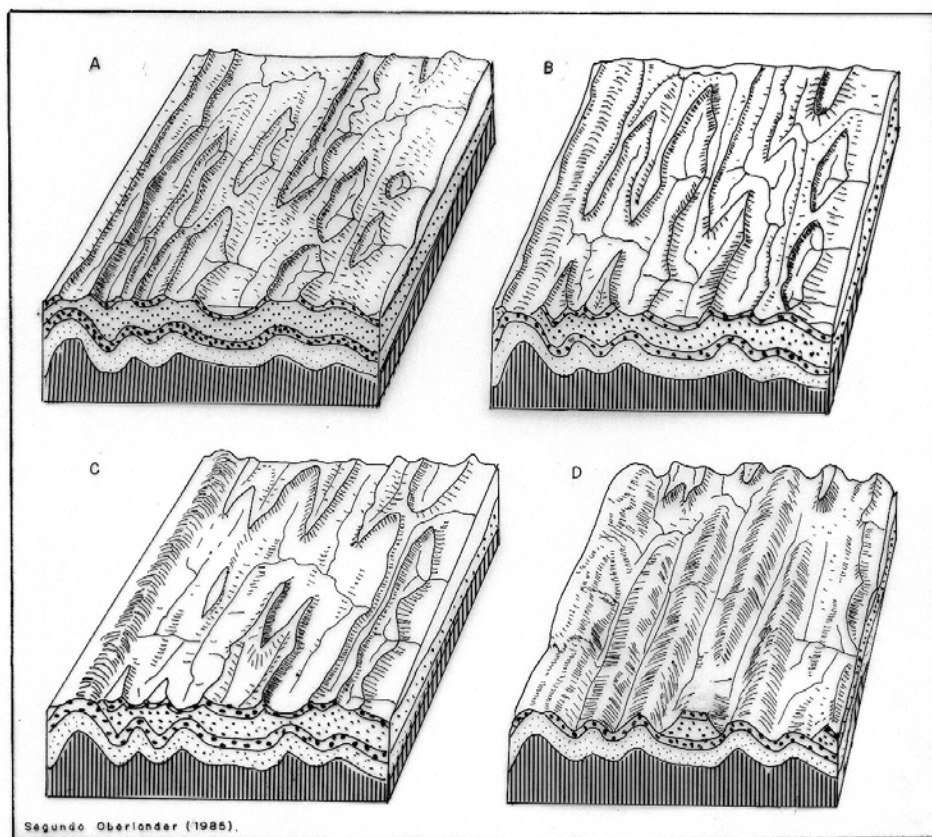


Figura 78: A Drenagem e as Rochas Dobradas.

Várias etapas do desenvolvimento da drenagem em terrenos dobrados, A, B, C D, com destaque para a inversão de relevo em D. Segundo Oberlander, 1985. Observar a erosão das cúpulas das anticlinais e o desenvolvimento de drenagem transversal ao eixo das dobras, até atingir a fase final de *inversão*.

Barbosa *et al.* (1984) sugeriram o conceito de **Domínios Morfoestruturais**, quando nos levantamentos geomorfológicos realizados pelo Projeto RADAMBRASIL, como grandes conjuntos estruturais, que geram arranjos de relevo e guardam relação de causa entre si.

Conforme Soares *et al. apud* Crepani (1988) o termo morfoestrutura é aplicado para definir uma estrutura suposta, identificada a partir da análise das formas de relevo e padrões de drenagem. Assim, o principal objetivo da análise morfoestrutural é a obtenção de informes a respeito de estruturas, uma vez que se espera, com a aplicação dessa técnica, que a morfologia da superfície de uma bacia reflita, embora de modo atenuado, as condições estruturais do embasamento.

Adota-se aqui a definição de morfoestrutura no sentido de Gerasimov & Mescherikov (1968), com modificações, uma vez que os mesmos confundiram estrutura geológica com feição de relevo. Deste modo, denomina-se morfoestrutura àquelas feições em que a forma de relevo e a drenagem estão estreitamente relacionadas à estrutura geológica. Possuem feição positiva ou negativa, e podem estar à superfície ou então inumadas por espessa seqüência sedimentar. Quando é possível identificar o tipo ou a associação de litotipos que compõe a morfoestrutura, esta se denomina Litomorfoestrutura (Lima, 1995b).

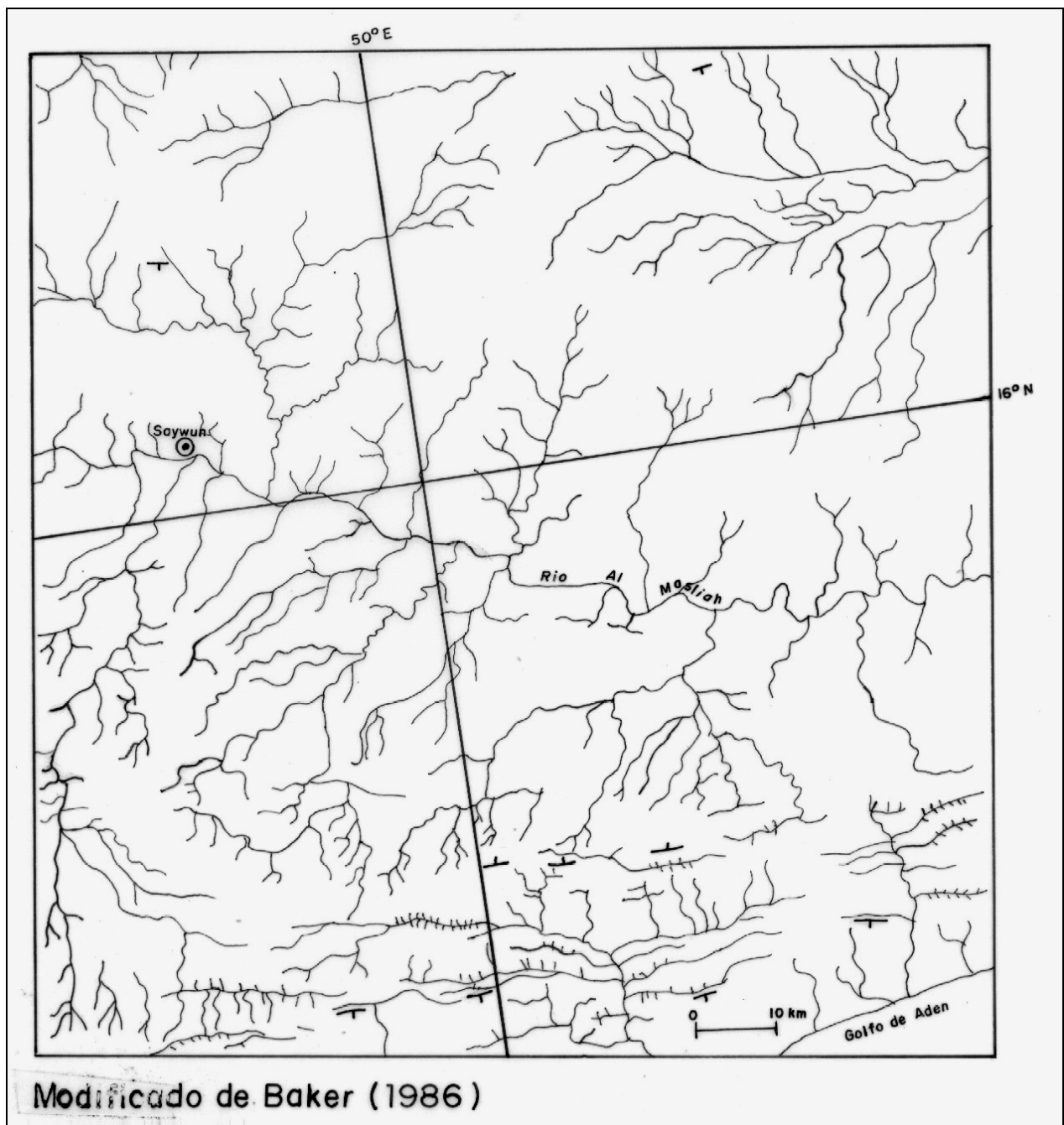
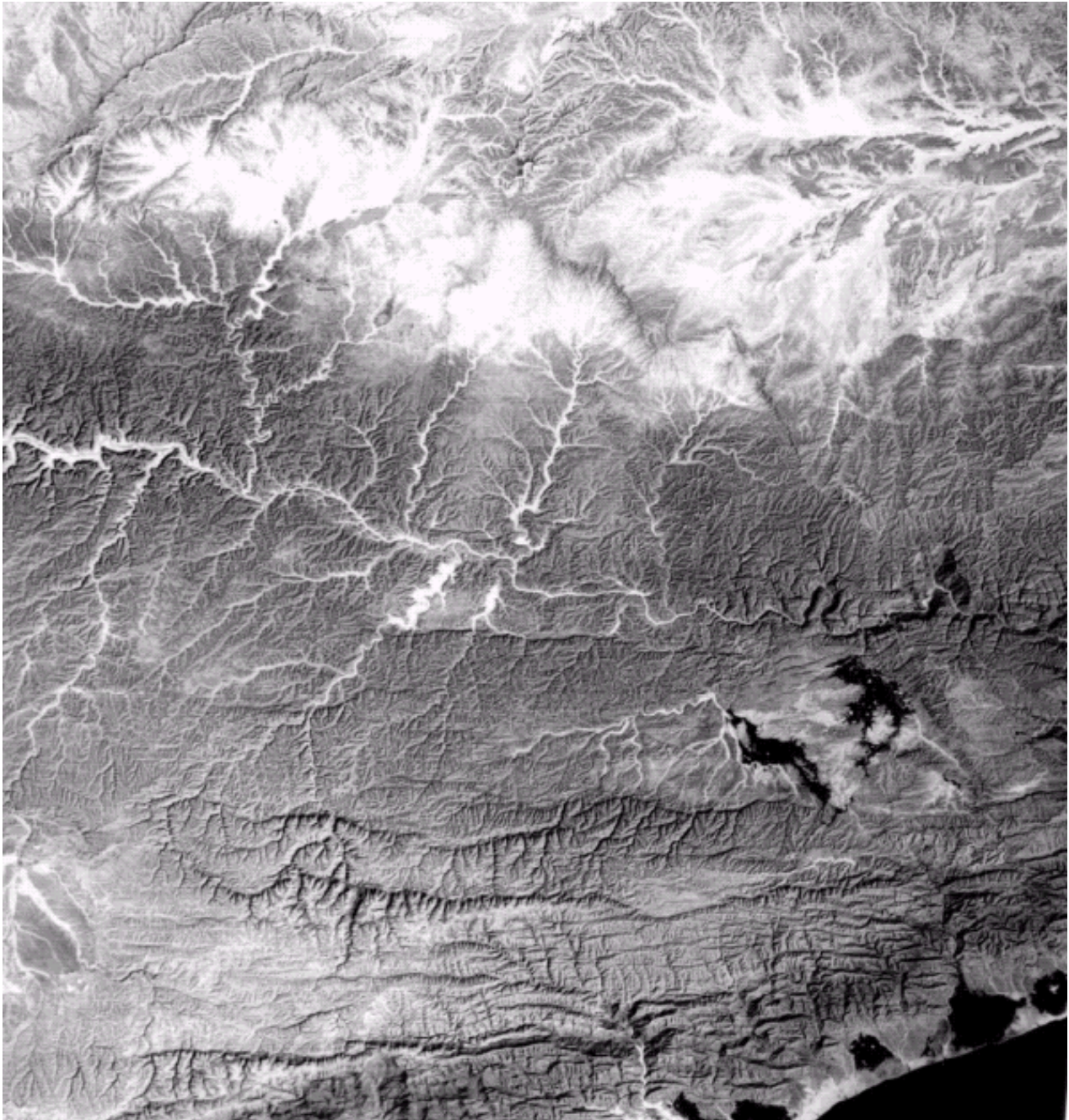


Figura 79: Rio Al Mashiah (Iêmen). Exemplo de rio e seus afluentes controlados estruturalmente. Modificado de Baker, 1986.

Observar assimetrias, fraca, média e forte, exibidas pela drenagem e o paralelismo das mesmas com respeito às orientações das camadas. Cf com Estampa 15.



Estampa 15 - Imagem Landsat-MSS, 01/1976 . Região do rio Al Mashiah .

Consultar Figura 79 para efeito de escala. Infravermelho próximo resalta bem as drenagens (preto) e drenagem ciliar (branco). Comparar com Figura 80 no que diz respeito a regra dos "V"s". Observar o marcante controle estrutural da drenagem e no que diz respeito a assimetria de terreno e mergulho de camadas .Norte no topo.

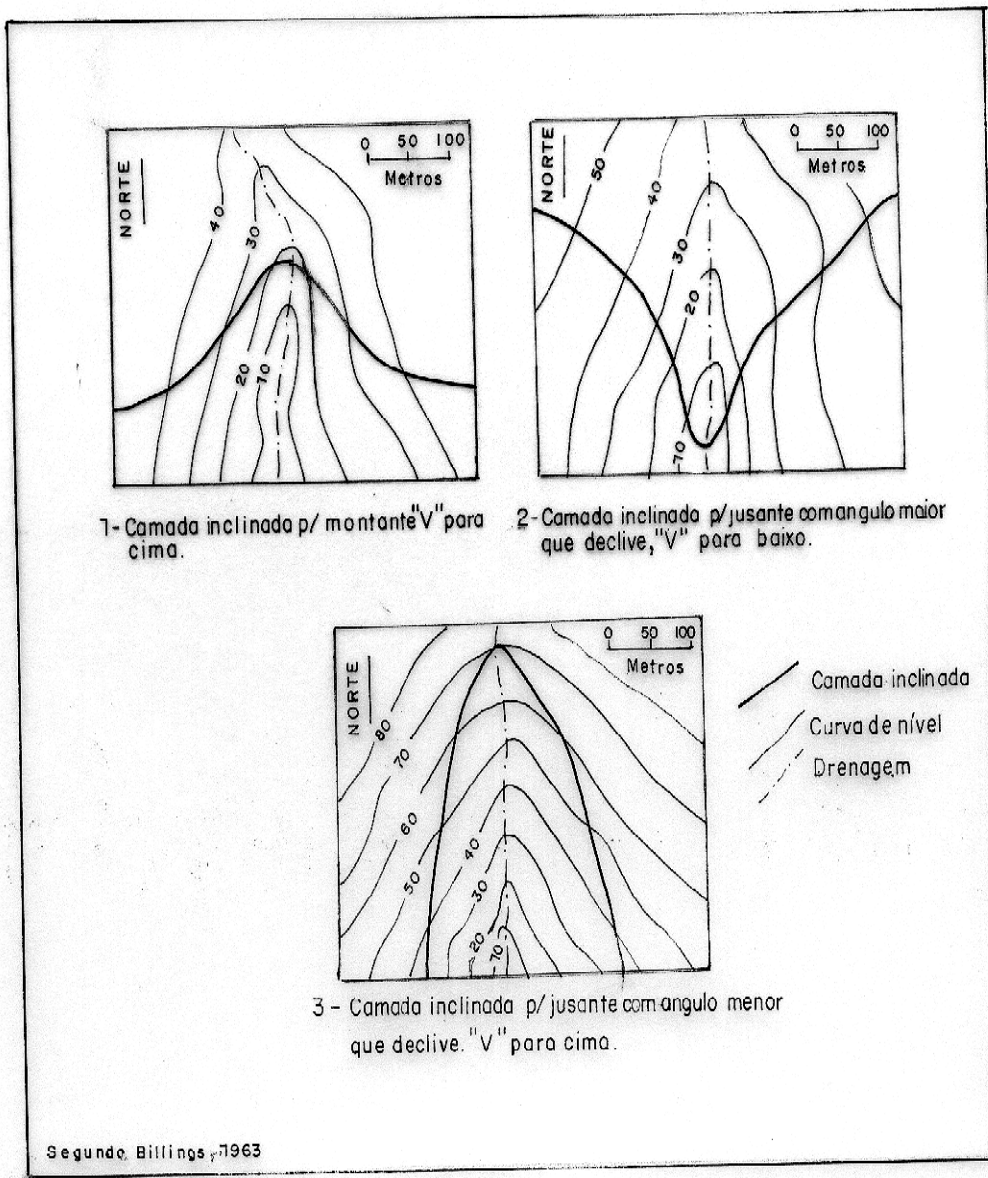


Figura 80a: Regra dos "V's" em estratos inclinados.

O "V" pode ser indicado tanto para montante como para jusante, dependendo do ângulo de mergulho da camada e declividade do terreno. Billings, 1963.

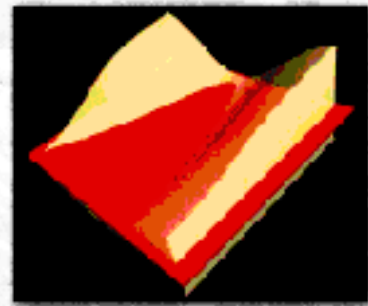
Rule of V's - Summary



Plane dips downstream;
V is downstream.



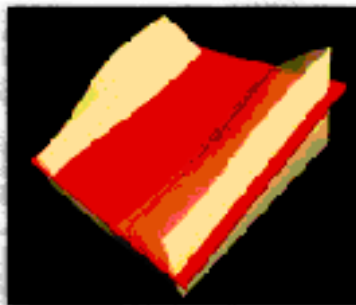
Plane dips downstream at
angle less than stream;
V is upstream.



Plane is horizontal;
trace follows contours;
V is upstream.



Plane dips upstream;
V is upstream.



Plane dips downstream at
angle equal to stream;
trace is parallel to stream.



Plane is vertical;
trace is a straight line.

Figura 80b: Sumário da Regra dos "V's"

Acima, da esquerda para a direita: plano mergulhando no sentido da corrente o "V" é para jusante; plano mergulhando no sentido da corrente, mas com um ângulo menor o "V" é para montante; o plano é horizontal, o traço segue o contorno e o "V" é para montante.

Abaixo, da esquerda para direita: plano mergulhando para o oposto da corrente o "V" é para montante; plano mergulha para o sentido da corrente, mas com um ângulo igual o traço é paralelo a corrente; o plano é vertical o traço é reto. (Pazzaglia, 2001)

A identificação e a análise das morfoestruturas são utilizadas tanto na solução de problemas da estrutura e evolução da Terra, quanto da interpretação geomorfológica da estrutura geológica, sendo de grande importância prática na prospecção de petróleo e gás natural, assim como depósitos minerais de uma maneira genérica, em qualquer tipo de terreno geológico.

Para a definição das morfoestruturas dois parâmetros geomorfológicos são de grande relevância: formas de relevo e padrões de drenagem. Aqui será enfocada a utilização da drenagem na caracterização da morfoestrutura, fato que adquire uma maior importância quando pesquisados terrenos arrasados, ou seja, sem formas de relevo evidente.

		FORMA DOS ELEMENTOS DE DRENAGEM (FED)				VALOR DA IE	FATOR DE CONFIABILIDADE	
		RADIAL	LINEAR	CIRCULAR ou ELÍPTICO	ASSIMÉTRICA			
INTENSIDADE DE ESTRUTURAÇÃO (IE)	MUITO FRACA					0,2	0 - 0,20	MUITO FRACO
	FRACA					0,4	0,21 - 0,40	FRACO
	MODERADO					0,6	0,41 - 0,70	MODERADO
	FORTE					0,8	0,71 - 0,90	FORTE
	MUITO FORTE					1,0	0,91 - 1,00	MUITO FORTE

Adaptado de Soares et al (1981).

Figura 81: Análise das Formas dos Elementos de Drenagem (FED).

Adaptado de Soares et al., 1981. Primeiramente deve ser analisada a Intensidade de Estruturação (IE), à qual deve ser atribuído um valor (0,2 a 1,0) de acordo com os desenhos correspondentes acima. No caso de radial, circular ou assimetria os valores, para cada, são obtidos pela média. De posse desses valores, obtém-se com a multiplicação dos mesmos o Fator de Confiabilidade (FC). Para o Linear tanto o IE como FC devem ser obtidos separadamente.

Primeiramente deve ser feita uma análise das Formas dos Elementos de Drenagem (FED) que, de acordo com o seu arranjo, podem ser: assimétricas, circulares ou elípticas, lineares e radiais (**Figura 81**). Tal análise possibilitará verificar a Intensidade de Estruturação (IE) da feição estudada e o seu Fator de Confiabilidade (FC).

A Forma dos Elementos de Drenagem (FED) permite identificar uma estrutura planar através da assimetria de drenagem, da mesma maneira que o arranjo circular ou elíptico e/ou radial sugere a presença de estruturas dobradas. Por sua vez, a forma linear da drenagem possibilita interpretar o condicionamento a lineamentos estruturais.

Uma questão a ser pesquisada refere-se à intensidade de estruturação das referidas formas, por que é necessário saber se as mesmas compõem-se por drenagens do tipo subsequente, ou seja, se existe ou não uma inter-relação com a estrutura geológica.

A **Figura 81** relaciona a forma dos elementos de drenagem (FED) *versus* a intensidade de estruturação dos mesmos, através das adjetivações *muito fraco, moderado, forte e muito forte*. A avaliação da intensidade de estruturação possibilita a definição do Fator de Confiabilidade. Este indica quão bem estruturadas estão as propriedades da forma analisada, dando certeza de que a morfoestrutura é tal como está representada, segundo conceituação de Soares *et al.* (1981). O valor numérico do fator de confiabilidade é aqui expresso em cinco níveis:

- muito fraco - 0 - 0,20
- fraco - 0,21 - 0,40
- moderado - 0,41 - 0,70
- forte - 0,71 - 0,90
- muito forte - 0,91 - 1,00

Com efeito, a FED tem grande aplicabilidade na quantificação de morfoestruturas através de sua Intensidade de Estruturação (IE), merecendo ressaltar que para:

- feição linear deve-se utilizar a FED linear;
- feição anelar deve-se utilizar as FED's circular e radial;
- feição dobrada deve-se utilizar a FED assimétrica.

A **Figura 82** exemplifica em bloco-diagrama a assimetria, ao passo que a **Figura 83** mostra, através de modelos hipotéticos, as FED's assimétrica, linear, circular, e anelar.

Para a Intensidade de Estruturação (IE) são atribuídos os seguintes valores:

- 0,20 – (muito fraco)
- 0,40 – (fraco)
- 0,60 – (moderado)
- 0,80 – (forte)
- 1,00 – (muito forte)

O Fator de Confiabilidade é obtido pelo produto do valor da Intensidade de Estruturação (IE) e das Formas dos Elementos da Drenagem (FED) envolvidas. De acordo com tais premissas e tendo por base os dados constantes da **Figura 83**, será analisada a anomalia de drenagem, exposta na chapada do Cachimbo (PA), bacia do rio São Tomé (**Figura 84**):

- FED(r) = 1 (radial)
- FED(c) = 0,95 (circular)
- Fator de Confiabilidade (FC) = $1 \times 0,95 = 0,95$ (muito forte)

Nos domínios da Bacia Paleozóica do Médio Amazonas, Lima & Fernandes *apud* Araújo *et al.* (1976) fizeram referência à morfoestrutura do Erepecu, aventando para a possibilidade de

estar relacionada a uma intrusão ígnea básica (**Figura 85**). Posteriormente, Lima (1978c) sugeriu como hipótese, de se tratar de uma estrutura halocinética, devido a feição anelar apresentar sua porção central depressiva, além da incidência de lagos, em seu interior (**Figura 85**). No início dos anos 80, por indicação do PROJETO RADAMBRASIL, tal morfoestrutura foi alvo de exploração geológica, acompanhada por dois perfis ortogonais de magnetometria e gravimetria executados pela CPRM, e cujos resultados finais estão expressos em Araújo *et al.* (1983). Estes autores descartaram a possibilidade da presença de um domo salino, mencionando, no entanto, não ser clara a origem da estrutura circular, ao levarem em consideração os resultados da prospecção geofísica. Sugeriram, por conseguinte, a execução de novos perfis. Informações referentes à execução de um furo de sondagem raso, efetuado pela CPRM, no flanco ocidental da estrutura, mencionam não terem sido encontrados sinais de rochas salinas.

Para a morfoestrutura do Erepecu o Fator de Confiabilidade pode ser calculado como :

- FED(c) = 0,6 (circular)
- FED(r) = 0,6 (radial)
- Fator de Confiabilidade (FC) = 0,6 x 0,6 = 0,36 (fraco)

Cunha & Carneiro (1972) e Lima *et al.* (1990) chamaram a atenção para um conjunto de morfoestruturas presentes no âmbito da Sinéclise do Parnaíba. Dentre essas, apresenta-se na **Figura 86** a Morfoestrutura do Uíca, interpretada a partir de imagens RVL e LANDSAT, em virtude da escassez de dados geológicos de superfície, e presença de espessa cobertura de sedimentos recentes. Para a morfoestrutura do Uíca o Fator de Confiabilidade pode ser calculado como:

para a estrutura anelar;- FED(a) = 1,0 (elíptico)

- FED(r) = 0,95 (radial)

- Fator de Confiabilidade (FC) = 1 x 0,95 = 0,95 (muito forte)

para a estrutura linear

FED(l) = (1 + 0,8):2 = 0,9 (muito forte)

Fator de Confiabilidade = 0,9 (muito forte).

A estrutura do Uíca mostra anomalia magnética o que de certo modo confirma a presente assertiva.

Observa-se que o FC para ser alto necessita-se de FED's acima de 8.

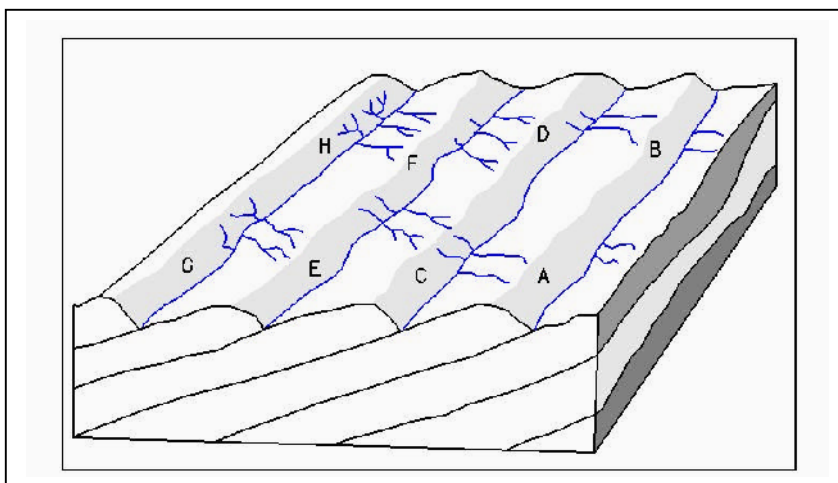


Figura 82 – Classificação de assimetrias de drenagens segundo Soares et al. (1982).

(A) Simples incompleta fracamente estruturada; (B) Simples incompleta fortemente estruturada; (C) Simples completa fracamente estruturada; (D) Simples completa fortemente estruturada; (E) Ramificada incompleta fracamente estruturada; (F) Ramificada incompleta fortemente estruturada; (G) Ramificada completa fracamente estruturada; (H) Ramificada completa fortemente estruturada.

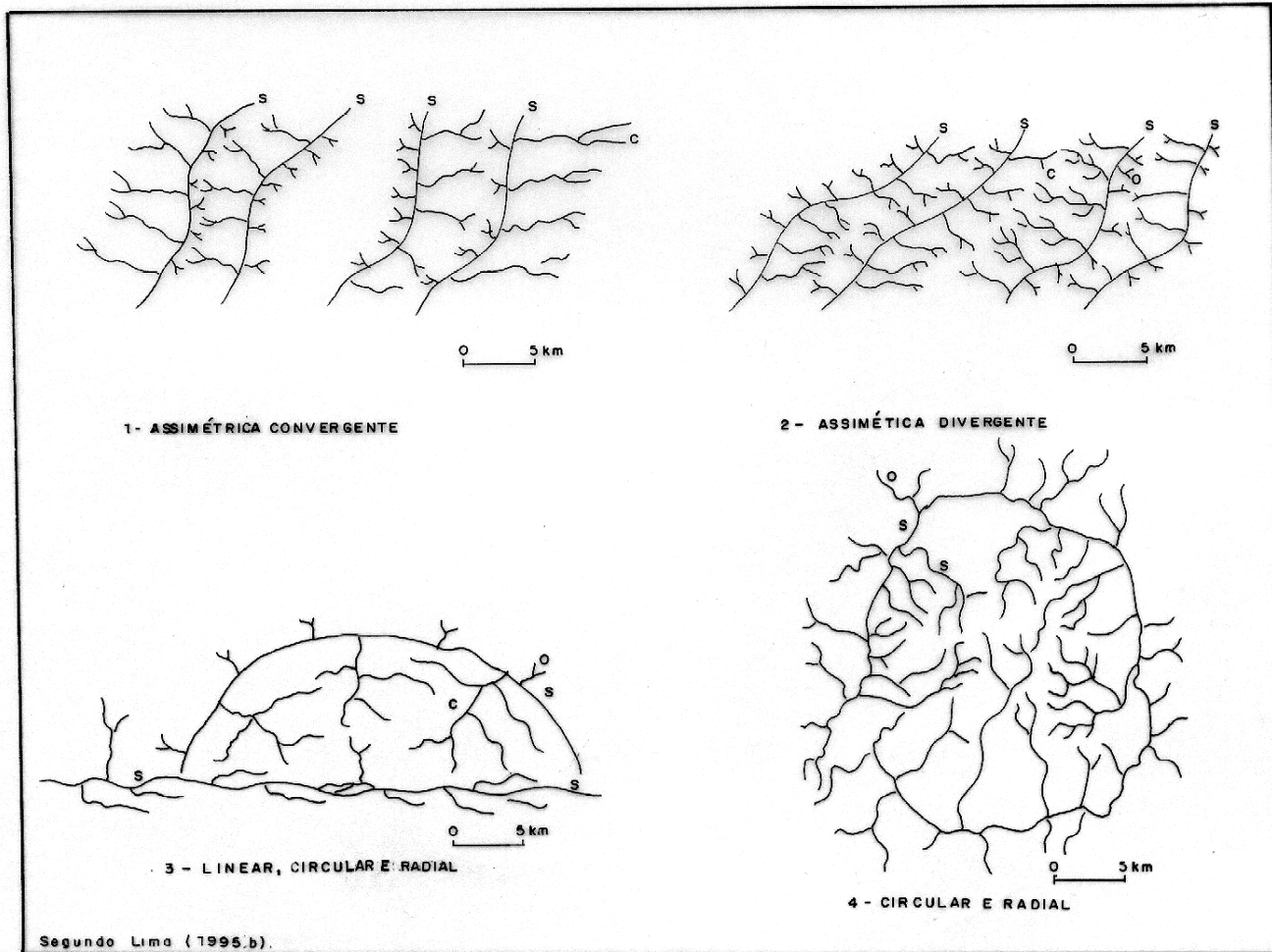
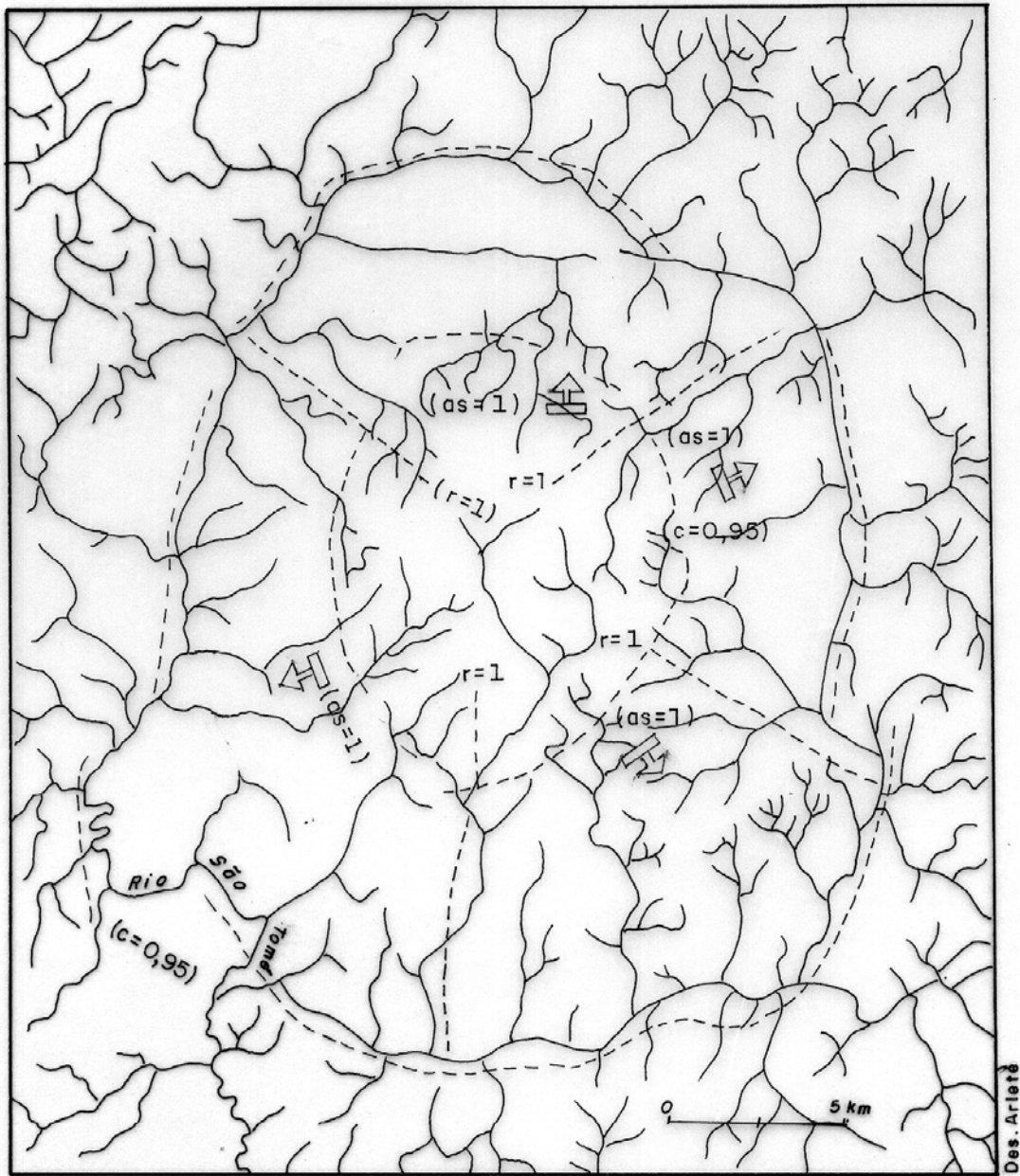


Figura 83: Estruturação das Formas dos Elementos de Drenagem.

Exemplos hipotéticos de morfoestruturas ligadas a assimetria, linear, circular e radial com indicação dos tipos de drenagem . s = subsequente; o = obsequente; e c = consequente. Lima, 1995b.



Segundo Lima (1995 b).

Figura 84: Estrutura de São Tomé (PA/Brasil).

Exemplo real de uma estrutura dômica existente na Chapada do Cachimbo (PA/Brasil), com indicação da assimetria e valores relativos às estruturas de drenagens. Folha SC.21-V-B. Lima 1995b. Aplicação prática da Figura 76.

No estudo de morfoestruturas é importante a visualização em terceira dimensão das estruturas perscrutadas. De acordo com essa filosofia são apresentadas as **Figuras 87, 88 e 89** elaboradas por Miranda (1983). A **Figura 87** retrata o posicionamento espacial das drenagens do tipo subsequente, consequente e obsequente em termos de estruturas anticlinais e sinclinais. A **Figura 88** apresenta em bloco diagrama e em planta a drenagem radial e anelar, em parte seccionada por falha normal, enquanto a **Figura 89** mostra uma situação muito comum na formação de terraços, devido a basculamentos de blocos, com a formação de afluentes dissimétricos.

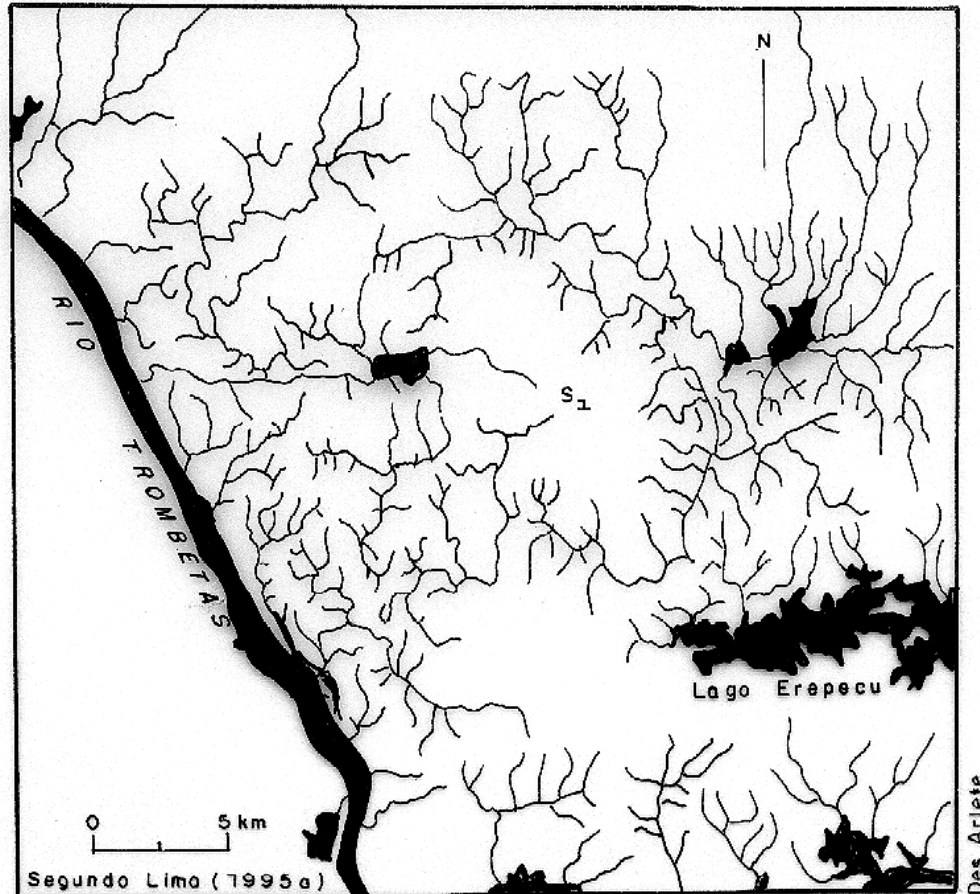


Figura 85: Anomalia de Drenagem do Erepecu (PA/Brasil).

A grande incidência de lagos relaciona-se à presença de evaporitos, mas não de domo salino conforme os dados de campo e levantamento geofísico terrestre. Folha SB.21-X-C. S1 = rocha sedimentar. Lima 1995b. Aplicação prática da **Figura 76**. Lagos em preto.

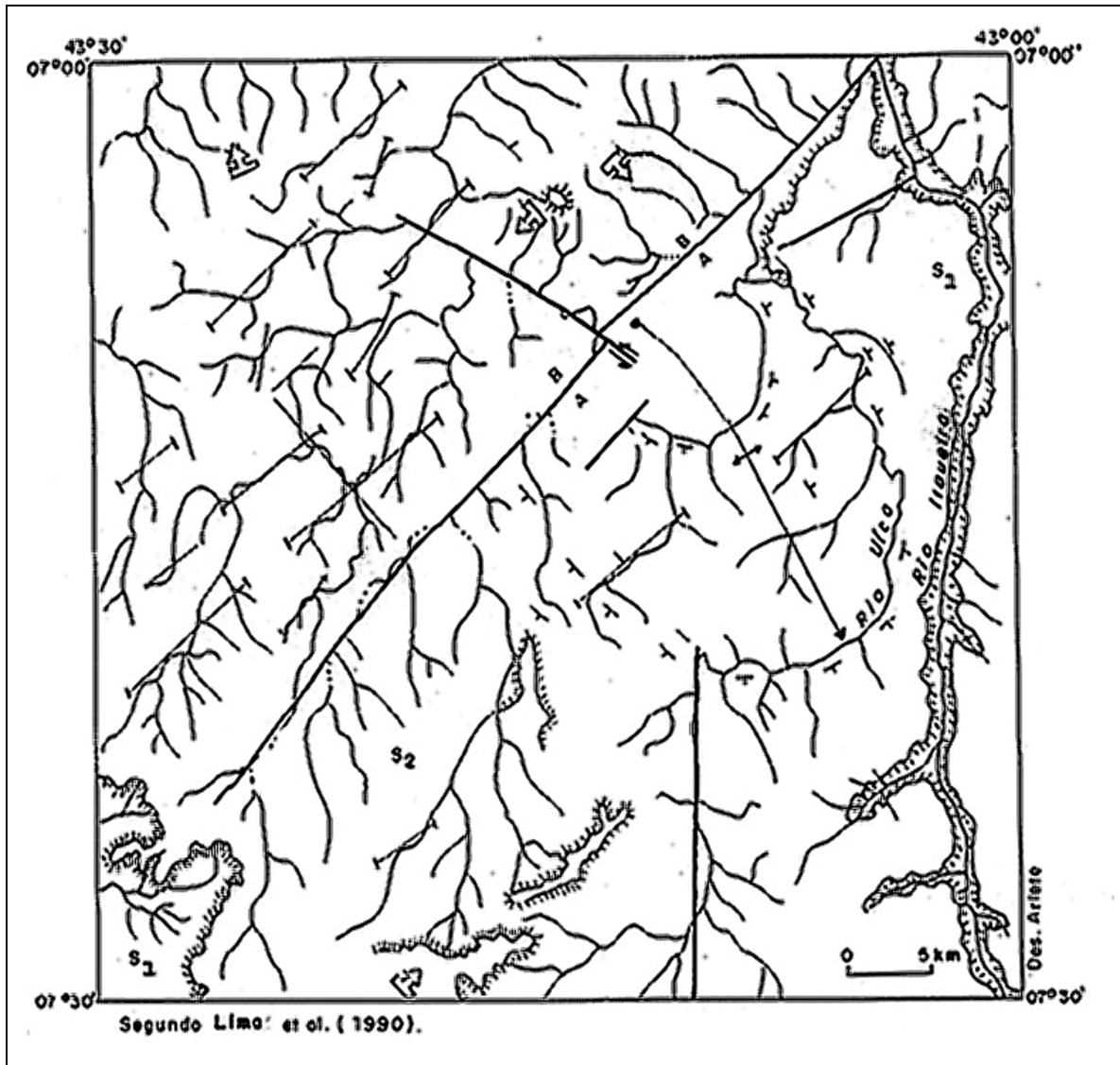
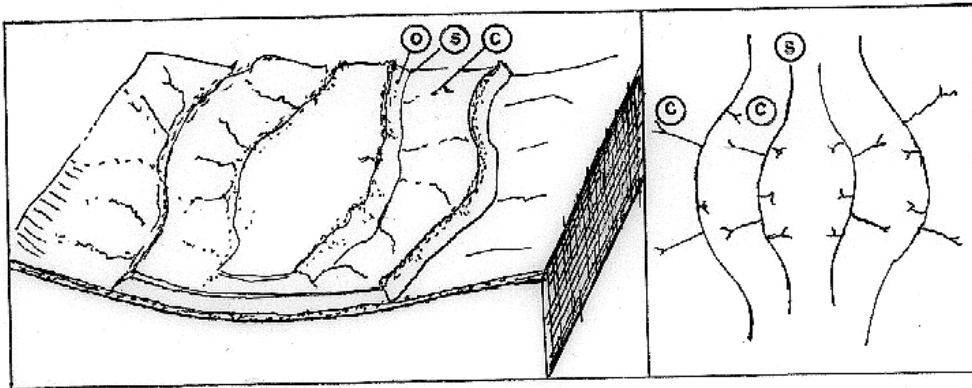


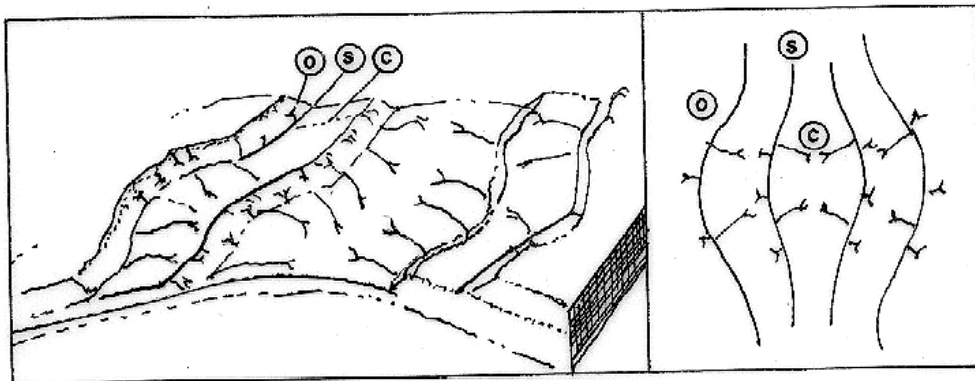
Figura 86 – Anomalia de Drenagem do Uíça (PI/Brasil). Folha SB.23-Z-D.

Dados aeromagnéticos atestam a presença desta morfoestrutura. Lima, 1995b. Aplicação prática da Figura 76. Tal feição parece corresponder a um corpo máfico, em razão da existência dos mesmos nas cercanias. Os trabalhos de campo indicaram uma grande incidência de cobertura arenosa (S2). S1 e S2 = rochas sedimentares. Polígono com hachuras = platôs com escarpas; segmento de reta = fratura; linha grossa = falha; retângulo com seta = movimento de bloco; traço com seta = alto estrutural. Vide convenções na Tabela 14.

ESTRUTURA SINCLINAL



ESTRUTURA ANTICLINAL

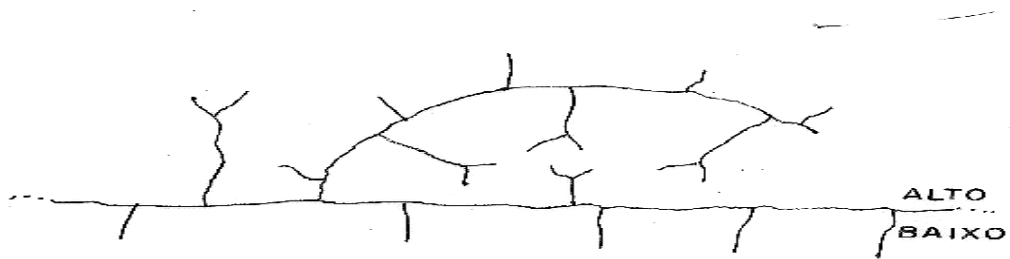
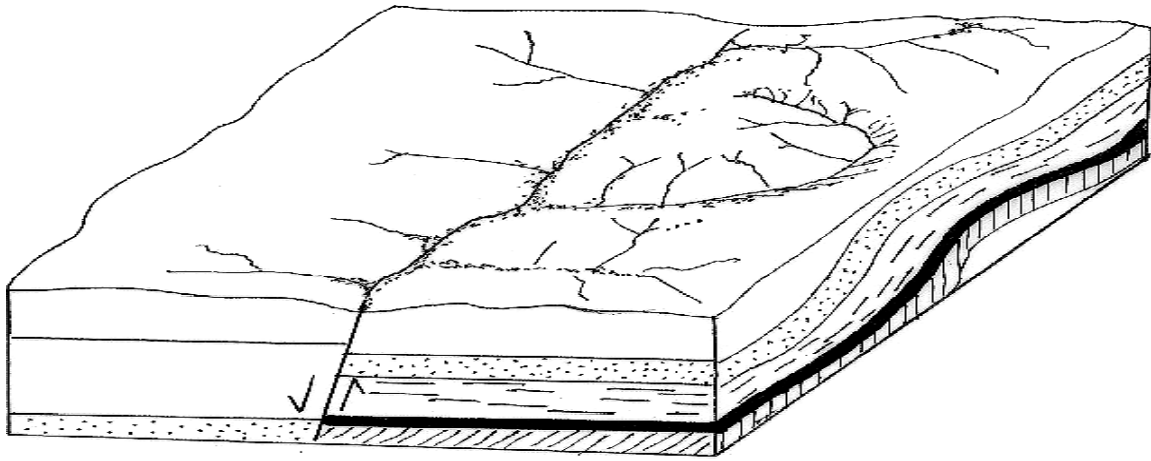


- Ⓢ DRENAGEM SUBSEQUENTE
- Ⓒ DRENAGEM CONSEQUENTE
- ⓪ DRENAGEM OBSEQUENTE

MOD. SOARES et. al. (1981)

Figura 87: Modelos de estruturas anticlinal e sinclinal.

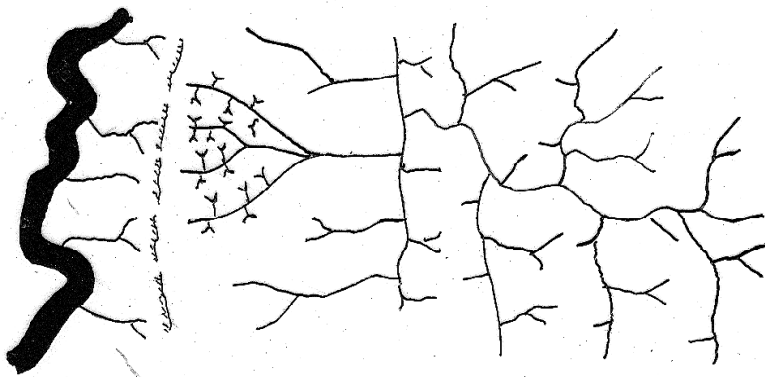
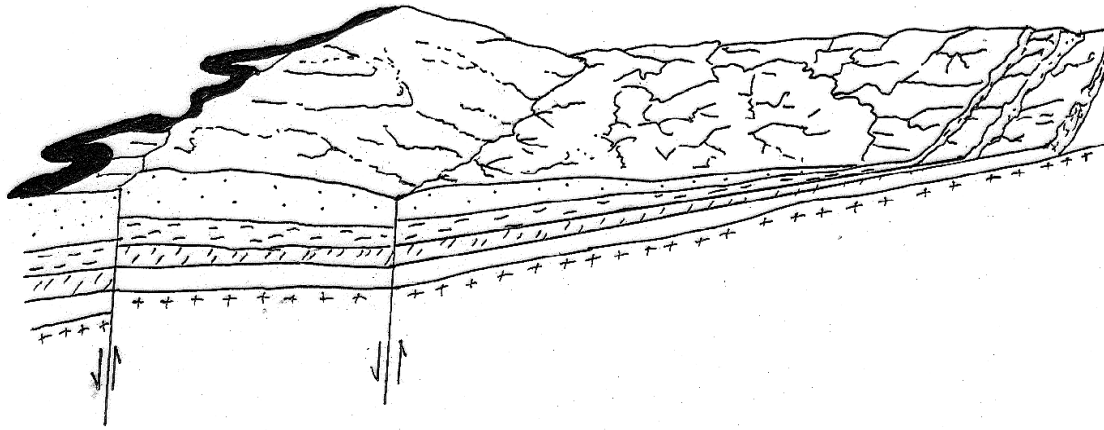
Situações ideais que se deveria esperar em estruturas anticlinal e sinclinal, no que tange a formação das drenagens. Mod. de Soares et al., 1981



MIRANDA (1983)

Figura 88: Modelo de domo falhado.

Exemplos em bloco-diagrama (topo) e planta (base) dos tipos de drenagens que se poderia esperar em uma estrutura dômica falhada. Miranda, 1983.



MIRANDA (1983)

Figura 89: Modelos de anomalias morfoestruturais.

Exemplos, em bloco-diagrama e planta, de assimetria controlada por falha, e estrutura dômica. Miranda, 1983.

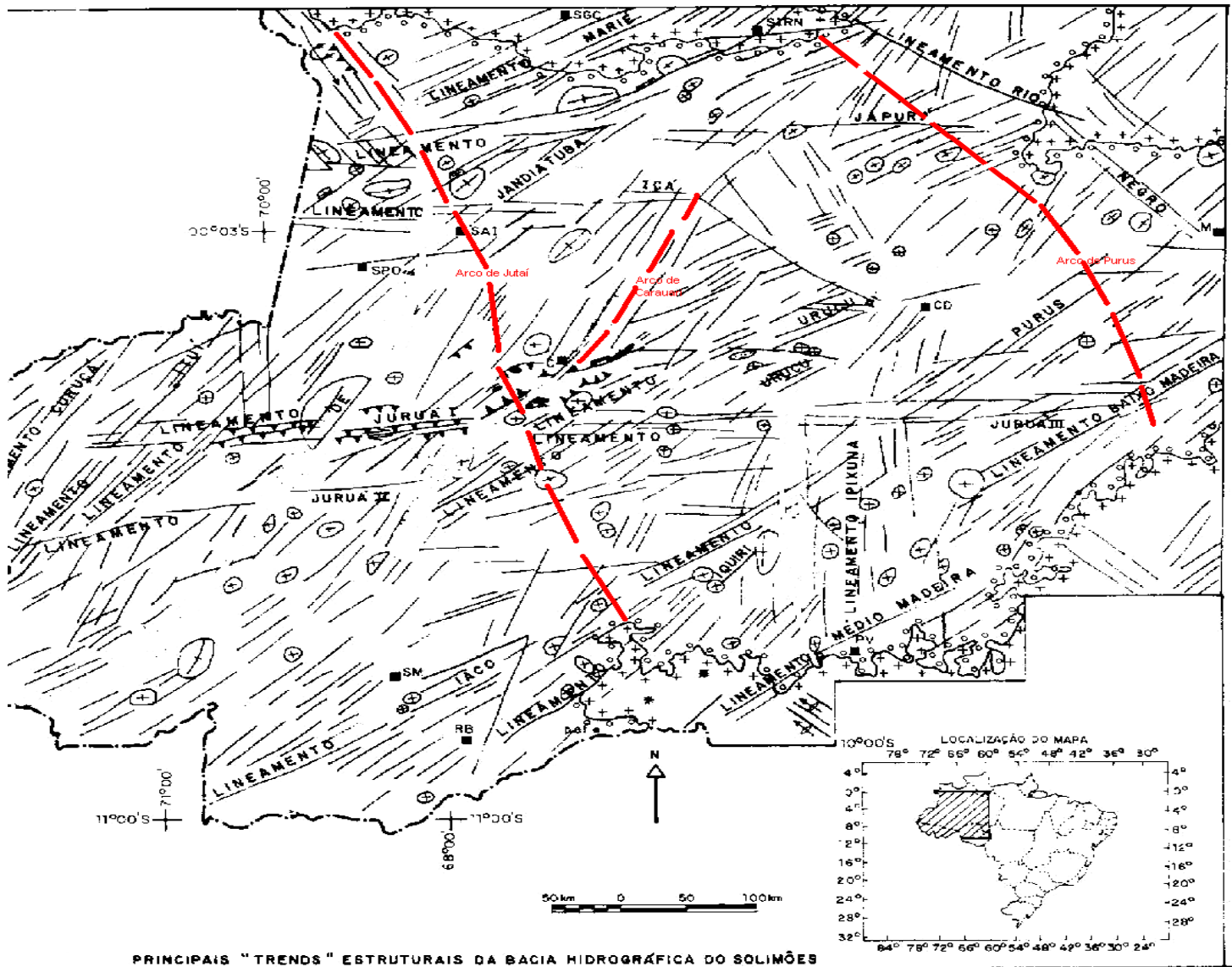


Figura 90 –Principais Trends Estruturais da Bacia do rio Solimões (Lima, 1988).

Traço vermelho = arcos estruturais; traço preto = alinhamento de drenagem. RB = Rio Branco; SPO = São Paulo de Olivença. (+) = zonas positivas. Polígonos pretos = hidrocarbonetos. Traço entre o/+ = limite do embasamento cristalino

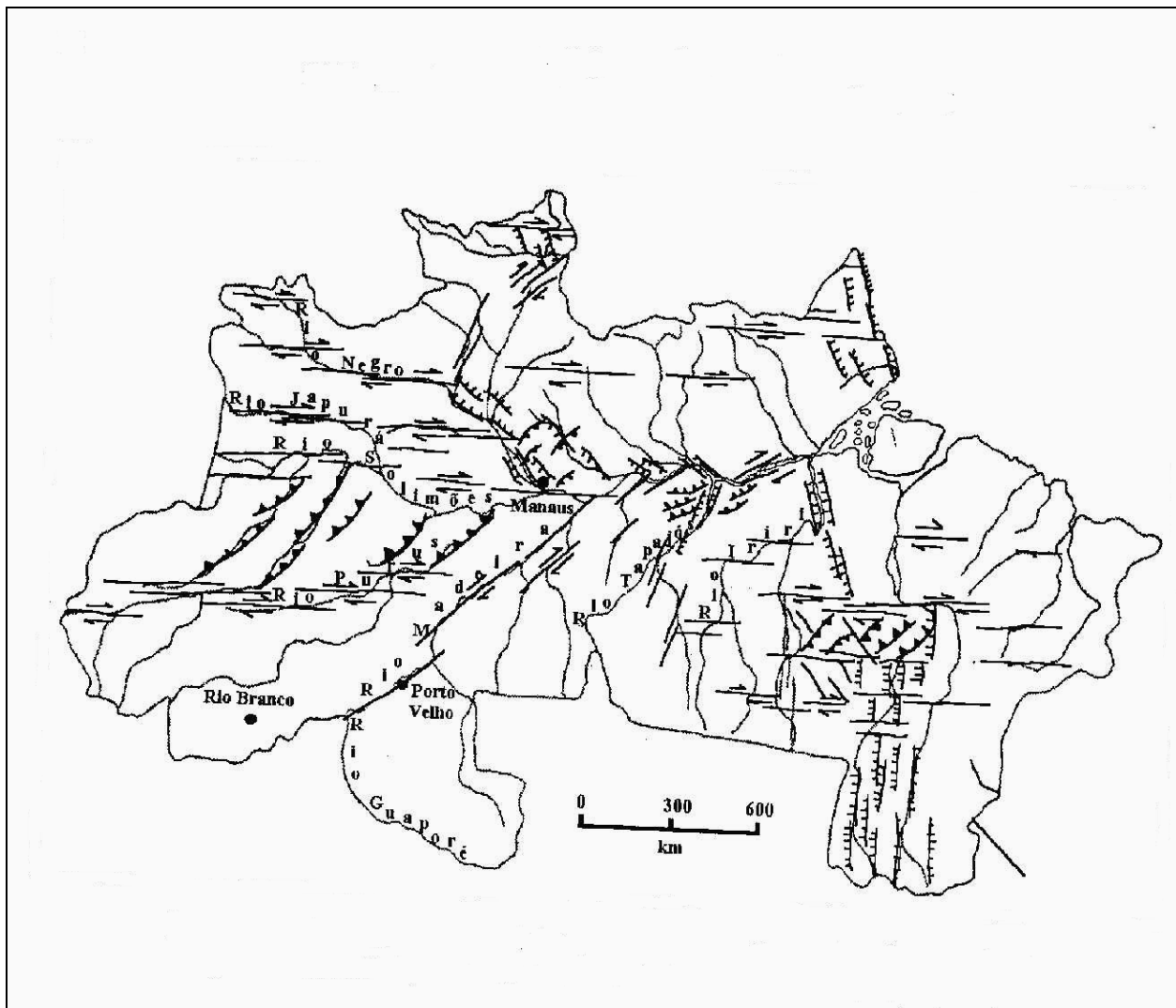


Figura 91 – Principais Estruturas Neotectônicas da região Amazônica (Costa et al., 1996).

Traço com dentes = falha inversa ; Traço com setas = falha direcional ; Traço com hachuras = falha normal

A **Figuras 90** retrata os resultados obtidos por Lima (1988) na bacia hidrográfica do rio Solimões , através da análise de alinhamentos de drenagem e tendo por base a metodologia aplicada por Soares et al. (1982), com a plotagem de zonas positivas (+). Atentar para a grande incidência dos lineamentos estruturais e o posicionamento dos mesmos em relação aos Arcos de Purus, Carauari e Jutaí e depósitos de hidrocarbonetos.

Na **Figura 91** Costa et al. (1996) apresentam uma síntese da neotectônica em termos de região amazônica, que se coaduna perfeitamente com a interpretação apresentada na Figura 90.

XVIII - INTERPRETAÇÃO DE LITOLOGIAS FUNDAMENTADA NA DRENAGEM

Para a interpretação das litologias, com base na drenagem, é necessário um melhor conhecimento de seus padrões básicos ou modificados, como visto no **Capítulo IX**, a fim de que se possa situar em termos da classe de rochas: ígneas, sedimentares e metamórficas. Contudo, para uma análise mais minudente é importante também um conhecimento mais aprofundado no que tange às propriedades da drenagem, como mostrado no **Capítulo III**. As **Tabelas 10 e 11**, que exemplificam de forma pragmática o que foi dito.

XIX - INFLUÊNCIA DA DRENAGEM NOS TIPOS DE SOLOS

A identificação de solos, tendo por base a drenagem e seus padrões, é uma tarefa difícil, uma vez que o solo, além da drenagem, sofre influências das formas de relevo, do material de origem, da cobertura vegetal e, principalmente, da ação do clima e de organismos. A **Tabela 12** apresenta a classificação dos solos segundo Prisma (1977). Na ordem zonal estão agrupados os solos com características bem desenvolvidas que refletem a influência dos fatores ativos na sua formação, como clima e organismos. Na ordem intrazonal estão reunidos os solos cujas características reforçam a influência dominante do relevo ou do material de origem, em relação aos efeitos produzidos pelo clima e organismos. Na ordem azonal estão aqueles com características mal desenvolvidas, seja devido ao pouco tempo de sua formação, ou à natureza do material originário e do relevo que impediram o desenvolvimento de características típicas de zonas climáticas onde ocorrem (Prisma, op.cit.).

Na ordem zonal estão presentes: Latossolo, Podzólico, Podzóis, Brunizem, Bruno não Cálcico, Desértico e Tundra. Conforme observado a seguir, dois fatores são preponderantes: clima e ação de organismos. Assim sendo, sua definição através de fatores físicos do terreno e material de origem desempenha papel secundário, tendo como consequência uma maior dificuldade de sua identificação com base na drenagem.

Os Latossolos são solos maduros, muito profundos, desenvolvidos em clima tropical úmido, bastante porosos, de textura variável, assomando em zonas de forte intemperismo e com pequena diferenciação entre os horizontes pedogenéticos. Ocorrem em zonas de aplanamentos inumados, compondo extensos chapadões de topo plano, com fraco ou nenhum caimento, geralmente associado a rochas sedimentares, podendo, no entanto, estar relacionados a rochas ígneas (basalto, granitos, etc), e até mesmo a rochas metamórficas (xistos, filitos, etc). Encontram-se principalmente associados aos padrões de drenagem dendrítico, paralelo e retangular. A drenagem é comumente de baixa densidade e alto grau de integração. Os solos Podzólicos, com diferenciação marcante entre os horizontes pedológicos, e de forma bem distinta dos Latossolos, ocorrem em terrenos dissecados, de grau baixo a médio, e significativa a média densidade de drenagem. São solos profundos, e moderadamente a fortemente intemperizados. Assim sendo, enquanto, em linhas gerais, os Latossolos se desenvolvem em chapadões, os solos Podzólicos mostram maior desenvolvimento em zonas dissecadas, em relevos de porte médio. Os padrões de drenagem podem ser os mesmos dos Latossolos, sendo, contudo, a densidade de drenagem mais alta, e o grau de integração mais baixo. Os Podzóis possuem uma acumulação de óxido de ferro e material húmico no horizonte B. Desenvolvem-se em terrenos planos, arenosos, em clima quente-úmido a superúmido. Associam-se geralmente a terrenos sedimentares de acumulação pleistocênica, a exemplo do que ocorre na região do alto rio Negro (AM). Os padrões de drenagem são comumente dendrítico e retangular, podendo ocorrer o multibasinal, devido ao alto índice pluviométrico.

Tabela 10: INTERPRETAÇÃO DE LITOLOGIAS COM BASE NO PADRÃO DE DRENAGEM

PADRÃO DE DRENAGEM BÁSICO/MODIFICADO	CLASSES DE ROCHAS		
	ÍGNEA	SEDIMENTAR	METAMÓRFICA
Dendrítico	Freqüente	Freqüente	Ausente
Subdendrítico	Freqüente	Freqüente	Ausente
Pinado	Ausente	Pelitos	Ausente
Distributário	Ausente	Freqüente	Ausente
Festonada	Ausente	Freqüente	Ausente
Paralelo	Pouco Freqüente	Freqüente	Pouco Freqüente
Subparalelo	Pouco Freqüente	Freqüente	Pouco Freqüente
Colinear	Ausente	Freqüente	Ausente
Treliça	Ausente	Pouco Freqüente	Freqüente
Retangular	Freqüente	Freqüente	Pouco Freqüente
Radial	Freqüente	Pouco Freqüente	Ausente
Anelar	Freqüente	Pouco Freqüente	Ausente
Multibasinal	Pouco Freqüente	Carbonatos e Evaporitos	Ausente
Contorcida	Pouco Freqüente	Pouco Freqüente	Freqüente
Palimpsesto	Ausente	Freqüente	Ausente
Defluente	Pouco Freqüente	Pouco Freqüente	Pouco Freqüente

Tabela 11: INTERPRETAÇÃO DE LITOLOGIAS COM BASE NAS PROPRIEDADES DA DRENAGEM

PROPRIEDADE	CLASSES DE ROCHAS		
	ÍGNEA	SEDIMENTAR	METAMÓRFICA
Grau de Integração	Médio	Médio a Baixo	Alto
Grau de Continuidade	Alto	Médio a Ausente	Médio
Densidade	Médio a Baixo	Alto a Baixo	Médio a Baixo
Grau de Controle	Médio	Baixo	Alto
Sinuosidade	Alta	Baixo	Médio
Angularidade	Média	Alta	Média a Alta
Ângulo de Junção	Baixo	Médio	Alto
Assimetria	Baixa	Alta	Média

Solos Brunízem são relativamente rasos, não muito intemperizados e possuem um horizonte A1 escuro, rico em matéria orgânica e cálcio. Associam-se a regiões planas, com cobertura de gramíneas (Savana-Estépica e Estepe) sendo comum se desenvolverem em rochas sedimentares pelíticas. Os padrões de drenagem mais comuns são o dendrítico, paralelo, retangular e treliça. A densidade da drenagem é alta.

Os solos Brunos Não Cálcicos são moderadamente rasos e apresentam horizonte superficial de coloração marrom (bruna). São comuns em regiões semi-áridas do Nordeste brasileiro, com vegetação da classe Estepe (caatinga). Estão associados principalmente a rochas metamórficas, sendo os padrões de drenagem mais comuns o dendrítico, retangular e treliça.

Os solos Desérticos são bastante rasos, pouco intemperizados e presentes em regiões áridas, com uma vegetação bem escassa, não existindo exemplos em território brasileiro.

A Tundra associa-se a regiões frias, com uma vegetação característica do mesmo nome, não existindo também exemplos em território brasileiro.

Os solos da ordem intrazonal sofrem uma maior influência do relevo e do material de origem, e deste modo identificados mais facilmente em relação aos padrões de drenagem, sendo representados pelos solos hidromórficos, salinos e vertissolos.

Os solos hidromórficos sofrem grande influência do lençol freático, motivo pelo qual estão geralmente saturados com água. Tal situação ocorre em clima úmido, em terrenos planos, nas planícies de inundação de rios e lagos. Recebem denominações especiais: Glei Húmico, Glei Pouco Húmico, Planossolo, Podzol, Hidromórfico Cinzento e Laterita Hidromórfica. A definição dos mesmos é facilitada, tendo em vista seu relacionamento com corpos de água acima citados. Os padrões de drenagem mais comuns são o meândrico, anastomótico e distributário.

Os solos salinos apresentam uma concentração elevada de sais solúveis, predominando o cloreto de sódio, sendo a vegetação bem escassa. São encontrados nos locais mais baixos do relevo, nas regiões áridas e semi-áridas, e em áreas próximas ao mar.

Os Vertissolos são solos normalmente cinza-escuros, com elevado teor de montmorilonita, que apresenta a propriedade de expansão com o umedecimento, e contração com a secagem. Situam-se normalmente em baixadas planas a quase planas, apresentando como característica mais importante a presença de fendas. Ocorrem principalmente no Nordeste brasileiro em terrenos planos, de constituição pelítica.

Os solos pouco desenvolvidos ou azonais têm seu horizonte A situado diretamente sobre o horizonte C, que guarda feições estruturais e litológicas do material de origem: Litossolo, Regossolo, Aluvial e Cambissolo. Os padrões de drenagem são o dendrítico e seus tipos modificados, além do paralelo e retangular. O Litossolo corresponde praticamente ao afloramento rochoso, mas possuindo um horizonte A pouco espesso, ocorrendo, em geral, em rampas muito inclinadas, e região de relevo montanhoso. O Regossolo é um solo em início de formação sobre manto de intemperismo muito profundo. O relevo é geralmente plano, ou então, com declives suaves, dispendo-se, comumente, na base de zonas montanhosas. O Aluvial é desenvolvido em sedimentos recentes, geralmente de origem aluvial. O Cambissolo apresenta características de Litossolos, Regossolos e/ou solos Aluviais, com um horizonte B pouco desenvolvido, ou em estado incipiente.

Tabela 12: CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

ORDEM	SUBORDEM OU GRANDE GRUPO
ZONAL	Latossolo
	Solos Podzólicos
	Podzol
	Brunizém
	Bruno Não Cálculo
	Solo Desértico
	Solo de Tundra
INTRAZONAL	Solo Salino
	Solo Hidromórfico
	Grumossolo (Vertissolo)
	Litossolo
AZONAL	Regossolo
	Solo Aluvial
	Cambissolo

Fonte : PRISMA (1977)

XX - DRENAGEM E AS FORMAÇÕES FLORESTAIS

XX.1 – Introdução

O território brasileiro mostra cerca de 75% de sua área coberta por vegetação, mesmo levando-se em consideração a ação antropogênica, em especial nos estados do sul e sudeste. Dentre os exemplos clássicos de regiões com escassa cobertura vegetal, merecem destaque as que se apresentam cobertas por dunas, como os Lençóis Maranhenses (MA), na faixa costeira, e para o interior do continente, na porção do Médio rio São Francisco, a região de Xique-Xique (BA).

Para uma melhor compreensão do comportamento da vegetação, com referência à drenagem e seus padrões, necessita-se, antes de qualquer coisa, utilizar uma classificação fitogeográfica, que possa servir de referencial para as considerações que serão feitas, com relação ao parâmetro ambiente/relevo das formações florestais. A classificação fitogeográfica aqui adotada é a apresentada pelo IBGE (1992), baseado nos mapas fitoecológicos elaborados pelo PROJETO RADAM / RADAMBRASIL, nas décadas de 70 e 80, em um total de 38 volumes de Levantamento de Recursos Naturais, dos quais 34 já publicados. Esta classificação é mostrada na **Tabela 13**, de forma simplificada, visando apenas fornecer os parâmetros necessários para as considerações aqui expostas. Está baseada no parâmetro Ambiente/Relevo em que as formações florestais ocorrem, como seja: aluvial, terras baixas, submontana, montana e alto-montana. A aluvial ocorre na planície de inundação dos cursos de água; as terras baixas correspondem aos tabuleiros que orlam as planícies costeiras; a submontana relaciona-se a terrenos dissecados; a montana a planaltos situados entre 600 e 2.000m de altitude e a alto-montana para altitudes acima de 2.000m. Tomando-se por base o parâmetro Ambiente/Relevo pode ser estabelecida uma inter-relação com os padrões de drenagem básicos, como sejam:

- Aluvial: padrões distributário e palimpsesto;
- Terras Baixas: dendrítico, subdendrítico, retangular e paralelo;
- Submontana e alto-montana: dendrítico, retangular, treliça, radial, anelar e paralelo.

XX.2 - Floresta Ombrófila

O termo Ombrófila, de origem grega, significa "*amigo das chuvas*", higrófila, pode ser de acordo com sua fisionomia: densa, aberta e mista.

A Floresta Ombrófila Densa apresenta copa de forma circular e topo convexo, com árvores de porte médio e grande, de ramos divergentes e bem adensados, ocorrendo sob um clima sem período seco (Floresta Amazônica/Floresta Atlântica). Assoma em terrenos do tipo aluvial, terras baixas, submontana, montana e alto-montana. Seu tipo de dossel pode ser uniforme ou emergente (IBGE, op.cit.).

A Floresta Ombrófila Aberta (Floresta de Transição) ocorre em área de clima semelhante à da Floresta Ombrófila Densa, mostrando-se, no entanto, associada a quatro fisionomias específicas: palmeira, cipó, bambu e sororoca (IBGE, op.cit.). Pode ocorrer em terrenos do tipo: terras baixas (baixos platôs), submontana e montana.

A Floresta Ombrófila Mista (Mata dos Pinheiros) é típica do Planalto Meridional, onde ocorria com maior frequência (IBGE, op.cit.). As araucárias mostram como característica fundamental a presença de copa bem peculiar, de topo plano, com médio e grande porte, ramos divergentes e médio adensamento. Expõe-se em terrenos do tipo aluvial, submontana, montana e alto-montana, com dossel uniforme ou emergente.

XX.3 - Floresta Estacional

O conceito ecológico deste tipo de vegetação está condicionado a dupla estacionalidade climática, uma tropical com épocas de intensas chuvas de verão, seguida por estiagem acentuada; e outra subtropical, sem período seco, porém com seca fisiológica provocada pelo intenso frio do inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C (IBGE, op.cit.). Divide-se em Semidecidual e Decidual, sendo que na primeira, a percentagem das árvores caducifólias no conjunto florestal, e não das espécies que perdem as folhas individualmente, situam-se entre 20 e 50% na época desfavorável. Ocorre na região Sudeste (SP, MG, RJ e ES), como também no norte do Mato Grosso. A Mata Caducifólia está presente em área de clima semelhante ao da Mata Semicaducifólia, sendo contudo as percentagens das árvores caducifólias superior a 50%. Dispõe-se principalmente no sul da Bahia e centro-norte do Maranhão.

Este tipo de vegetação está condicionado ao clima/déficit hídrico, com 4 a 6 meses secos ou 3 meses com temperaturas inferiores a 15 °C e um maior ou menor adensamento das espécies individuais. O dossel pode ser uniforme ou emergente, estando presente em terrenos do tipo aluvial, terras baixas (baixos platôs), submontana e montana .

XX.4 - Campinarana (Campinas)

Os termos Campinarana e Campina são sinônimos e significam "*falso campo*". A prioridade, porém, cabe ao primeiro, já que Ducke e Sampaio, *apud* (IBGE, 1992) o empregaram para a região ecológica do alto rio Negro (AM), muito embora tenha sido denominada por esses autores de "*caatinga do rio Negro*". Em território brasileiro ocorre essencialmente na bacia do rio Negro, sendo caracterizada por ecótipos raquíticos amazônicos, ombrófila, higrófila, tipificando-se por árvores finas e altas que revestem áreas pediplanadas arenosas e quase sempre encharcadas, ou então aluviais, com ou sem palmeiras (IBGE, op.cit.). É dividida em três subgrupos de formações: arbórea densa ou florestada, arbórea aberta ou arborizada e gramíneo-lenhosa.

Tabela 13: ESQUEMA DE CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO BRASILEIRA – CLASSIFICAÇÃO FITOGEOGRÁFICA

CLASSES DE FORMAÇÕES	SUBGRUPO DE FORMAÇÕES	FORMAÇÕES	SUBFORMAÇÕES
	(Fisionomia)	Ambiente/relevo	
FLORESTA	DENSA	Aluvial, Terras Baixas, Submontana	Dossel Uniforme
		Montana e Alto-montana	Dossel Emergente
	ABERTA	Terras baixas, Submontana e Montana	Com Palmeiras Com Cipó Com Bambu Com Sororoca
	MISTA	Aluvial, Submontana, Montana e Alto-montana.	Dossel Uniforme Dossel Emergente
	DECIDUAL/ SEMIDECIDUAL	Aluvial, Terras baixas, Submontana e Montana	Dossel Uniforme Dossel Emergente
CAMPINARANA (Campinas)	FLORESTADA ARBORIZADA GRAMÍNEO-LENHOSA	Relevo tabular e/ou Depressão fechada	Com palmeira Sem palmeira
SAVANA (Cerrado/Cerradão)	FLORESTADA ARBORIZADA PARQUE GRAMÍNEO-LENHOSA	Planaltos tabulares e/ou Planícies	Com floresta de galeria Sem floresta de galeria
SAVANA-ESTÉPICA/ ESTEPE (Caatinga, Chaco, Campos e Campanha Gaúcha)	ARBORIZADA PARQUE GRAMÍNEO-LENHOSA	Depressão interplanáltica arrasada nordestina e/ou Depressão com acumulações recentes	Com floresta -de - galeria Sem floresta-de- galeria

FONTE: IBGE, 1992

XX.5 - Savana (Cerrado/Campos)

A Savana (IBGE, op.cit.) é definida como uma vegetação xeromorfa, preferencialmente de clima estacional (aproximadamente 6 meses secos), não obstante poder ser encontrada em clima ombrófilo. Caracteriza-se por árvores baixas e tortuosas, com casca grossa e rugosa, folhas grandes e duras, revestindo um tapete graminoso contínuo. Distribui-se principalmente pelo Centro-Oeste (MT, MTS e GO), Nordeste (BA, MA e PI), Norte (TO) e Sudeste brasileiro. É subdividida em quatro subgrupos de formações: Savana Florestada (Cerradão), Savana Arborizada (Campo-Cerrado), Savana Parque e Savana Gramíneo-Lenhosa (IBGE,op.cit.).

Pode estar associada com floresta-de-galeria ou sem floresta-de-galeria, sendo as primeiras bem marcadas quando se associam à Savana Parque ou Savana Gramíneo-Lenhosa. De igual modo, a Savana é bem caracterizada quando associada a pediplanos ou planaltos tabulares. No entanto, quando associada a relevo montanhoso, muitas de suas características são influenciadas pela topografia do terreno.

XX.6 - Savana-Estépica

O termo foi empregado para designar a área do "*sertão nordestino*" com dupla estacionalidade, uma área isolada no norte do Estado de Roraima e duas outras, também disjuntas chaqueanas – uma no extremo sul do Estado de Mato Grosso do Sul e outra na barra do rio Quarai, quando este desemboca no rio Uruguai, no Estado do Rio Grande do Sul (IBGE, op.cit.).

É composta, em geral, por plantas lenhosas espinhosas, de pequeno porte, com copa de forma circular, ramos de disposição radial e pouco adensados, revestindo um tapete graminoso contínuo. Subdivide-se em quatro subgrupos de formações: Savana-Estépica Florestada, Savana-Estépica Arborizada, Savana-Estépica Parque e Savana-Estépica Gramíneo-Lenhosa.

XX.7 - Estepe

O termo Estepe, de procedência russa, foi empregado originalmente na Zona Holártica e extrapolado para outras regiões do globo terrestre, inclusive à Neotropical sul-brasileira, face a homologia ecológica (IBGE, 1992).

Esta área subtropical, onde as plantas são submetidas à dupla estacionalidade – uma fisiológica provocada pelo frio das frentes polares e outra seca, mais curta, com déficit hídrico – apresenta uma fisiologia fisionômica, embora seja diferente da área original Holártica (IBGE, op.cit.).

Em território brasileiro, pode ser dividida em três subgrupos de formações: arborizada, parque e gramíneo-lenhosa. Dispõe-se em dois grandes tipos de relevo: pediplano gaúcho (campanha gaúcha) e pediplano nordestino (caatinga), e o planalto meridional (campos gerais).

A Estepe (Caatinga/Campanha Gaúcha) mostra árvores com folhas pequenas, muitas vezes providas de espinhos, entremeadas de cactáceas, revestindo um tapete graminoso estacional. Pode apresentar-se com ou sem-floresta-de-galeria.

XX.8 - Formações Pioneiras

Ao longo do litoral, nas planícies fluviais e mesmo circundando depressões aluvionares (pântanos, lagoas e lagoas), ocorrem freqüentemente terrenos instáveis cobertos deste tipo de vegetação. Esta é uma vegetação de primeira ocupação de caráter edáfico, que se instala nos terrenos rejuvenescidos pelas seguidas deposições de sedimentos marinhos nas praias e restingas, como também nos aluviões fluviomarinhos nas embocaduras dos rios e os solos ribeirinhos aluviais e lacustres. São essas as formações consideradas como pertencentes ao complexo vegetacional edáfico de primeira ocupação (formações pioneiras) (IBGE, op.cit.). Estão presentes ao longo do litoral, na desembocadura dos rios no mar, e também ao longo de rios e lagoas.

Pode ser dividida em vegetação com influência: marinha (restingas), fluviomarinha (manguezal e campo salino) e fluvial.

XX.9 - Vegetação de Transição (Tensão Ecológica)

São assim denominados os contatos entre dois ou mais tipos de classes de formações. Geralmente constituem uma área de transição, entre uma classe e outra.

XXI – DRENAGEM COMO INDICADORA DE MOVIMENTOS NEOTECTÔNICOS

XXI.1 – Definições

A Neotectônica, um ramo novo no vasto campo das geociências e mais especificamente da Geologia Estrutural, estuda, em verdade, os mais recentes processos e estruturas geológicas. Por isso mesmo traz consigo algumas questões: como proceder à sua identificação, e qual a linha divisória entre uma deformação recente e uma antiga?

Embora o estudo dos movimentos tectônicos recentes tenha sua origem no final do século XX, o termo Neotectônica foi usado pela primeira vez em 1948, pelo geólogo soviético V. A. Obruchev, que reconheceu a importância dos recentes e ativos processos geológicos, propondo que fossem estudados como um ramo independente das geociências. Posteriormente diversos pesquisadores usaram termos similares tais como: tectônica viva (Wegmann, 1955), novíssima tectônica (Schulz, 1968 apud Mescherikov, 1968) e tectônica ressurgente, Hasui (1990), sendo que, por sua vez, geomorfólogos procuraram combinar o fenômeno geomorfológico com a tectônica recente denominado-a de *morfoTECTÔNICA*.

Deste modo, *Neotectônica* pode ser definida como o estudo de jovens e recentes movimentos tectônicos que aconteceram no final do Terciário e na primeira metade do Quaternário (Obruchev, 1948 apud Gerbova & Tichomirov, 1982).

As melhores áreas para o estudo dos movimentos neotectônicos são regiões onde ocorrem sedimentos recentes, isto é, desde o Terciário Neogênico até o Holoceno. No cinturão Alpino a chamada “*paleotectônica*” desempenha um papel muito mais importante do que a Neotectônica, ao passo que regiões-tipo para tais estudos são aquelas com sedimentos terciário-quadernários, como bem exemplificado pelas bacias do rio Solimões e alto rio Xingu, e ilha de Marajó (Pantanal Paraense) na região Norte do Brasil, em que pese a carência de vias de acesso antropomórficas, como também no Pantanal Mato-grossense, na porção centro-oeste brasileira.

Portanto, a análise da drenagem e seus padrões constituem-se em um dos principais parâmetros na identificação de movimentos neotectônicos, no sentido de oferecer diretrizes e importantes indicações de sua existência. Os principais critérios para sua indicação são:

- presença de canais dos tipos meândrico, retilíneo, entrelaçado e anastomótico em um mesmo rio, com passagens abruptas ou mesmo gradativas de um tipo para outro;
- existência de capturas;
- regiões sem divisores ou com divisores de água mal definidos;
- ocorrência de diversos níveis de terraços em uma margem contrastando com a ausência dos mesmos na outra margem;
- presença de janelas, rochas do embasamento metamórfico mais antigo, encaixado em sedimentos cenozóicos;
- a análise dos padrões com fundamento em suas propriedades de drenagem e a análise de morfoestruturas, também podem ser indicativos importantes da presença de atividade neotectônica, em termos regionais. Por sua vez, a presença de cachoeiras, sob a forma de pontos de quebra, são indicações de falhas, a maioria das vezes produtos de reativação;

Uma primeira análise com respeito a movimentos neotectônicos pode ser feita nos padrões dos canais básicos: meândrico, anastomótico e entrelaçado. Schumm (1986) identificou 14 tipos, conforme apresentado na **Figura 17**, cuja identificação será, sem dúvida, uma boa ajuda na caracterização de tais movimentos.

No levantamento de sua porção central, como pode ser observado na **Figura 92a** (Ouchi, op. cit.) ocorrerá o padrão de barra entrelaçada, tanto a jusante como a montante do levantamento, por causa da pendente forte e a descarga de sedimento aumentada por causa da agradação. Por sua vez, serão formados terraços, na porção central do levantamento, devido a degradação, em razão da conseqüente erosão das porções mais elevadas. A tendência do entrelaçado na parte superior do canal pode ser menor do que na parte inferior, devido a pendente ser plana e a descarga dos sedimentos não

umentar. Barras alternadas com uma tendência de reticulado na parte superior, terraços e tendência à degradação na parte central e um padrão de entrelaçado-barras na porção inferior do canal do levantamento pode ser as feições dominantes.

Por sua vez, no caso de uma Subsidência de um Canal Entrelaçado, como visto na **Figura 92b** (Ouchi, op. cit.) vai ocorrer agradação da parte central e um canal retilíneo com barras transversais pode se desenvolver para jusante e barras alternadas a montante. Em alguns casos, freqüentes inundações e avulsão de canais podem formar múltiplos canais. No final do curso, a jusante, onde uma pendente convexa irregular tende a se formar, a degradação poderá surgir, com a formação de barras alternadas

As **Figuras 93 e 94** mostram em blocos-diagramas o levantamento e a subsidência de um canal entrelaçado, respectivamente, procurando ilustrar em terceira dimensão o que foi apresentado por Ouchi (op. cit.).

Vamos examinar o caso de um Canal Meândrico com carga suspensa ou mista, tanto no Soerguimento como na Subsidência. No Soerguimento a sinuosidade aumenta a jusante do levantamento e o vale fica mais verticalizado (**Figuras 95a e 96a**). A montante do levantamento um canal retilíneo pode ser esperado, além dos efeitos da barragem do levantamento pode ser aparente. Como resultado, poderá haver a inundação da planície de inundação e avulsão de canais, e condições para formação de um mangue com a deposição de material fino, podendo, ainda, se desenvolver um padrão reticulado. Os padrões sinuoso e reticulado ocorrem na parte inferior do canal do levantamento, quando em um rio de carga mista (**Figura 95a**), e o canal anastomótico se desenvolverá naquele de carga suspensa (**Figura 96a**). A convexidade formada pelo levantamento poderá ser reduzida pelo processo de degradação e a zona de mangue poderá ser drenada. Para rios de carga suspensa, que são mais estáveis e podem acomodar uma mais alta sinuosidade do que os rios de carga mista, o processo será mais lento (Ouchi, op.cit.).

O aumento da sinuosidade pode ocorrer a montante da subsidência de um rio meândrico (**Figuras 95b e 95b**). Na parte inferior do canal, é esperada uma condição similar a que ocorreu na parte superior do levantamento, com a formação de reticulado. No entanto, devido ao ajustamento do gradiente por agradação, os reticulados dispostos na parte inferior do canal da subsidência apresentam uma melhor condição para se desenvolver e permanecer, do que na parte superior do canal do lado do levantamento. O padrão reticulado de multicanal pode formar-se no canal inferior da subsidência para rios meândricos de carga suspensa (Ouchi, op.cit.). Para os rios de carga mista os reticulados ocorrem a jusante e ,a montante, vai ocorrer a avulsão e para os de carga suspensa ocorre a anastomose a montante e os reticulados a jusante.

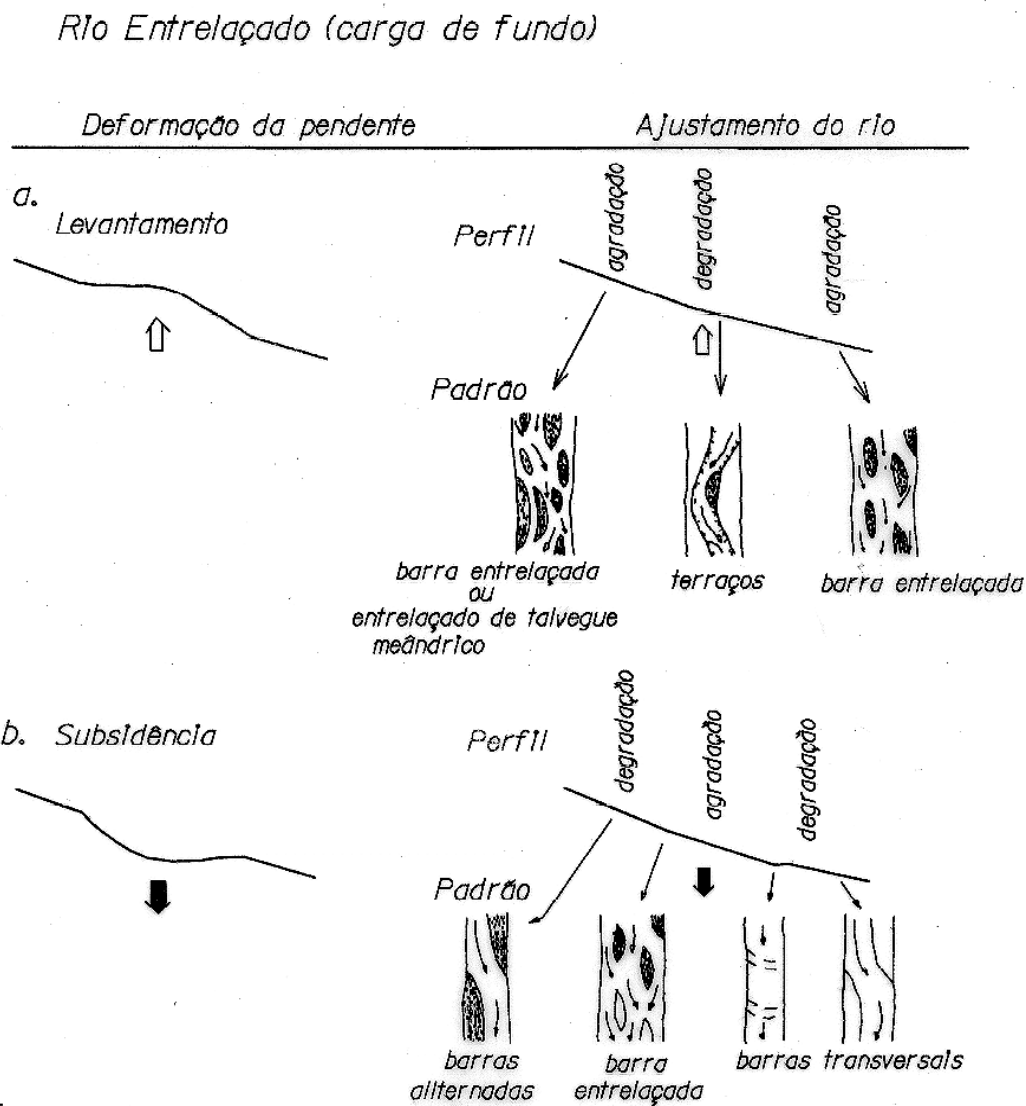
De qualquer sorte, uma atenção redobrada deve ser feita com relação aos tipos de canais e suas gradações, pois, como visto, eles são importantes indicativos da presença de efeitos tectônicos, como perfeitamente demonstrado por Ouchi (op. cit.).

Na bacia Amazonas-Solimões , por exemplo, são bastante evidentes as significativas mudanças sofridas pelo canal desses rios , em decorrência das movimentações tectônicas, e que ocasionaram deposições aluvionares diferenciadas. Nesse contexto podem ser caracterizados variados tipos de depósitos que marcam a história de deposição do rio, que começa por uma sedimentação fluviolacustre, que marca os períodos de acentuado rebaixamento com acumulação de sedimentos em lagos. A progressão da deformação, com a conseqüente migração do canal para sudoeste-sul, provoca um aumento de declividade acompanhada de deposição através de canais meandranes com sedimentos de barra em pontal. Inundações periódicas respondem pela ocorrência de depósitos de transbordamento, e a tendência do canal a um perfil de equilíbrio, em face da relativa quietude tectônica, está representada por barras longitudinais que formam as ilhas no meio do canal.

A **Figura 97** procura evidenciar os resultados de levantamento e subsidência em zonas costeiras como exemplificado por Summerfield (1991). A principal evidência de tais efeitos é a presença da formação de divisores de água e capturas, quando da presença de inversões de relevo.

A **Figura 98** ilustra modelo de padrões de falha ao longo da Falha de San Andreas, onde é marcante o deslocamento observado pelos ramos das drenagens, indicativo de movimentos destrais.

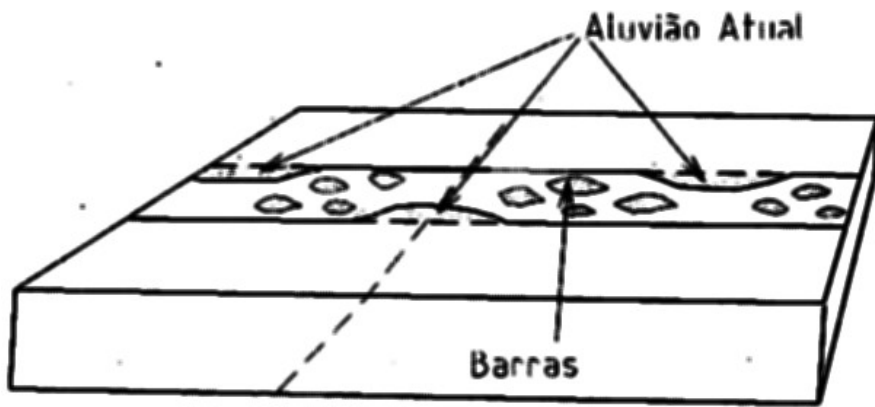
As **Figuras 99 e 100** são exemplos típicos de movimentação neotectônica na região da ilha de Marajó, no Estado do Pará, em que a existência de paleocanais atesta a movimentação de blocos, de origem transtensiva, associados a drenagens retilíneas. Dados sísmicos configuram essas regiões como zonas sismogênicas, vindo a confirmar, de certa maneira, esta interpretação.



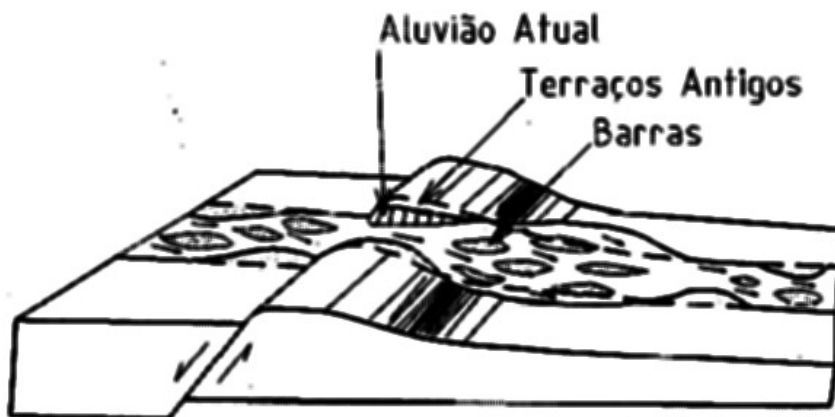
Ouchi, 1985

Figura 92: Ajustamento de um rio Entrelaçado.

Em dois casos: Levantamento e Subsidência. Ouchi, 1985. No levantamento tem-se, de montante para jusante, a formação de barra-entrelaçada, terraços e barra-entrelaçada. Por sua vez, na subsidência tem-se, de montante para jusante, barras alternadas, barra-entrelaçada e barras transversais



ANTES



DEPOIS

Figura 93: Levantamento de um rio Entrelaçado.

Blocos-diagrama procurando ilustrar o caso de levantamento da Figura 84 "antes e depois." Observar a formação de terraços em sua porção central.

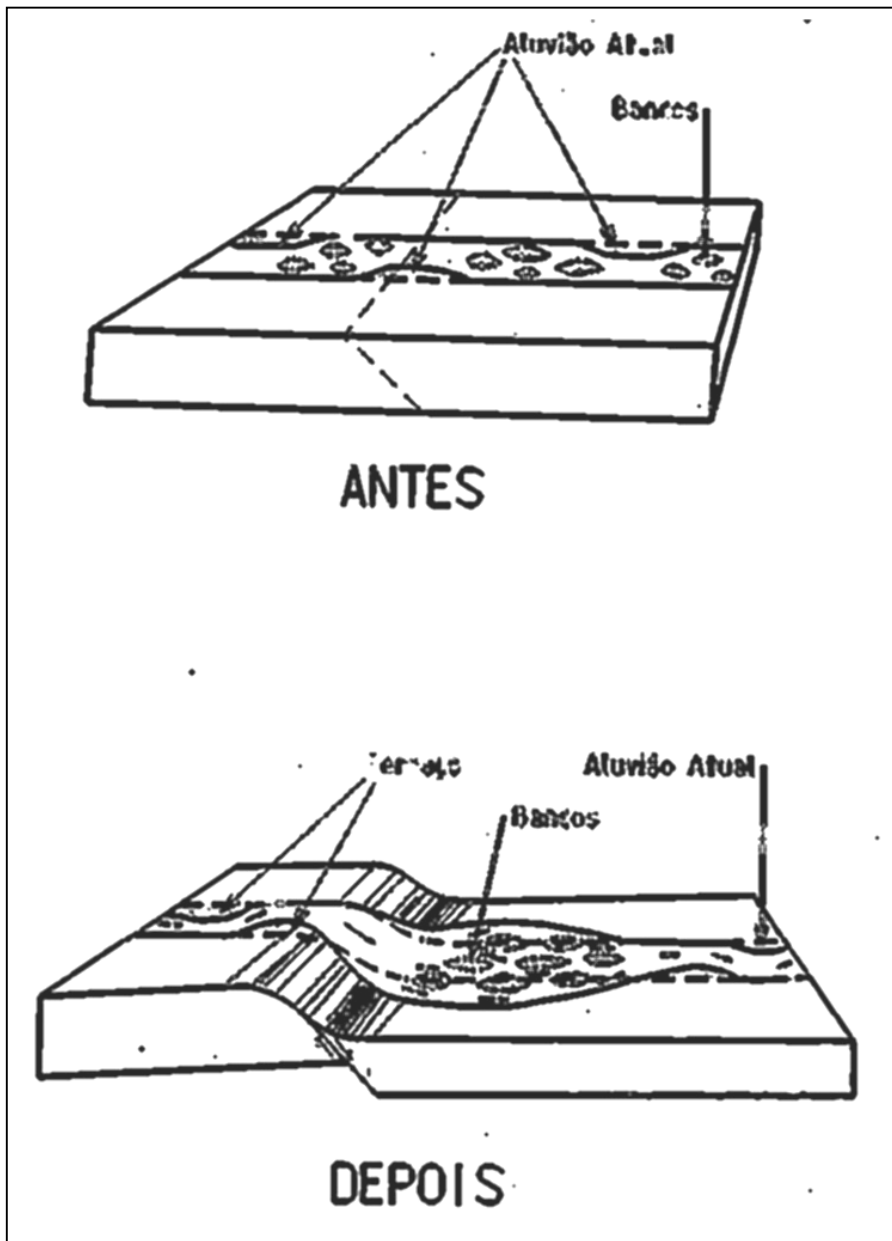
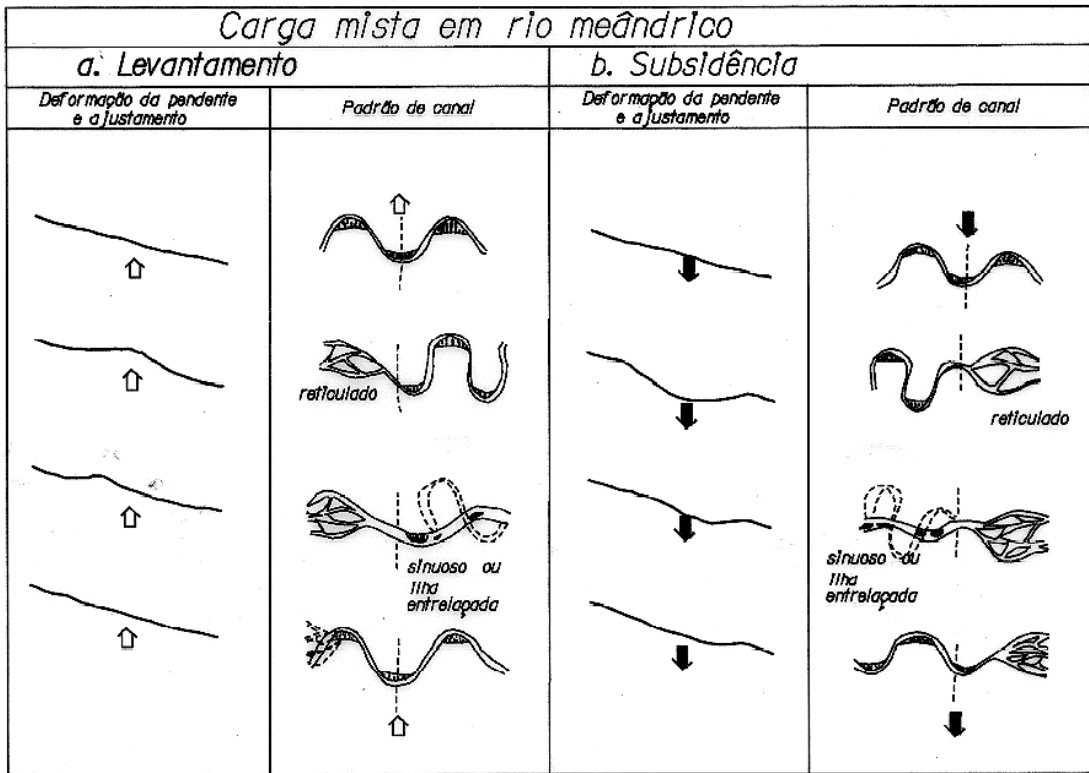


Figura 94: Subsidência de um rio Entrelaçado.

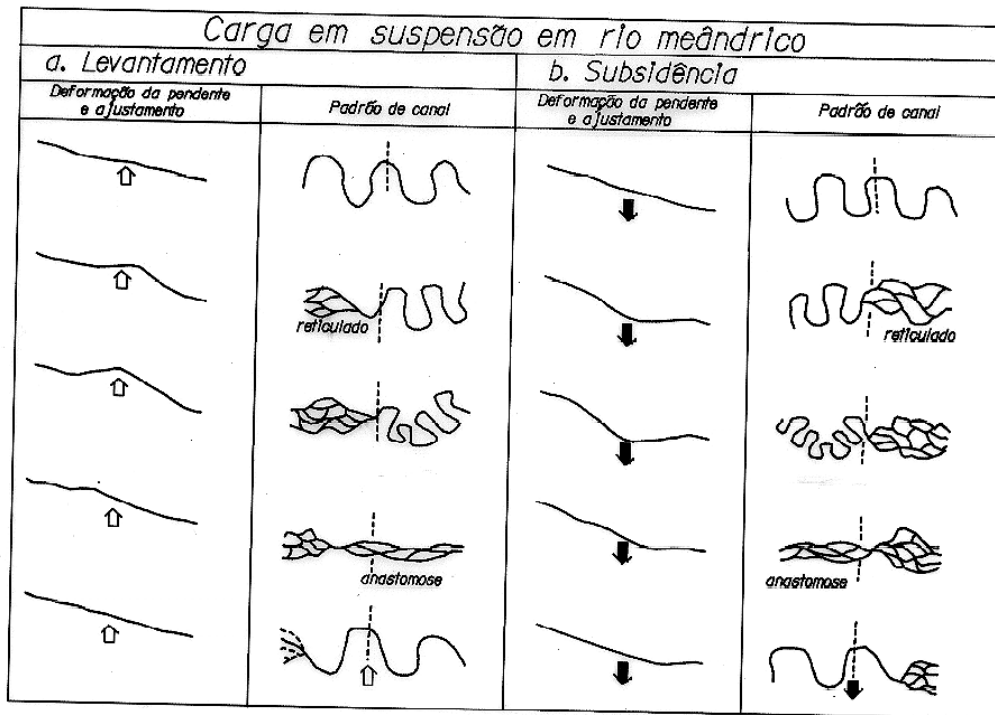
Blocos-diagrama procurando ilustrar o caso de subsidência da Figura 84 "antes e depois". Observar a formação de bancos alternados à montante.



Ouchi, 1985

Figura 95: Carga Mista em rio Meândrico.

Duas situações são apresentadas: Levantamento e Subsidência. Ouchi, 1985. Observar as modificações tanto a jusante como a montante, como o desenvolvimento de meandros abandonados e o padrão entrelaçado.



Ouchi, 1985

Figura 96: Carga em Suspensão em rio Meândrico.

A **Figura** procura exemplificar casos de levantamento e subsidência. Ouchi, 1985. Observar as modificações tanto a jusante como a montante, como o desenvolvimento de canais entrelaçados e anastomóticos.

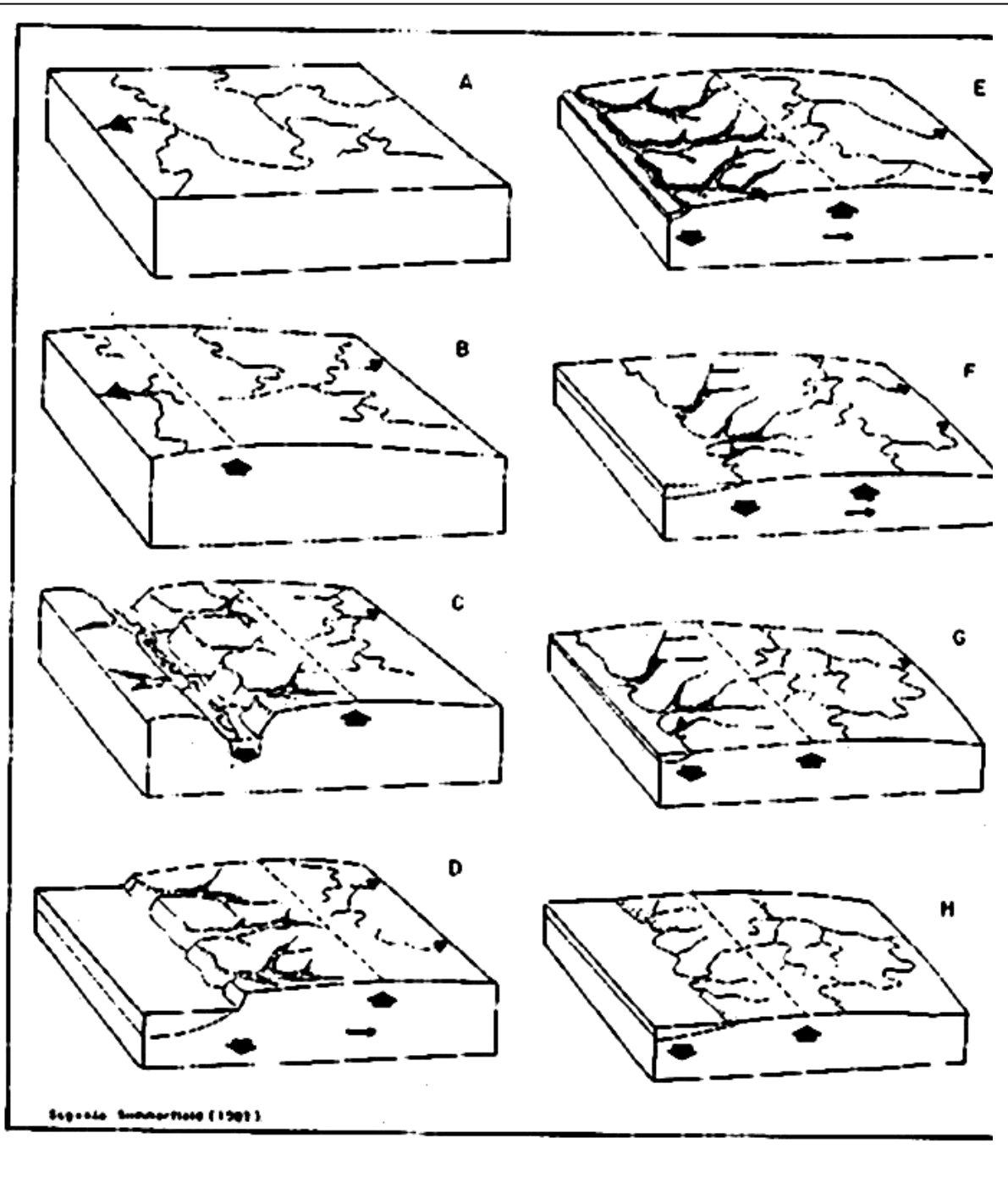


Figura 97: Levantamento e subsidência em zonas costeiras. Summerfield, 1991.
 Observar as modificações mostradas em diferentes estádios (A-H)

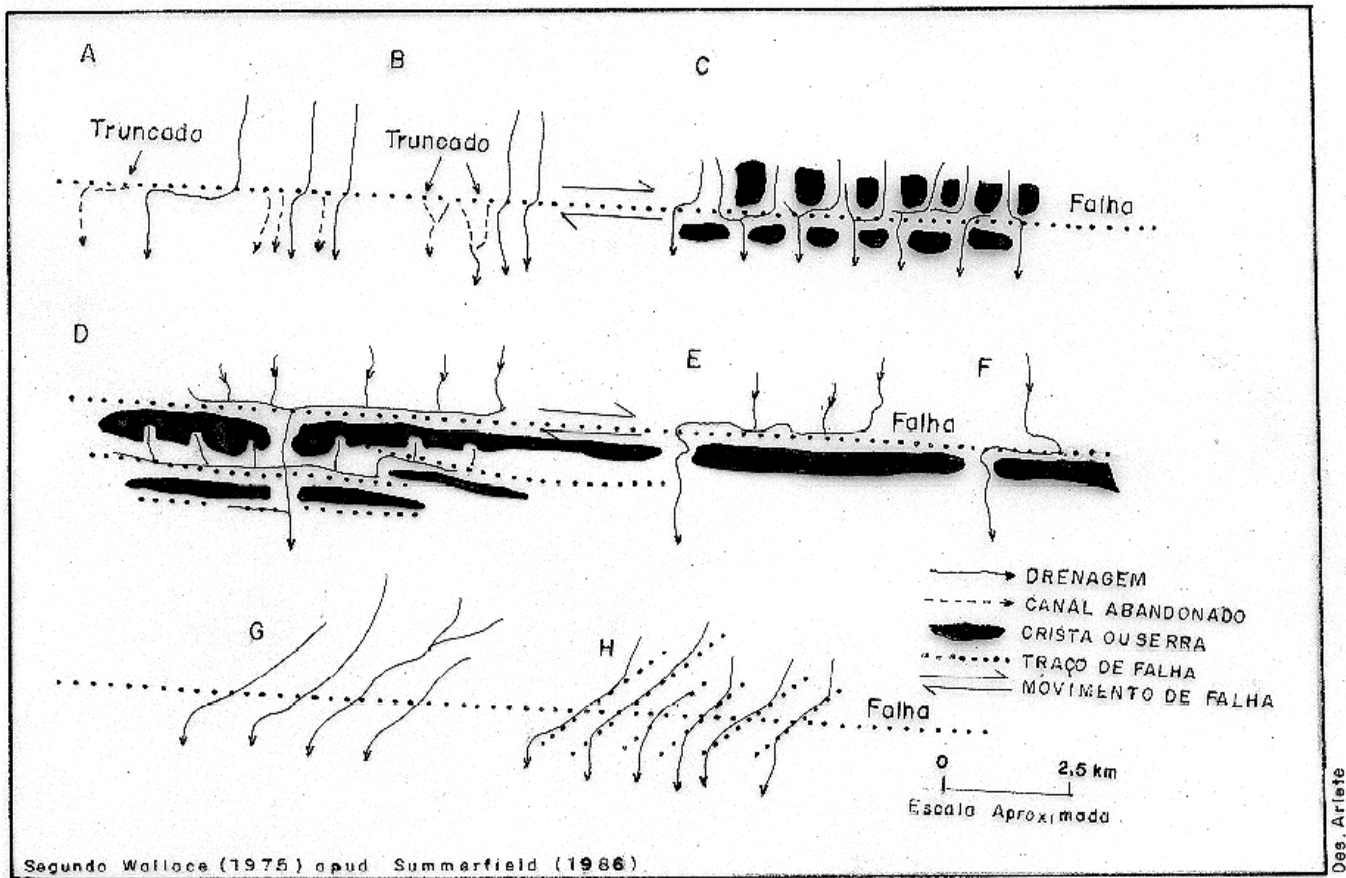


Figura 98: Modelos de padrões de Falha em drenagens ao longo da Falha de San Andreas (EUA). Representação esquemática de padrões de falhas em drenagens ao longo da Falha de San Andreas, na região de Carrizo Plain na Califórnia (EUA). A movimentação dextral é mostrada pelo deslocamento da drenagem e das feições geomórficas. O truncamento da drenagem também pode ser indicativo da presença da falha. Observar de A até H as feições indicativas. Segundo Wallace apud Summerfield, 1991.

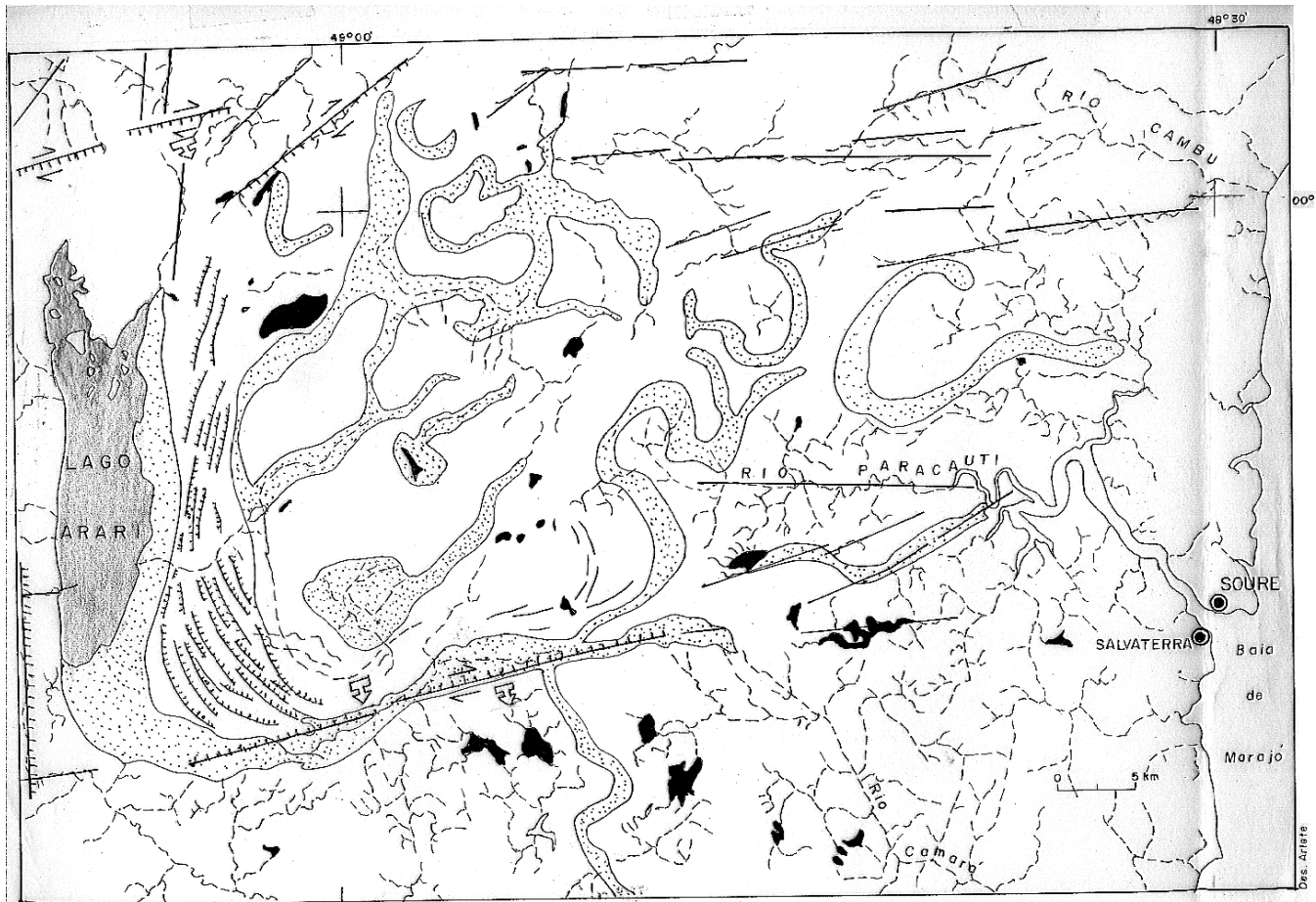
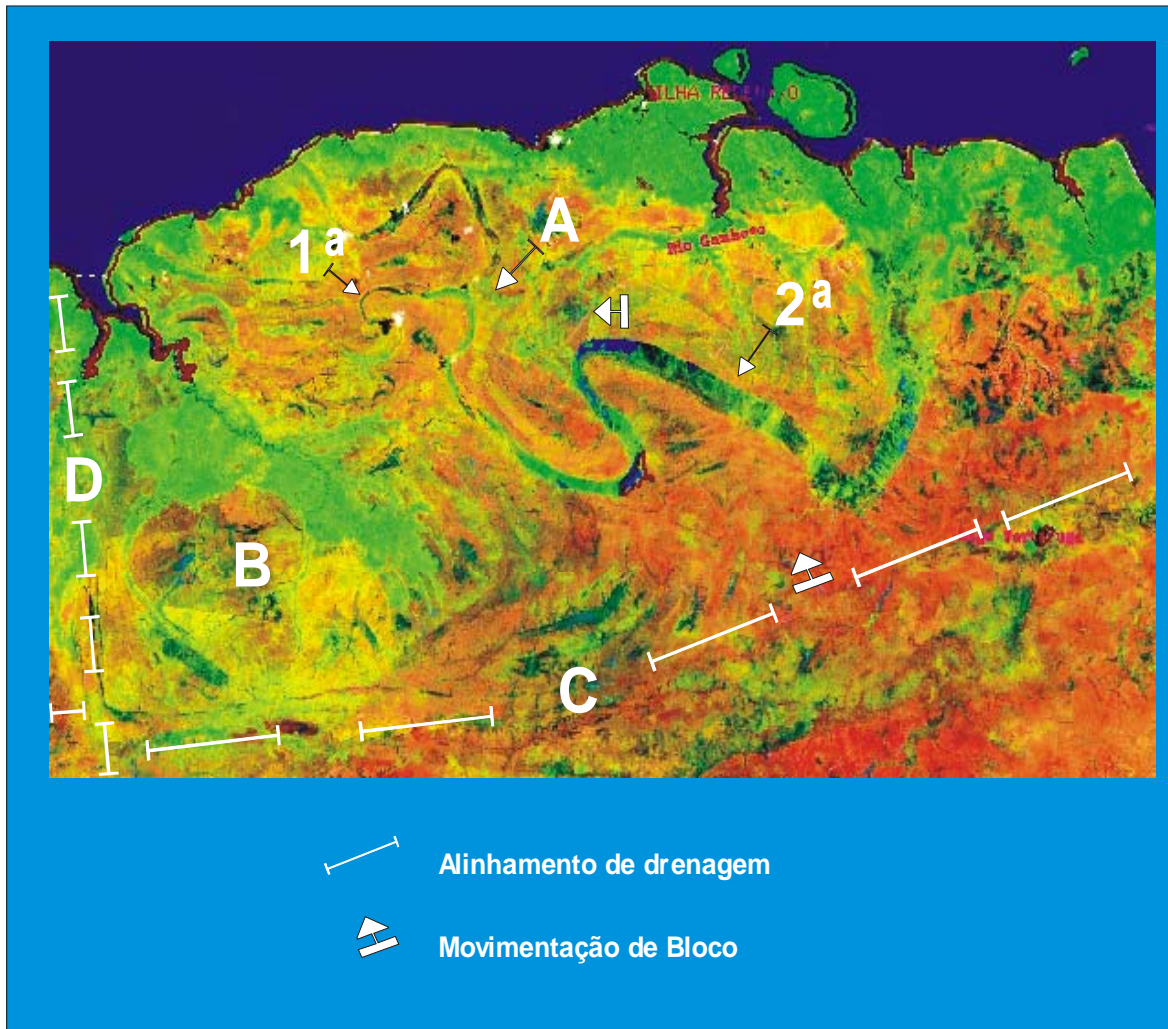


Figura 99: Neotectônica na região do Lago Arari (PA/Brasil).

Paleocanais (pontilhados) apresentam resquícios de falhas ENE-OSO relativas ao desenvolvimento de uma bacia do tipo afastamento (pull-apart), onde o lago Arari, drenagens controladas e os paleocanais (pontilhados) constituem evidências. Folha SA.22-X-B. Porção central da ilha de Marajó (PA). Os cordões fluviais denotam o caminho pretérito da drenagem. Observar a movimentação dos blocos. lagos em preto, drenagem em tracejado e cordões fluviais em traços cortados.



Estampa 16 – Imagem Landsat-TM-5, R5G4B3, 1999. Região de Chaves. Ilha de Marajó. (PA).

Observar a presença de duas gerações de paleodrenagens (1ª) e (2ª), pegadas de movimentos neotectônicos, retratando os padrões de drenagem palimpsesto e multibasinal. Zona de contato das duas gerações em (A) e grande incidência de pequenos lagos em (B). Fato marcante é a retilinearidade das drenagens em (C) e (D), fundamentando uma bacia do tipo *pull-apart* (afastamento), limitada por falhas de gravidade oblíquas. Em razão do posicionamento de, pelo menos, duas gerações de paleomeandros, pode-se interpretar as movimentações dos blocos e pela retilinearidade das drenagens o posicionamentos das citadas falhas, que seriam em (C) e em (D). Ilha em (E) com cerca de 5,5 km de extensão longitudinal. Norte no topo. Cf Figura 100.

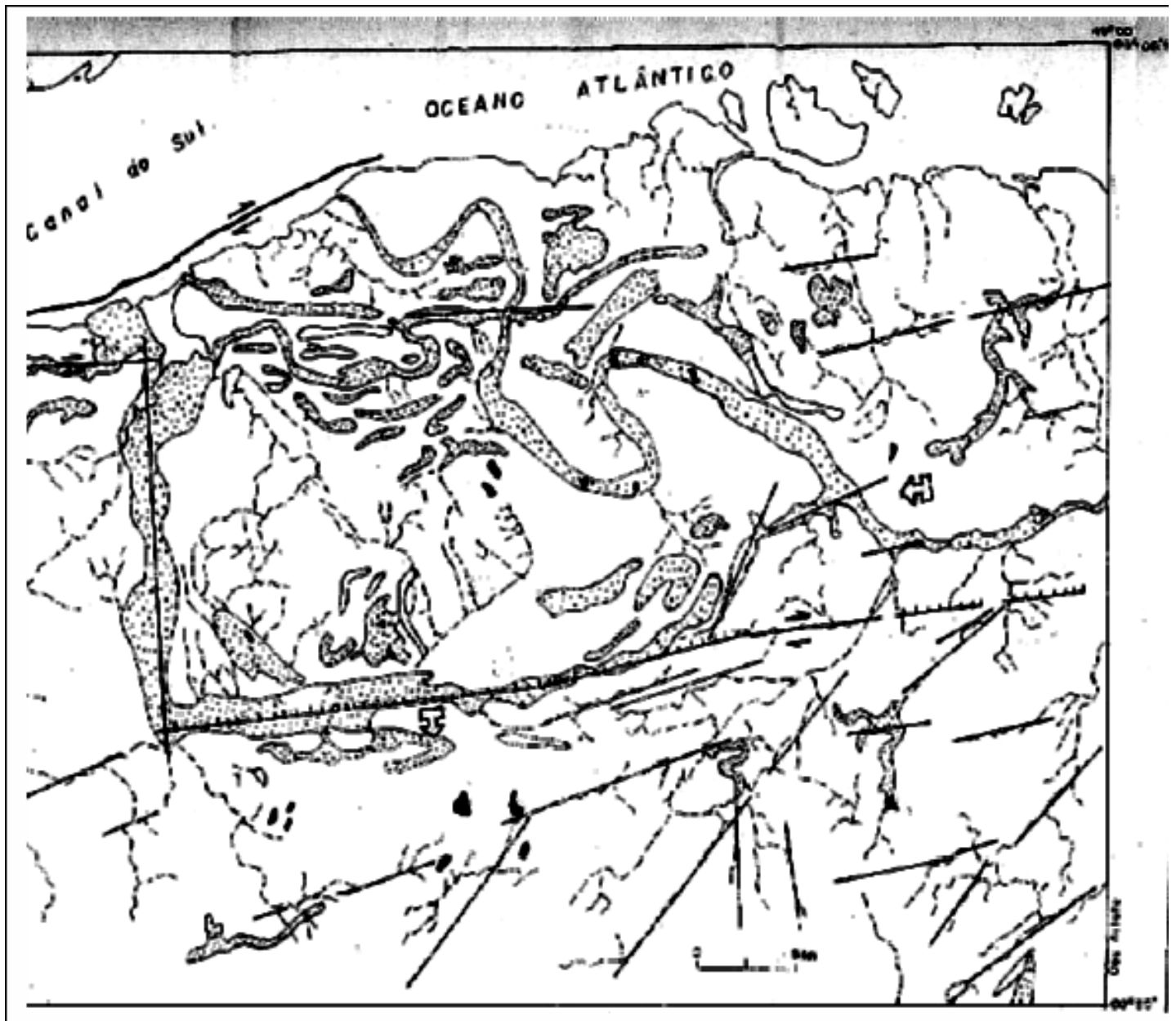
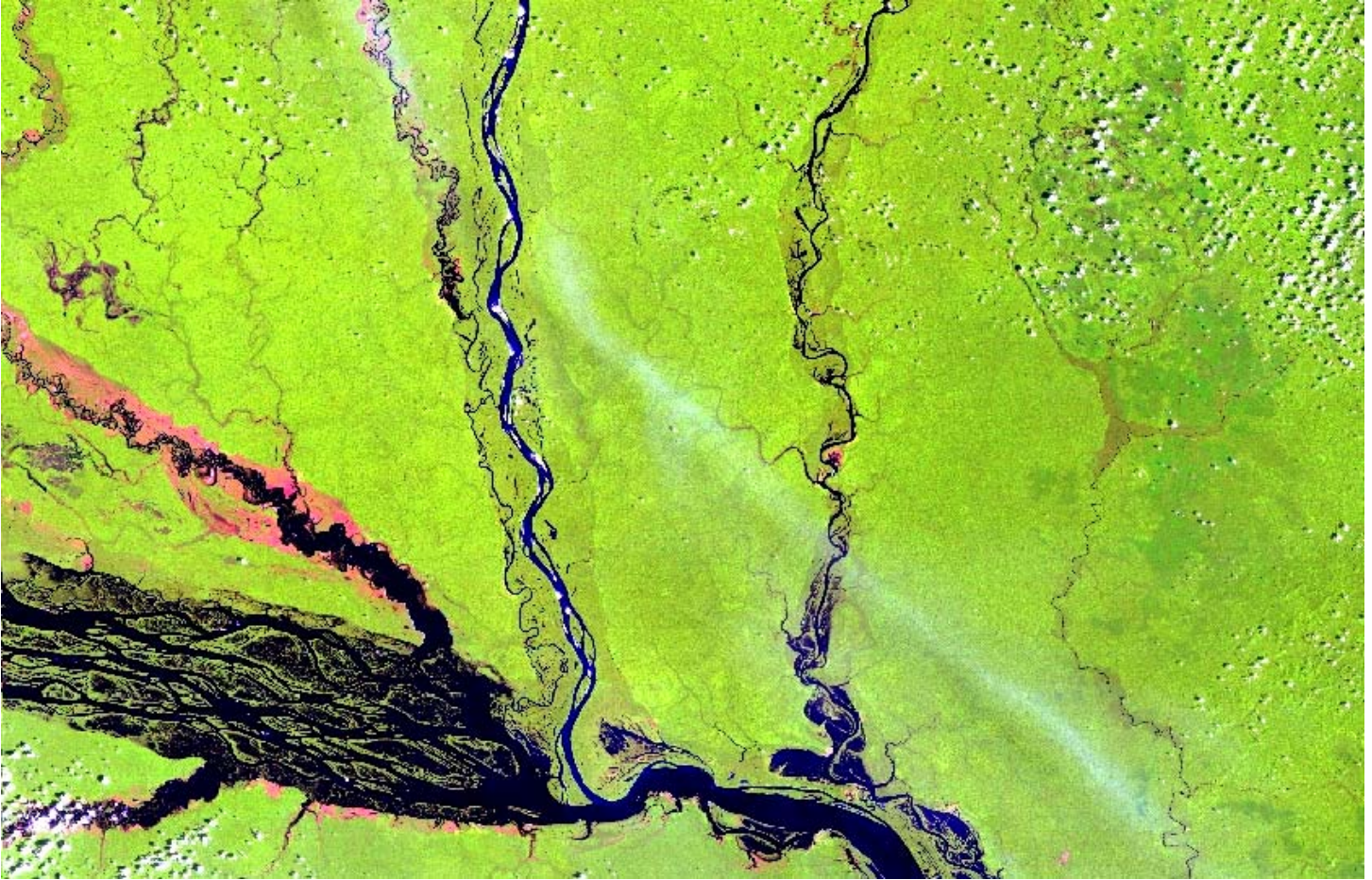


Figura 100: Neotectônica da região de Chaves (PA/Brasil).

Paleocanais (pontilhados) orientados e de pelo menos duas gerações são indicativas de movimentação de blocos. Um N-S e outro E-O. Folha SA.22-X-B. Lagos em preto e drenagem em traços. Região norte da ilha de Marajó (PA).



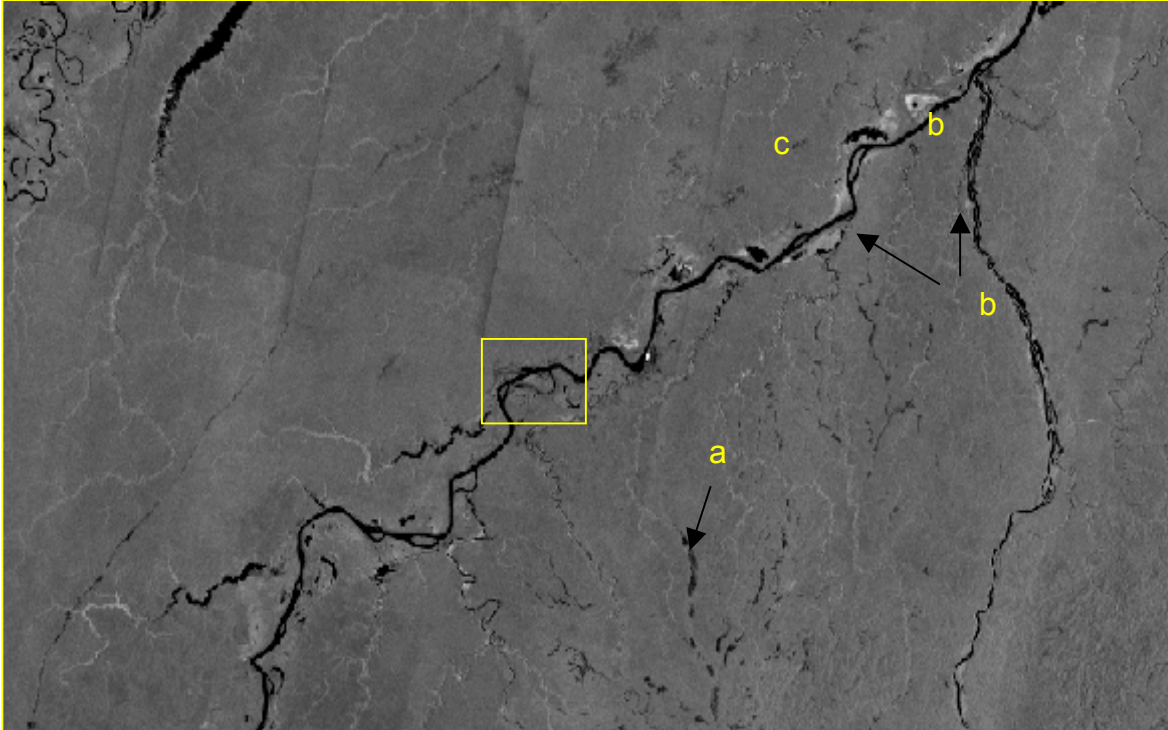
Estampa 17 - Imagem Landsat-TM-5, R5G4B3, 1996. Região dos rios Branco e Jauaperi (AM). Canal.

Atentar para a presença de um canal interligando o rio Branco (a esquerda) ao rio Jauaperi (a direita), aqui chamado informalmente de canal Branco-Jauaperi. Tal feição ainda não havia sido reportada nos mapas cartográficos da área e reveste-se de importância, pois denota a atuação de eventos neotectônicos na região. Tal assertiva pode ser visualizada na imagem acima nos principais rios. No rio Negro (canto inferior esquerdo) pode-se vislumbrar parte do arquipélago de Anavilhanas (exemplificando o canal do tipo entrelaçado (braided). No rio Branco (a direita) tem-se canais retilíneos com barras e no rio Jauaperi (a esquerda) tem-se a transição de retilíneo com barras; meândrico com barras e anastomótico na sua foz. Observar o estrangulamento no rio Negro na foz dos rios Jauaperi e Branco. Distância média entre ambos é de 32 km. No Jauaperi, próximo a foz, tem-se o canal meândrico em rio controlado estruturalmente e correndo paralelo ao rio Branco, um exemplo típico do que é chamado de Yazoo, porquanto é paralelo ao rio principal (Branco), embora sejam marcante seus meandros. O padrão dendrítico-retangular domina na região. Norte no topo. Lima (2002).

As **Estampas 17 e 18** retratam feições de drenagem em que são marcantes as evidências de neotectônica. Presença de canal interligando duas drenagens de ordem maior (**Estampa 17**) e defluência em razão de movimentação de bloco(**Estampa 18**).

Estampa 18 – Imagem de Radar de Visada Lateral, JERS-1, Banda L, 10/1995. Região do Médio rio Madeira (AM).

Lineamento do rio Madeira de orientação NE-SO. Paleodrenagem em (a) que fluía para sul e uma drenagem atual em (b) que corre para norte, havendo uma movimentação de bloco nesse sentido. O vale do Madeira seria uma feição positiva. No retângulo têm-se as Estampas 2 e 3. Em (c) reta com 35 km de comprimento, Norte no topo.



XXII – INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA-GEOMORFOLÓGICA DA DRENAGEM

XXII.1 – Metodologia

Objetivando exemplificar quais informações podem e devem ser obtidas, fundamentadas na drenagem, são apresentados a seguir diversos exemplos considerados didáticos, referidos especialmente à Amazônia brasileira, por ser a região mais propícia para tal tipo de estudo, embora seja carente de informações e pouco divulgada, em território brasileiro.

Merece ser ressaltado que alguns procedimentos metodológicos devem ser seguidos, a fim de tornar a interpretação exeqüível e com alto grau de confiabilidade. Como embasamento para tal, foram introduzidos inicialmente inúmeros conceitos que obedeceram a uma seqüência natural, com o intuito de facilitar tal entendimento, e com uma grande abrangência. O primeiro passo consiste, essencialmente, no delineamento da drenagem, em imagens de produto de sensores remotos – Radar de Visada Lateral (SLAR), Landsat-TM, IKONOS, SPOT, etc., na escala selecionada pelo próprio intérprete, de modo que possa se inteirar de suas diferentes nuances texturais e também se familiarizar com a área em estudo. Esta metodologia tem como ponto de partida a análise das propriedades da drenagem cujos parâmetros foram vistos no capítulo VI, e que convenções e abreviaturas encontram-se na **Tabela 14**. A definição dos padrões e subpadrões de drenagem, de grande préstimo na identificação de tipos litológicos e texturas de drenagem, constituem as etapas seguintes e não podem ser esquecidas, nem diferidas. Posteriormente, deverão ser analisados as formas de relevo (**Tabela 8**), índices de dissecação (**Tabela 9**) e morfoestruturas (**Figura 81**). É importante, ainda, a observação da relação da drenagem com os tipos litológicos (**Tabelas 10 e 11**), com os tipos de solos (**Tabela 12**) e com as formações florestais (**Tabela 13**).

Os informes de cunho geológico diretamente relacionados à drenagem constituem-se nas próximas etapas, em especial no tocante à delimitação de depósitos aluviais atuais e subatuais (terraços), dos cordões fluviais, recentes e antigos; e das paleodrenagens. Estas informações são de grande valia na interpretação estrutural relativa à neotectônica.

Deste modo, cotejando os dados obtidos nas etapas anteriores com as informações, essencialmente, geológicas e geomorfológicas, é possível, em tese, entender o desenvolvimento da drenagem desde suas origens até os tempos atuais, como uma premissa inicial dos trabalhos de laboratório. Posteriormente, os dados de campo irão fornecer melhores caminhos a serem trilhados.

Tabela 14 – Convenções e Abreviaturas Utilizadas na Interpretação da Drenagem

TABELA XIV
CONVENÇÕES E ABREVIATURAS UTILIZADAS NA INTERPRETAÇÃO DA DRENAGEM




1 - QUANTO À ESTRUTURA GEOLÓGICA	
- Conseqüente	- c
- Subseqüente	- s
- Reseqüente	- r
- Obseqüente	- o
- Inseqüente	- í

2 - QUANTO AO PADRÃO DE DRENAGEM	
- Dendrítico - DD	Anelar - AN
- Paralelo - PL	Multibasinal - MB
- Retangular - RT	Contorcida - CT
- Treliça - TR	Complexa - CX
- Radial - RD	Defluente - DF
- Antropogenético -AT	Palimpsesto - PS
- Yazoo - YZ	

3 - GRAU DE CONTINUIDADE	
- Alto - κa	
- Médio - κm	
- Baixo - κb	

4 - QUANTO À DENSIDADE	
- Alta - δa	
- Média- δm	
- Baixa - δb	




5 - QUANTO AO GRAU DE INTEGRAÇÃO	
- Alto - ιa	
- Médio - ιm	
- Baixo - ιb	

6 - QUANTO À TROPIA	
- Fraca - 	
- Média - 	
- Forte - 	

07 - QUANTO À SIMETRIA

- Fraca - 
- Média - 
- Forte - 




08 - QUANTO AO ÂNGULO DE JUNÇÃO

- Agudo - 
- Reto - 
- Obtuso - 


09 - QUANTO À INTENSIDADE DE ESTRUTURAÇÃO

- Muito Fraca - 0,2
- Fraca - 0,4
- Moderada - 0,6
- Forte - 0,8
- Muito Forte - 1,00








10 - SINUOSIDADE

- Baixa - 
- Média - 
- Alta - 

11 - RETILINEARIDADE

- Fraca - 
- Média - 
- Forte - 

12 - QUANTO AO TIPO DE CANAL

- Retilíneo - 
- Retilíneo com barras - 
- Meandrante muito sinuoso - 
- Meandrante pouco sinuoso - 
- Meandrante - 
- Anastomótico - 
- Entrelaçado - 

13 - QUANTO À CLASSE DA ROCHA

- ÍGNEA - I
- SEDIMENTAR - Σ
- METAMÓRFICA - M

14 - QUANTO AO TIPO DE SOLO

-

15 - QUANTO ÀS CLASSES DE FORMAÇÕES FLORESTAIS

Vide Tabela XIII

16 - QUANTO À ORDEM

- Primeira Ordem - 1º
- Segunda Ordem - 2º
- Enésima Ordem - nº


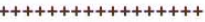









17 - QUANTO À MAGNITUDE (Breve)

- 1
- 2
- n

18 - RELAÇÃO DE BIFURCAÇÃO

- Vide Tabela

19 - CONVENÇÕES

- Limite entre padrões - 
- Sinuosidade - 
- Divisor de águas - 
- Pontão - 
- Depressão - 
- Baixo Estrutural - 
- Alto Estrutural - 
- Baixo Estrutural com Caimento - 
- Alto Estrutural com caimento - 
- Baixo Estrutural com duplo caimento - 
- Alto Estrutural com duplo caimento - 
- Domo - 
- Bacia - 
- Movimentação de Bloco - 
- Alinhamento de Drenagem - 
- Alinhamento de Drenagem com Movimentação Direcional - 
- Alinhamento de Drenagem com Movimentação Normal - 
- Alinhamento de Drenagem com Movimentação Compressiva - 
- Alinhamento de Drenagem com Movimentação Mista - 
- Caimento inclinado - 
- Caimento vertical - 
- Sem Caimento - 

Obs.: Utilizar grafite preto

XXII.1.1 – Propriedades de Drenagem

As propriedades de drenagem, com suas convenções e abreviaturas descritas no capítulo VI e percorridas na Tabela XIV, são: grau de integração, grau de continuidade, densidade, tropia, grau de controle, sinuosidade, retilinearidade, angularidade, ângulo de junção e assimetria.

Torna-se importante o traçado dos divisores de água, a fim de caracterizar melhor as bacias e sub-bacias. Nestas, para um melhor juízo poderão ser feitos estudos de hierarquia fluvial, e análises morfométrica e topológica (**Capítulo V**).

XXII.1.2 – Padrões de Drenagem e Tipo de Canal

É importante a identificação dos padrões de drenagem (abreviaturas na e significado na **Tabela 14**), e o tipo de canal (convenções na **Tabela 14** e significado no Capítulo VII). Aliás, quando se for estudar em uma área a primeira coisa a ser feita poderia ser a delimitação dos padrões de drenagem, objetivando selecionar zonas homogêneas à semelhança de *textura de drenagem*, como o primeiro passo para análise das propriedades de drenagem e definição dos divisores de água nos estabelecimentos das bacias e suas divisões.

XXII.1.3 – Análise das Formas de Relevo

As formas de relevo desempenham um papel admirável como coadjuvante na interpretação da drenagem e podem ser analisadas em termos de formas de topo e pendente, e tipo de vale (**Tabela 8**).

XXII.1.4 – Índice de Dissecação

A **Tabela 9** e Capítulo XIV tratam dos índices de dissecação, significativos em termos de textura de drenagem, nível de aplanamento e resistência à erosão.

XXII.1.5 – Litologias, Solos e Vegetação

A drenagem pode fornecer importantes auxílios ao estudo de litologias como observado nas Tabelas 10 e 11, da mesma forma que ao se estabelecer relações com os tipos de solos e formações florestais (Tabelas 12 e 13), alguns elementos podem ser alcançados.

XXII.1.6 – Estruturas Geológicas

A definição do tipo de drenagem em relação à estrutura geológica (**Tabela 14**), como também a caracterização de morfoestruturas (**Figura 81**), com base na *Intensidade de Estruturação* (IE) e *Fator de Confiabilidade* (FC), são os passos preponderantes para um melhor entendimento das mesmas. Em verdade, a identificação de zonas distensionais, compressionais, direcionais ou mistas constituem-se em uma das tarefas mais importantes neste tipo de análise, pois com base nesses dados é que poderá ser obtido o posicionamento aproximado dos eixos dinâmicos σ_1 (sigma 1), σ_2 (sigma 2) e σ_3 (sigma 3) e suas variações.

Teoricamente os mesmos posicionam-se, tridimensionalmente, perpendiculares entre si. No entanto, nem sempre é possível estabelecer tais relações em trabalhos de interpretação de escritório, necessitando, deste modo, de verificações exaustivas de campo. Pelo exposto apresentam-se nos exemplos práticos os eixos dinâmicos σ'_1 (sigma linha 1), σ'_2 (sigma linha 2) e σ'_3 (sigma linha 3) como variações dos eixos dinâmicos principais, e deste modo não necessitando estar perpendiculares entre si como consta na teoria.

Tabela 15: MODELO DE PREENCHIMENTO

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
Localização	Sucinta, com indicação de acidentes geográficos e drenagem principal.
Geologia	Descrever conforme literatura disponível.
Geomorfologia	Descrever conforme literatura disponível.
Solos	Descrever conforme literatura disponível.
Vegetação	Descrever conforme literatura disponível.
Propriedades de Drenagem	Grau de integração, grau de continuidade, densidade, tropia, grau de controle, sinuosidade, retilinearidade, angularidade, ângulo de junção e assimetria
Padrões de Drenagem	Dendrítico, Paralelo, Retangular, Trelença, Radial, Anelar, Multibasinal, Contorcida, Complexa, Palimpsesto, Antropogenético e Defluente
Tipo de Canal	Retilíneo, Retilíneo com barras, Meandrante muito sinuoso, Meandrante pouco sinuoso, Anastomótico e Entrelaçado.
Índice de Dissecção	Baixo, Médio e Alto
Formas de Relevo	Topo, Pendente e Vales
Dados Complementares	Sinuosidade, Alinhamento de drenagem, Divisor de águas, Pontão e Depressão.
Dados Estruturais	Orientação de Sigma1, Sigma2 e Sigma3; Regime tectônico e tipos de estruturas resultantes.
Interpretação Final	Destacar a interação geologia e geomorfologia

XXII. 2 – Exemplos Práticos

Foram selecionados 7 exemplos práticos, dentre inúmeros ocorrentes em território brasileiro, em sua maioria localizados na Região Amazônica, principalmente, por abrangerem domínios com relevo plano e de idade cenozóica, e representarem uma região de pesquisa do autor.

Tal escolha recaiu, principalmente, em áreas estudadas nos Blocos I e II do contrato IBGE/CISCEA/SIVAM, nas folhas Içá (SA.19) e Manaus (SA.20), respectivamente, relativas ao trabalho que o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) está desenvolvendo para o citado projeto. Parte das interpretações aqui apresentadas são produto das observações colimadas pelo autor e, algumas vezes, fruto de discussões científicas com a equipe técnica do IBGE envolvida nesse trabalho.

Certamente alguns questionamentos deverão surgir com respeito às ilações aqui mostradas, o que de forma alguma as invalidam, principalmente por encerrarem inúmeras variáveis, dentre os quais o clima, em regiões com parco conhecimento do terreno.

XXII.2.1 – Região dos rios Guamá e Tocantins (PA/Brasil)

Esta região situa-se no nordeste paraense, envolvendo as bacias dos rios Guamá e Tocantins, assim como a porção oriental da ilha de Marajó. No quadrante nordeste localiza-se a cidade de Belém, e a sudoeste encontra-se a UHE de Tucuruí (o lago não está indicado) cuja barragem foi construída a montante da cidade homônima (**Figura 101; Estampas 19 e 20**).

No quadrante sudoeste ocorre o embasamento da região composto por rochas metamórficas (M_1) (laranja), e ígneas (I_1) (verde escuro), de idade paleoproterozóica e neoproterozóica, respectivamente. Imediatamente a leste, ocorrem metassedimentos e uma janela de metaígneas máficas (M_2) (violeta) do Neoproterozóico. No restante da área dominam sedimentos com idade variando desde o Cretáceo até o Quaternário (Σ_1 , Σ_2 e Σ_3). Os sedimentos (psamíticos) cretáceos (Σ_1) (azul claro) e terciários (psamíticos) (Σ_2) (verde) assomam no quadrante sudeste, enquanto os quaternários (psamopelíticos) (Σ_3) (amarelos) estão bem expostos na ilha de Marajó e na margem esquerda do rio Tocantins (PROJETO RADAM, 1974). **Figura 101.**

Três domínios morfoclimáticos estão bem definidos e guardando estreita relação com os terrenos geológicos: planaltos em colinas, no embasamento pré-cambriano; planaltos rebaixados ou dissecados nos terrenos terciários e cretáceos; e planícies inundáveis nos sedimentos quaternários da ilha de Marajó e margem esquerda do rio Tocantins (PROJETO RADAM, op. cit.)

No quadrante sudoeste ocorrem solos Podzólicos Vermelho-Amarelos; nas planícies inundáveis da ilha de Marajó e margem esquerda do rio Tocantins estão presentes solos hidromórficos e no restante da área, onde dominam platôs e platôs rebaixados, assomam os Latossolos (PROJETO RADAM, op. cit.)

Em termos fitoecológicos é marcante a presença de savana (campos) na ilha de Marajó, floresta densa aluvial no vale dos principais rios e floresta densa ombrófila de platôs e submontana no restante da área (PROJETO RADAM, op. cit.).

Observam-se diferenças quanto à densidade (δ), grau de integração (ι), grau de continuidade (κ) e a tropia (τ) nas drenagens que compõem os diferentes padrões. Merecem destaques as retilinearidades do rio Guamá (E-O) e a do rio Capim, este de orientação meridiana. Na bacia do rio Tocantins torna-se marcante a inflexão de cunho destralaixo de Cametá, a retilinearidade de seu curso e a presença de canal retilíneo com barras. Na ilha de Marajó a tropia da drenagem é visível, dominando as orientações E-O e N-S. Na Figura 101 procurou-se dar destaque para essas propriedades através das indicações das letras gregas que representam as mesmas. Por sua vez, os símbolos de movimento de bloco e de assimetria são mostrados. Ressalte-se que ao norte do rio Guamá na unidade (Σ_2) (verde) houve movimentação no bloco alto para Norte, o mesmo ocorrendo com o bloco baixo, com mergulho oposto ao indicado pelo símbolo.

Dentre os vários padrões de drenagem merecem evidência o Anelar (AN), disposto ao norte do rio Guamá e na margem direita do rio Capim, (IE = Muito Forte e FC = Forte) e o Contorcido (CT), nas cabeceiras do rio Capim (IE = Forte e FC = Moderado). O padrão Retangular (RT) domina na área como um todo, porém seu maior destaque é na ilha de Marajó. Em todos os casos denotam um marcante controle estrutural, como pode ser visualizado, com detalhes, nas figuras 91 e 92.

Índices de dissecação são variáveis, prevalecendo na região platôs com pendentes dissecadas e baixos platôs. Ângulos de junção, assimetria, hierarquia fluvial, divisor de água (*watershed*) e o comportamento da drenagem em relação à estrutura geológica são indicados na **Figura 101**. Neste último caso são mostrados exemplos de drenagens dos tipos conseqüente (c) e subseqüente (s). Observar o movimento destraldas drenagens (alinhamento de drenagem com movimento) evidenciados pelo padrão retangular, cujo principal exemplo é a inflexão do rio Tocantins. Vide Tabela XIV.

Cunha (1982) chamou a atenção para o controle estrutural da drenagem nesta região relacionando-o a dados gravimétricos. No entanto, significativa contribuição na análise dessas morfoestruturas neotectônicas devem-se a Costa et al. (1996) quando reportaram para o Terciário Superior a formação de dois compartimentos, um transtensivo e outro transpressivo. O transpressivo ocupa uma área entre as cidades de Marabá e Paragominas (sul de Tucuruí) e seus limites norte e sul correspondem a um feixe de falhas transcorrentes destraisde orientação E-O. Por sua vez, o compartimento transtensivo abarca a ilha de Marajó (Lima et al., 1996) e o extremo nordeste do Pará. Exemplos espetaculares podem ser evidenciados pelas bacias do tipo *pull-apart*, bem exemplificados nas figuras 91 e 92.

Para a fração Norte (vide cartograma da Figura 93) σ'_2 teria orientação NO-SE, e σ'_3 ONO-ESSE, ambos com disposição horizontal. Do mesmo modo, σ'_1 teria posição vertical. Como resultado surgiram várias estruturas romboédricas transtensivas, a exemplo do que ocorre na ilha de Marajó (**Figuras 99 e 100**), com recobrimento à direita, muitas bem definidas por drenagens retilíneas associadas a paleocanais. Por sua vez, a margem esquerda do rio Tocantins, a jusante de Tucuruí, onde se localiza a sede do município de Cametá, mostra evidências de transpressão, evidenciado pela estrutura dômica a nordeste de Belém. Do mesmo modo, a falha normal disposta no rio Guamá deve ser oblíqua destral. Para a parte Sul (vide cartograma da **Figura 101**) Sigma 1 teria σ'_1 orientação aproximadamente meridiana e σ'_2 cerca de E-O, com disposições horizontais. Em razão disso, σ'_3 seria vertical. Como resultado dessa interação de tensões surge o Alto Estrutural do Alto rio Capim, com inflexão do mesmo (Lima, 1995), com disposição quase E-O,

reforçado pela presença de uma janela do embasamento, no alto rio Moju (M₂), devido às características transpressivas com recobrimento à esquerda.

Resumo da Figura 101

Propriedades de Drenagem versus Litologias

Unidade Geológica	Litologias	Propriedades de Drenagem						
		Grau de Integração (ι)	Densidade (δ)	Sinuosidade	Angularidade	Ângulo de Junção	Grau de Continuidade (κ)	Tipo de Canal
Σ ₃	Arenitos, argilitos e secundariamente cascalhos	Baixo	Média a alta	Média a Alta	Baixa	Agudo	Alto	Meandrante, anastomótico, retilíneo e retilíneo com barras
Σ ₂	Arenitos e secundariamente argilitos	Alto a médio	Baixa a média	Baixa a Média	Alta a Média	Reto a agudo	Médio a Baixo	Retilíneo e retilíneo com barras
Σ ₁	Arenitos	Alto	Baixa	Baixa a Média	Alta a Média	Reto a agudo	Baixo	Meandrante, retilíneo com barras e retilíneo
I ₁	Ígneas máficas	Baixo	Baixa	Baixa	Alta	Reto a agudo	Médio	Retilíneo
M ₂	Metamórficas de baixo grau	Baixo a médio	Média	Baixa	Alta	Reto a agudo	Médio	Retilíneo
M ₁	Metamórficas médio grau e granitóides	Baixo a médio	Média	Baixa	Alta a Média	Reto a agudo	Médio	Retilíneo e Retilíneo com barras

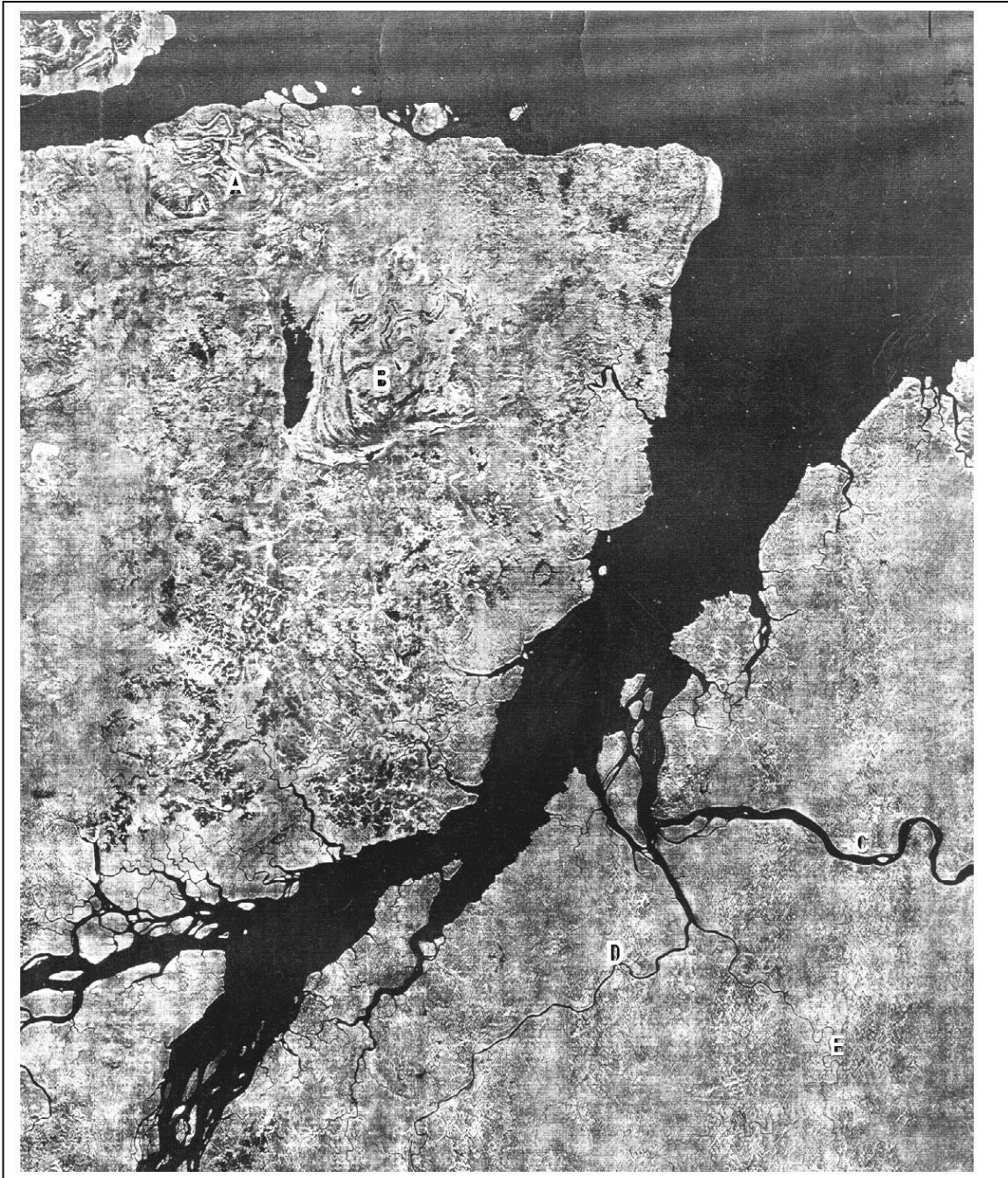
Observação : Cf com Figura 101

Resumo da Figura 101

Integração Temática

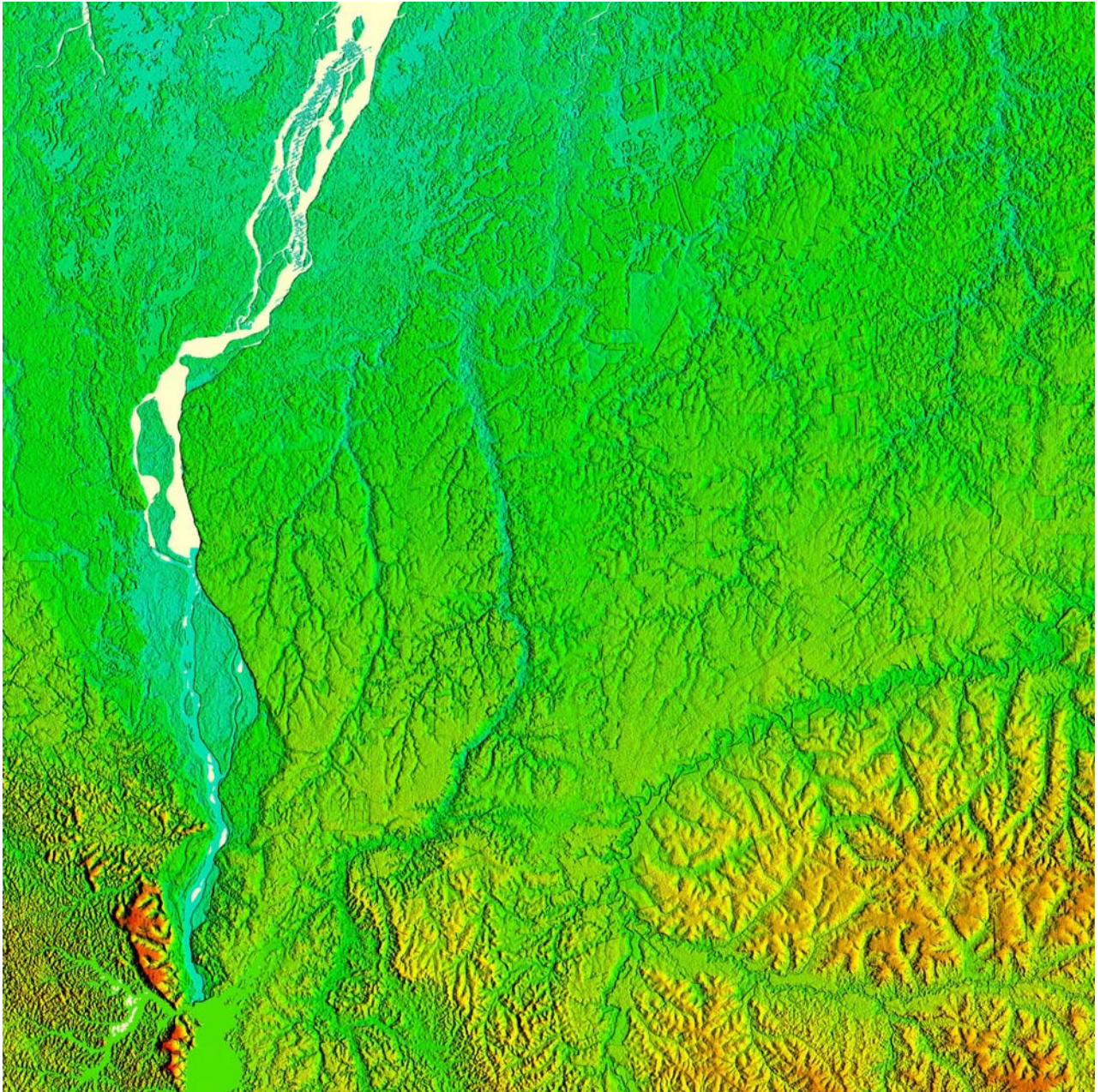
Unidade Geológica	Litologias	Geomorfologia (Formas de relevo)	Solos (Grupos)	Vegetação (Classes de Formações)
Σ_3	Arenitos, argilitos e secundariamente cascalhos	Planícies inundáveis e Planalto rebaixado com formas de topo plano	Latossolos e solos hidromórficos	Savana, Campinarana e Floresta Densa
Σ_2	Arenitos e secundariamente argilitos	Planalto rebaixado com formas de topo plano	Latossolos	Floresta Densa e Campinarana
Σ_1	Arenitos	Planalto rebaixado com formas de topo plano	Latossolos	Floresta Densa e Floresta Aberta
I_1	Ígneas máficas	Chapadas com formas de topo plano	Latossolos	Savana e Floresta Aberta
M_2	Metamórficas de baixo grau	Depressão com formas de topo agudo	Podzólicos vermelho-amarelo	Floresta Densa
M_1	Metamórficas médio grau e granitóides	Planalto com formas de topo convexo	Podzólicos vermelho-amarelo	Floresta Densa

Observação : Cf com Figura 101



Estampa 19 – Rios Guamá e Tocantins (PA/Brasil), Norte. Imagem RVL, GEMS (1972), banda X.

Na ilha de Marajó tem-se: em (A) observa-se a presença de paleocanais de épocas distintas, como “pegadas” de movimentos neotectônicos quaternários; em (B) constitui um exemplo clássico e didático de uma bacia do tipo pull-apart, ressaltado pela presença de paleodrenagem, cordões fluviais e lagos, dentro os quais o de maior evidência é o lago Arari. No continente mostra-se em (C), (D) e (E) o controle estrutural da drenagem. Em (B) lago Arari com cerca de 20 km de comprimento. Norte no topo. Cf com Figura 101.



Estampa 20 – Rios Guamá e Tocantins (PA/Brasil), Sul, imagem SRTM, (2000).

Pode-se notar uma marcante deflexão do rio Tocantins (20 km) a noroeste, relativa a falha direcional dextral, enquanto que na porção sudeste uma espetacular feição dômica (alto estrutural), retratada pelos padrões de drenagem radial e anelar (Modelo de Latman). No quadrante sudoeste platôs de basaltos e a UHT de Tucuruí, associada à falhas direcionais dextrais NE-SO. Norte no topo. Cf com Figura 101. 03° 00' x 03° 00' .

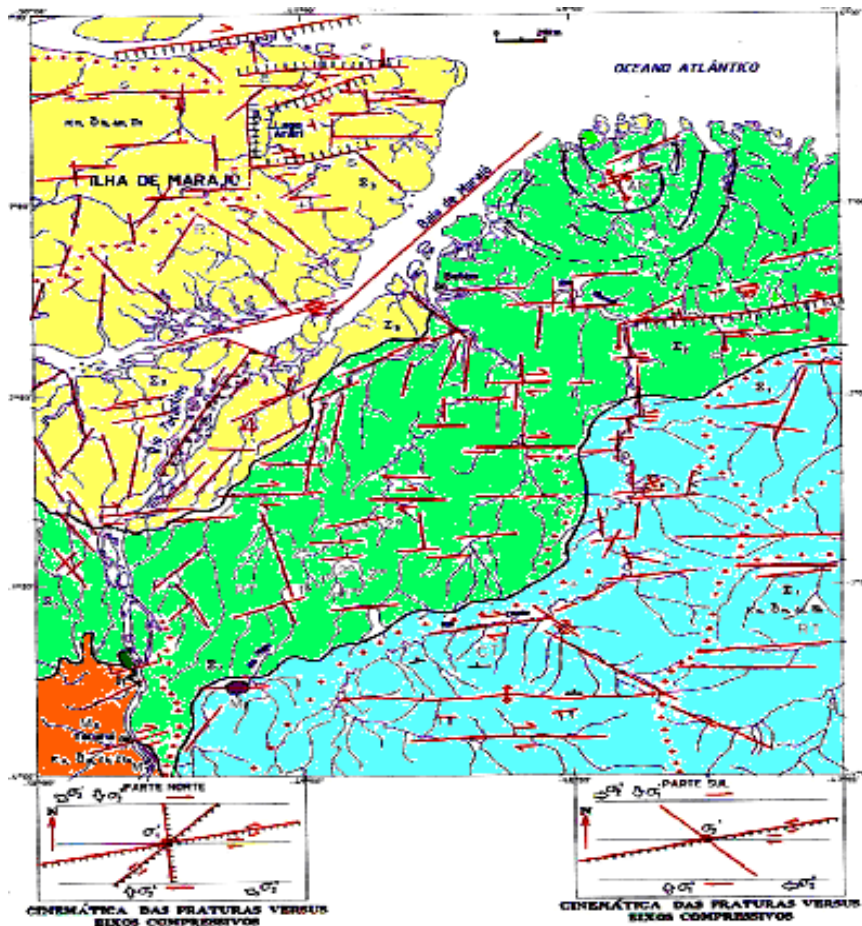


Figura 101: Região dos rios Guamá-Tocantins (Belém – PA/Brasil)

Figura 93 – Região dos rios Guamá-Tocantins (Belém - PA/Brasil) . Cartogramas ao lado mostram inter-relações da cinemática com eixos compressivos. Vide explicações no texto.

Σ_1, Σ_2 e Σ_3 = rochas sedimentares ; I_1 = rocha ígnea; M_1, M_2 = rochas metamórficas; τ = tropia ; κ = grau de continuidade ; ι = grau de integração ; δ = densidade ; s = subsequente; RT= retangular; CT= contorcida; AN = anelar; Contato entre litologias (———) ; Contato entre padrões de drenagem (- - - - -) ; ângulo de junção (\angle) ; assimetria fraca (\perp) ; assimetria média (\perp) ; movimentação de blocos (\downarrow) ; Alinhamento de drenagem (———) ; Alinhamento de drenagem com movimentação normal (traços no bloco baixo)(\perp) ; Alinhamento de drenagem com movimentação direcional (\rightleftharpoons) ; Alinhamento de drenagem com movimentação normal oblíqua (\rightleftharpoons) ; Alto estrutural com caimento (\rightleftharpoons) ; Domo (\updownarrow) ; 1,2,3,4 = número de ordem.

XXII.2.2 – Região do Além-São Francisco (BA/GO/Brasil)

Localiza-se na zona limreira dos estados da Bahia e Goiás, a oeste do rio São Francisco (Além-São Francisco). Envolve o curso Médio do rio São Francisco, onde se situa a cidade de Bom Jesus da Lapa (BA) (Figura 102; Estampa 20).

Esta região é tipificada essencialmente por sedimentos siliciclásticos (Σ_1) (azul claro), carbonáticos (Σ_2) (verde) do Neoproterozóico, com disposição horizontal, tanto a leste como a oeste, capeados discordantemente em sua porção central por sedimentos cretáceos (Σ_3) (amarelo) psamíticos e aluviais quaternários (psamopelíticos) (Σ_4) (cinza), bem expostos no rio São Francisco. Nas cercanias de Correntina (BA), aflora uma janela de metamorfitos paleoproterozóicos representativos de seu embasamento metamórfico (M_1) (laranja), tipificado por granitóides gnáissicos (PROJETO RADAMBRASIL, 1982). Vide **Figura 102**.

Geomorfologicamente mostra em sua porção central tabuleiros referidos como Planalto do Divisor São Francisco-Tocantins, sendo perlongado tanto a leste como a oeste pela Depressão do rio Tocantins e Depressão do São Francisco-Rio de Contas, respectivamente (PROJETO RADAMBRASIL, op. cit.).

Em termos pedológicos encerra em sua porção central solos Latossólicos e Areias Quartzosas, destacando-se que nas depressões dominam solos Podzólicos, Cambissolos, Areias Quartzosas, Latossolos e Litólicos. (PROJETO RADAMBRASIL, op. cit.).

A cobertura vegetal é tipificada por Savana (Cerrado) nos tabuleiros, passando nas zonas de depressão para Floresta Estacional, onde existe marcante atividade antrópica. (PROJETO RADAMBRASIL, op. cit.).

No que tange as propriedades de drenagem observa-se a presença de distintos graus de continuidade (κ), grau de integração (ι), tropia (τ) e densidade (δ). A assimetria nas zonas de bordas dos chapadões é marcante, como também é o grau de continuidade baixo, em razão da presença de rochas carbonáticas. A retilinearidade dos rios Arrojado, Grande, dos Porcos, do Meio, dentre outros, na porção central da **Figura 102** é bem acentuada e denota, indubitavelmente, um controle estrutural. Observar que sendo a composição das unidades (Σ_2) e (Σ_3) bem distintas isto terá implicações no que concerne as propriedades de drenagem como grau de continuidade (κ) e grau de integração (ι). Na Figura 102 procurou-se dar destaque para essas propriedades através das indicações das letras gregas que representam as mesmas. Por sua vez, os símbolos de movimento de bloco e de assimetria são mostrados.

Dentre os padrões de drenagem dominam o retangular-dendrítico (RT/DD) e o retangular-paralelo (RT/PL), com variações, ora para o dendrítico (DD), ora para o paralelo (PL). Na Figura 101 procurou-se dar destaque para essas propriedades através das indicações das letras gregas que representam as mesmas. Por sua vez, os símbolos de movimento de bloco e de assimetria são mostrados.

As Formas de Elementos de Drenagem (FED) mais conspícuas são as lineares com IE = Muito Forte e FC = Muito Forte.

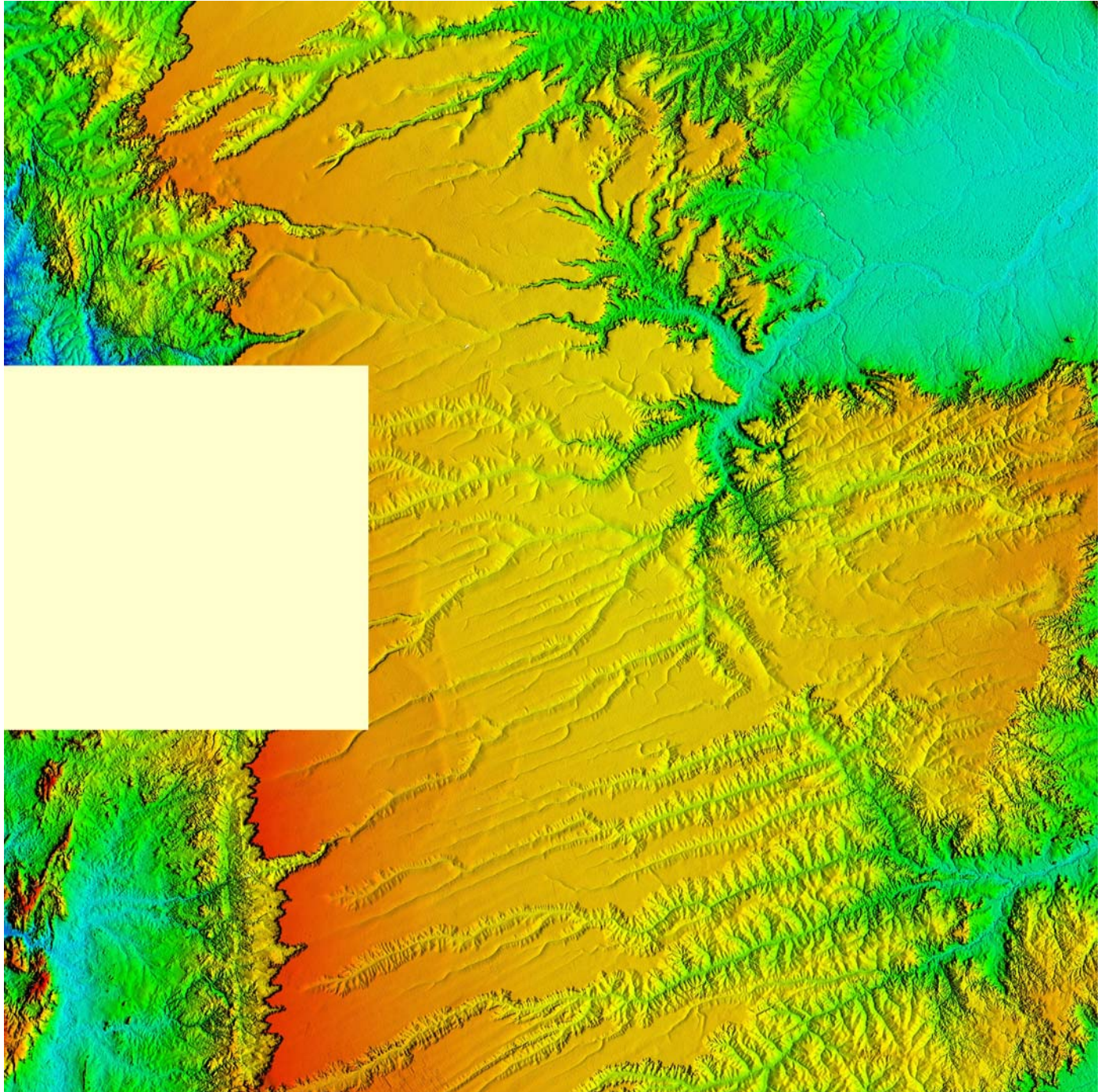
Nas zonas de depressões notam-se distintos índices de dissecação, como também tendo como base os divisores de água, tem-se diferente assimetria.

As formas de relevo na porção central são dominadas por tabuleiros, cujas pendentes mostram-se ravinadas. Na transição para as zonas de depressões dominam morros de topo agudo a convexo.

Em termos de morfoestruturas neotectônicas as feições mais alcançadas são fraturas ENE-OSO com movimentação sinistral, às quais se associam falhas inversas de orientação NNO-SSE com vergência para ENE. Tal assertiva é confirmada pela presença de rochas do embasamento metamórfico em Correntina (M_1). O curso do

São Francisco exhibe orientações cerca de NNO-SSE a NNE-SSO com movimentação destal, ao qual se associam falhas normais de orientação aproximadamente meridiana.

Como consequência do quadro acima mostrado, interpreta-se para essa região um regime transpressivo, vide cartograma da **Figura 102**, com um binário sinistral de orientação ENE-OSO, com σ'_1 de igual orientação, σ'_2 segundo NE-SO, ambos horizontais, e σ'_3 com disposição vertical. As falhas inversas com orientação NNO-SSE e as normais segundo NNE-SSO.



Estampa 20 – Além-São Francisco (BA/GO/Brasil), imagem SRTM (2 000).

Na porção central tem-se belo exemplo de drenagens retilíneas com dezenas de quilômetros de extensão, denotando marcante controle estrutural, às quais se distribuem por todo o chapadão. A noroeste e nordeste do mesmo têm-se diferenças de nível, com dissecados retratando tipos litológicos distintos. Norte no topo. Cf com Figura 94. 3° 00' x 3° 00'.

Resumo da Figura 102

Propriedades de Drenagem versus Litologias

Unidade Geológica	Litologias	Propriedades de Drenagem						
		Grau de Integração (ι)	Densidade (δ)	Sinuosidade	Angularidade	Ângulo de Junção	Grau de Continuidade (κ)	Tipo de Canal
Σ ₄	Areias, argilas e cascalhos	Baixo	Média	Média	Baixa	Agudo	Médio	Retilíneo e Retilíneo com barras
Σ ₃	Arenitos	Médio a Alto	Baixa	Média a baixa	Alta	Reto	Baixo	Retilíneo
Σ ₂	Calcários e arenitos	Baixo	Baixa	Média a baixa	Alta a média	Reto a agudo	Baixo	Retilíneo
Σ ₁	Arenitos	Baixo a médio	Baixa	Média a baixa	Alta a média	Reto a agudo	Baixo	Retilíneo
M ₁	Gnaisses	Baixo	Baixa	Média	Alta	Reto a agudo	Baixo a médio	Retilíneo

Observação : Cf com Figura 102

Resumo da Figura 102

Integração Temática

Unidade Geológica	Litologias	Geomorfologia (Formas de relevo)	Solos (Grupos)	Vegetação (Classes de Formações)
Σ ₄	Areias, argilas e cascalhos	Planície aluvial	Solos hidromórficos	Floresta Densa
Σ ₃	Arenitos	Planalto com formas de topo plano	Latossolos e areias quartzosas	Savana
Σ ₂	Calcários e secundariamente arenitos	Depressão com formas de topo plano a convexo	Podzólicos e Cambissolos	Floresta Estacional
Σ ₁	Arenitos	Depressão com formas de topo agudo	Podzólicos e Litólicos	Floresta Estacional
M ₁	Gnaisses	Depressão com formas de topo convexo	Podzólicos	Floresta Estacional

Observação : Cf com Figura 102

XXII.2.3 – Região da Confluência dos rios Negro e Solimões (Manaus – AM/Brasil)

A área pesquisada localiza-se no Baixo rio Solimões, na confluência com o rio Negro, envolvendo as cidades de Manaus e Manacapuru, no Estado do Amazonas (**Figura 103; Estampa 21**).

A geologia é constituída por sedimentos cretáceos psamíticos (Σ_1) (azul claro), terciários (psamopelíticos) (Σ_2) (verde) e quaternários (pelíticos) { Σ_3 (amarelo) e Σ_4 (cinza)} dispostos em um planalto rebaixado, com sedimentos aluviais, recentes e antigos, presentes ao longo das drenagens principais, com destaque para a de maior hierarquia, o rio Solimões. Vide **Figura 103**.

As formas de relevo são dominadas por tabuleiros compondo os Planalto Dissecado Rio Trombetas, a leste, ocupando maiores altitudes, e o Planalto Rebaixado da Amazônia (Ocidental) com grande incidência de zonas inundáveis e a Planície Amazônica, bem ressaltada no vale do rio Solimões. (PROJETO RADAMBRASIL, 1978).

Os principais tipos de solos são os Latossolos, Podzol Hidromórfico, Podzólicos e Hidromórficos (PROJETO RADAMBRASIL, op.cit.). As principais formações florestais são a Floresta Densa, Campinarana e Floresta Aluvial.

Propriedades de Drenagem: Grau de Integração (ι) Alto, Grau de Continuidade (κ) Médio a Baixo, Densidade (δ) Média a Baixa, Tropicidade (τ) Média, Grau de Controle Médio, Sinuosidade Média a Alta, Retilinearidade Média, Angularidade Alta a Média, Ângulo de Junção Reto e Assimetria Média a Fraca. Na Figura 103 procurou-se dar destaque para essas propriedades através das indicações das letras gregas que representam as mesmas. Por sua vez, os símbolos de movimento de bloco e de assimetria são mostrados.

Os padrões de drenagem dominantes são o dendrítico-retangular (DD/RT), com transições para o retangular (RT) e o dendrítico (DD). O tipo de canal ao longo do rio Solimões é o retilíneo com barras, com tendências para o Anastomótico e o Entrelaçado. O Índice de Dissecação existente na região é o baixo, em razão da presença de vales em “V”, bem encaixados.

Os tipos de topo predominantes são o plano e em algumas situações agudo, nas zonas em fase de dissecação.

Alinhamentos de drenagem são bem evidentes e denotam um controle estrutural. Os divisores de água são bem definidos.

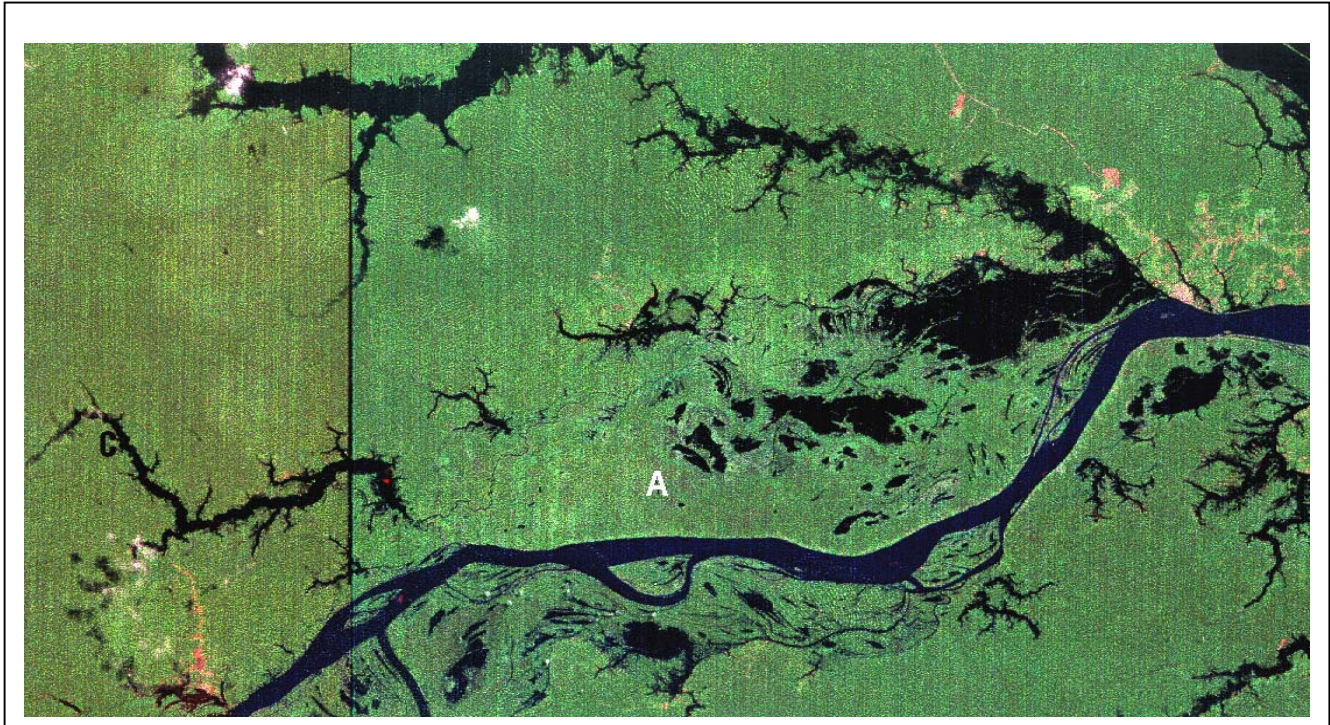
As Formas de Elementos de Drenagem da estrutura a montante de Manacapuru, bacia pull-apart, é IE = Muito Forte e FC= Muito Forte.

Estudos na região foram apresentados por Lima (1988), Cunha (1988), Cunha (1991), Costa et al. (1996), Bermeguy (1998) e Bezerra et al. (1999). Os três últimos destacam, em termos regionais, a presença de falhas transcorrentes destrais E-O interligadas a falhas NO-SE de caráter normal, relativas à atividade neotectônica.

Situa-se no âmbito do Arco Purus como pode ser visualizado nas **figuras 90 e 91**.

Na **Figura 103** pode-se observar o marcante controle estrutural revelado pelo rio Solimões, com a presença de falhas transcorrentes sinistrais de orientação E-O e falhas normais interligadas segundo NE-SO, uma delas poderia passar por Anamá, formando uma bacia de afastamento (*pull-apart*) típica, a montante de Manacapuru.

Esse quadro, vide cartograma da **Figura 103**, é interpretado por um binário sinistral E-O, com σ'_2 horizontal e assim orientado: σ'_3 horizontal, segundo NO-SE e σ'_1 em posição vertical. Tal interpretação é respaldada pela presença de sedimentos aluviais (Σ_4). No entanto, falhas transcorrentes E-O sinistras estariam em desacordo com os dados das regiões circunvizinhas. Para tanto pode-ser-ia apresentar duas interpretações alternativas: a primeira seria a existência de falhas normais de orientação E-O e transcorrentes dispostas segundo NE-SO, ou então falhas transcorrentes destrais E-O e falhas de empurrão dispostas segundo NE-SO. Contudo trabalhos de campo confirmam a assertiva de falhas normais E-O (geól. P. E. L. Bezerra – comunicação verbal).



Estampa 21- Rios Negro e Solimões (AM/Brasil) em imagem LANDSAT – TM5, R5G4B3 (1995).

Em (A) bacia do tipo pull-apart e, assim como em (B) e (C) drenagens controladas por tectônica. Atentar para o controle estrutural das demais drenagens e seus lagos. Antropismo (nuanças de vermelho), estrada (branco) e vegetação (verde). Drenagem retilínea em B com cerca de 20 km. Norte no topo. Cf com Figura 103.

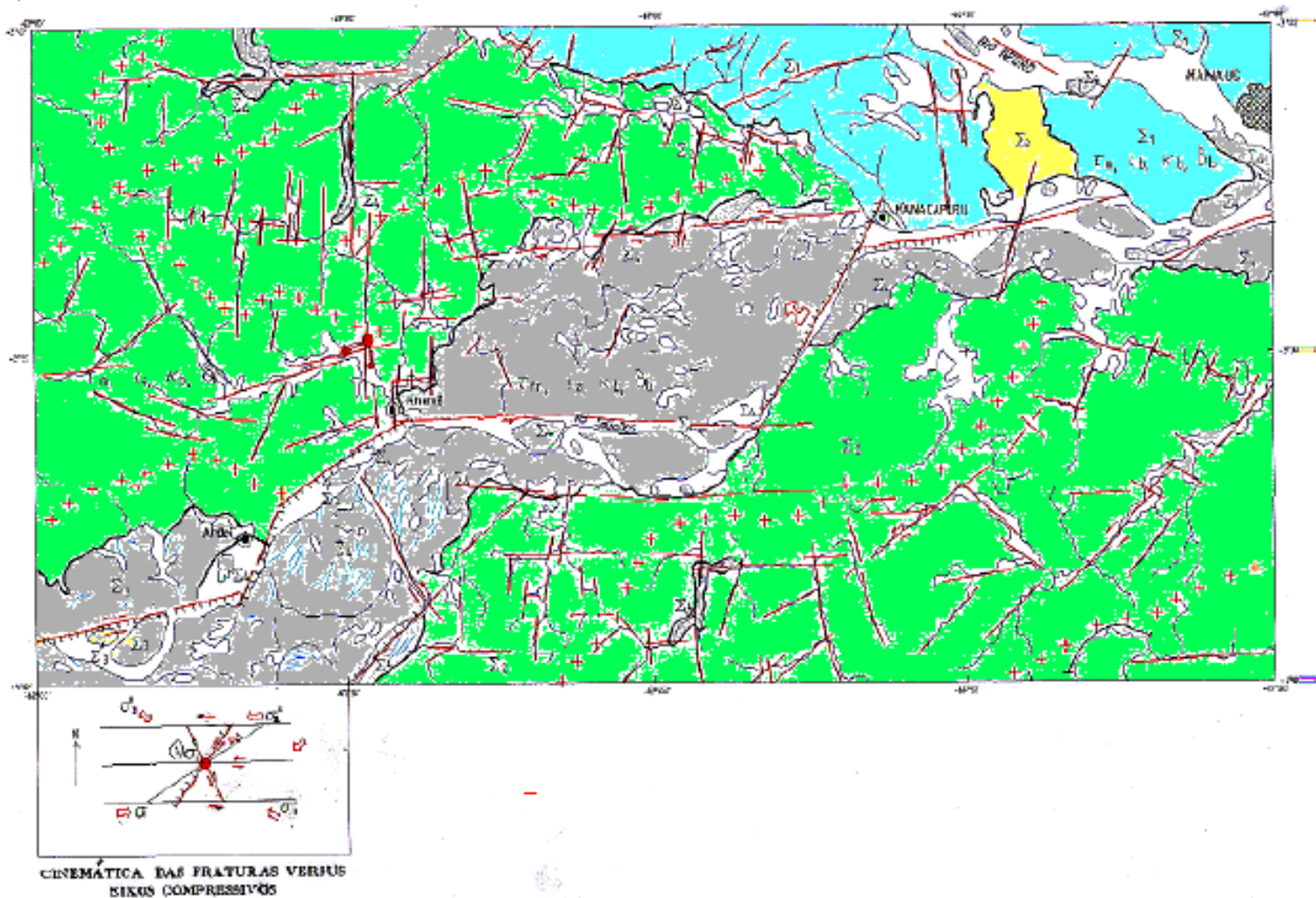




Figura 103: Região da confluência dos rios Negro e Solimões (Manaus – AM/ Brasil)

Região da Confluência dos rios Negro e Solimões (Manaus-AM/Brasil)

Cartograma ao lado mostra inter-relação da cinemática com eixos compressivos. Vide explicações no texto.

$\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3$ e Σ_4 = rochas sedimentares ; τ = tropia ; κ = grau de continuidade ; ι = grau de integração ; δ = densidade ; Contato entre litologias (———) ; Alinhamento de drenagem (———) ; Alinhamento de drenagem com movimentação normal (traços no bloco baixo) ; Alinhamento de drenagem normal oblíqua (traços no bloco baixo) () ; Alinhamento de drenagem com movimentação direcional () ; 1,2,3,4 = número de ordem; divisor de águas (++++++).

Resumo da Figura 103

Propriedades de Drenagem versus Litologias

Unidade Geológica	Litologias	Propriedades de Drenagem						
		Grau de Integração (ι)	Densidade (δ)	Sinuosidade	Angularidade	Ângulo de Junção	Grau de Continuidade (κ)	Tipo de Canal
Σ ₄	Areias, argilas e cascalhos	Alto	Alta a média	Baixa a média	Baixa	Agudo	Alto a médio	Retilíneo, Retilíneo cm barras e Anastomótico
Σ ₃	Argilitos	Alto	Alta	Baixa	Baixa	Agudo	Alto	Retilíneo
Σ ₂	Arenitos e argilitos	Médio	Baixa a média	Baixa	Alta a média	Reto a agudo	Baixo	Retilíneo
Σ ₁	Arenitos	Médio	Baixa	Baixa	Alta a média	Reto a agudo	Baixo	Retilíneo e Retilíneo com barras

Observação : Cf com Figura 103

Resumo da Figura 103

Integração Temática

Unidade Geológica	Litologias	Geomorfologia (Formas de relevo)	Solos (Grupos)	Vegetação (Classes de Formações)
Σ ₄	Areias, argilas e cascalhos	Planície aluvial	Solos Hidromórficos	Floresta Densa aluvial
Σ ₃	Argilitos	Depressão com formas de topo agudo	Podzólicos	Floresta Densa
Σ ₂	Arenitos e argilitos	Planalto rebaixado com formas de topo plano	Latossolos e Podzol Hidromórfico	Floresta Densa e Campinarana
Σ ₁	Arenitos	Planalto dissecado com formas de topos plano e agudo	Latossolos	Floresta Densa

XXII.2.4 – Região do Médio rio Negro (Barcelos) (AM/Brasil)

Está localizada na região do Baixo rio Negro, envolvendo o arquipélago de Anavilhanas, tendo como cidade principal Barcelos (AM), a primeira capital do Estado do Amazonas (**Figura 104; Estampa 22**).

Em termos geológicos está representada por sedimentos quaternários psamíticos (Σ_1) (azul claro) dispostos em um planalto rebaixado, com sedimentos aluviais psamopelíticos ao longo das drenagens principais, $\{\Sigma_2$ (verde) e Σ_3 (amarelo), com a presença de areais alagados em Σ_4 (cinza), sendo merecedor de destaque o rio de maior hierarquia fluvial, o Negro. Cabe aqui ser ressaltada a presença, na porção norte da **Figura 104**, de uma janela do embasamento pré-cambriano sob a forma de rochas ígneas (I_1). No quadrante oriental assomam rochas metamórficas (M_1) e rochas ígneas sob a forma de batólitos (I_1).

As feições geomorfológicas são caracterizadas por tabuleiros do Planalto Rebaixado da Amazônia (Ocidental), com grande incidência de zonas inundáveis, e a Planície Amazônica, bem representada no vale do rio Negro (PROJETO RADAMBRASIL, 1978).

Os principais tipos de solos são os Latossolos, Podzol Hidromórfico, Podzólicos e Hidromórficos (PROJETO RADAMBRASIL, 1978). As principais formações florestais são a Floresta Densa, Campinarana e Floresta Aluvial. O Podzol Hidromórfico associa-se à Campinarana e sedimentos arenosos (Σ_4).

As Propriedades de Drenagem são: Grau de Integração (i) Alto, Grau de Continuidade (κ) Médio a Baixo, Densidade (δ) Baixa, Tropicidade (τ) Média a Alta, Grau de Controle Médio a Alto, Sinuosidade Baixa, Retilinearidade Alta a Média, Angularidade Alta a Média, Ângulo de Junção Reto a Obtuso e Assimetria Fraca. O Padrão de drenagem dominante é o subdendrítico (DD) com variação para o Retangular (RT) e o Paralelo (PL). No rio Negro (arquipélago de Anavilhanas) domina o tipo de Canal Entrelaçado. O Índice de Dissecação é Alto em razão de vales em “U”. Na **Figura 104** procurou-se dar destaque para essas propriedades através das indicações das letras gregas que representam as mesmas. Por sua vez, os símbolos de topo plano com pendentes inclinadas são mostrados.

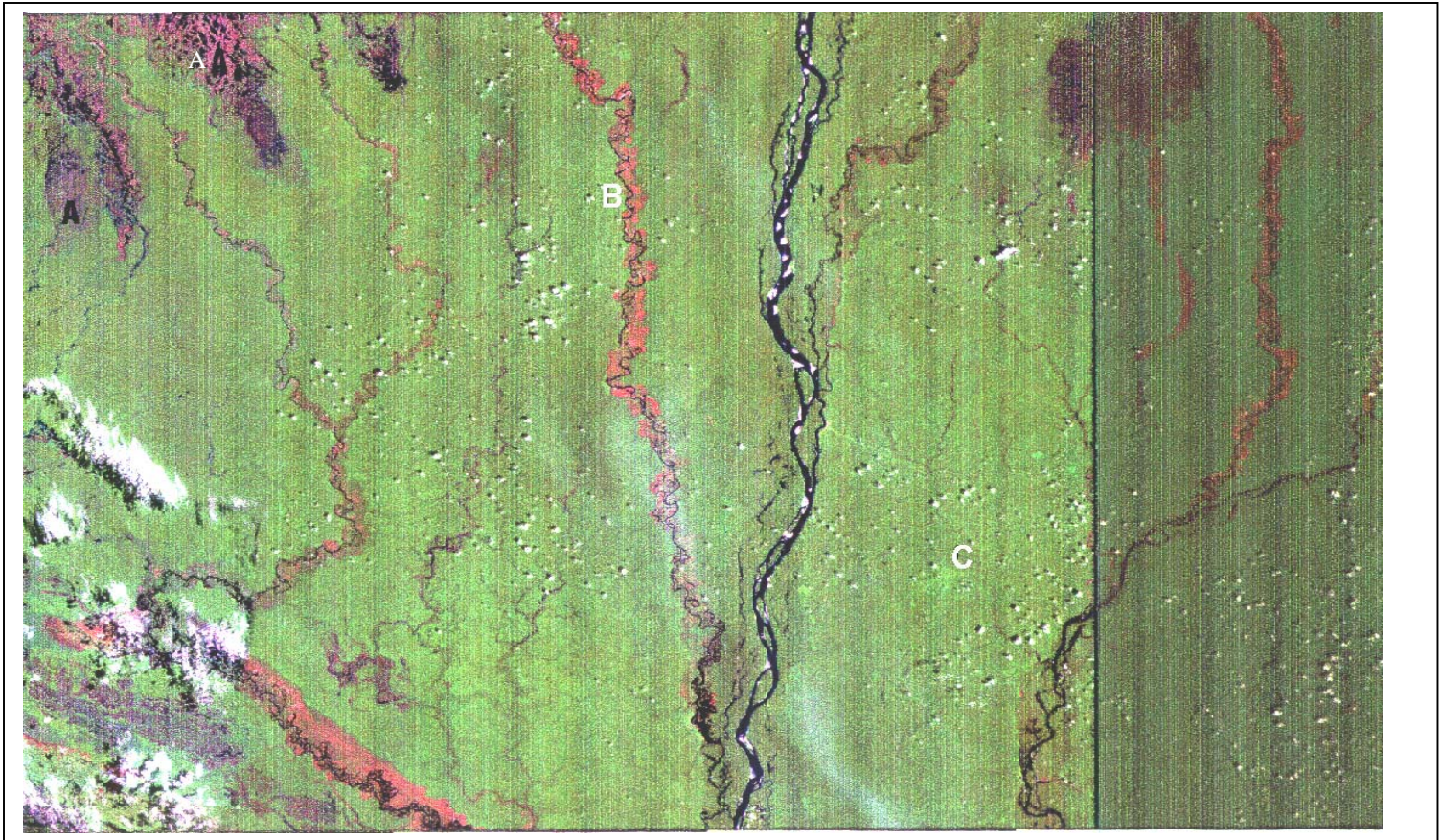
As formas de relevo apresentam o topo essencialmente plano, sem grande desnível e vales em “U”.

A sinuosidade da drenagem é praticamente ausente, com marcantes alinhamentos de drenagem e sem divisor de água. Nas zonas dos divisores ocorrem lagos provavelmente relacionados ao alto índice pluviométrico, comprometendo o nível freático, em vista de basculamentos que existiram. Tais fatos sugerem um forte controle estrutural e efeitos de neotectônica. Merece destaque no quadrante nordeste a presença da unidade Σ_2 (verde) retratando paleocanais indicativos de inversão de drenagem caracterizando o que aqui chamamos de defuente.

A presença de um expressivo horst no quadrante nordeste da figura em lide mostra um IE = Muito Forte e FC = Muito Forte.

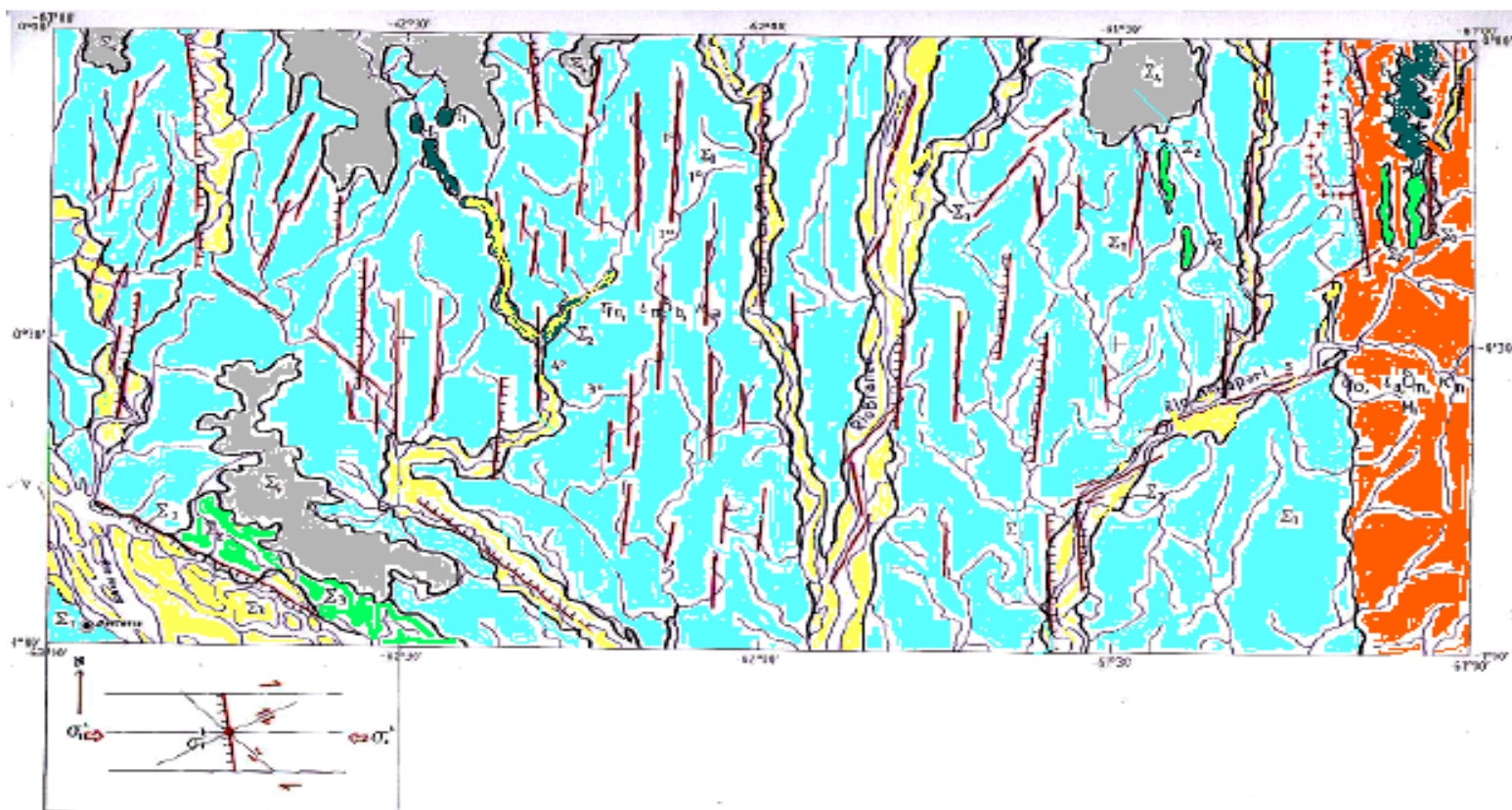
Estudos na região foram apresentados por Lima (1988), Cunha (1988), Cunha (1991), Costa et al. (1996), Bermeguy (1998) e Bezerra et al. (1999), com os três últimos destacando a presença de falhas transcorrentes destrais E-O interligadas a falhas NO-SE de caráter normal, no que concerne a neotectônica.

As fraturas mais significativas são NO-SE e N-S, as quais são de caráter distensivo, conforme indicado pela presença de um alto estrutural no quadrante nordeste da **Figura 104** aliada à acentuada orientação mostrada pelo rio Negro. No entanto, parece estar a orientação NE-SO ligada a movimentos direcionais dextrais, em razão da inflexão evidenciada pelo rio Jauaperi. Vide **Estampa 17**. Por sua vez, a ausência de divisores de água demonstra cabalmente a atuação de movimentos neotectônicos. Assim sendo, vide cartograma da **Figura 104**, onde se admite a existência de um regime transtensivo com a presença de σ'_1 vertical, com a interação de falhas transcorrentes destraiorientadas segundo NO-SE. σ'_2 seria horizontal com orientação N-S e σ'_3 disposto segundo E-O, também horizontal. Conclui-se que as falhas normais ao longo do rio Negro (NO-SE) seriam oblíquas dextrais



Estampa 22 – Médio rio Negro (AM/Brasil) em imagem LANDSAT – TM5, R5G4B3 (1995).

Em (A) zonas alagadas e arenosas; em (B) drenagem controlada por tectônica e sua planície aluvial; em (C) canal que interliga o rio Jauaperi ao rio Branco, semelhante ao Canal Cassiquiare na Venezuela, devido a neotectônica, com cerca de 60 km de extensão. A leste zona de embasamento metamórfico, a qual também ocorre a oeste de (B). Norte no topo. Cf com Figuras 96 e 104



CINEMÁTICA DAS FRATURAS VERSUS EIXOS COMPRESSIVOS

Figura 104- Região do Médio rio Negro (Barcelos – AM/Brasil)

— Região do Médio rio Negro (Barcelos – AM/Brasil). Cartograma ao lado mostra inter-relação da cinemática com eixos compressivos. Vide explicações no texto.

$\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3$ e Σ_4 = rochas sedimentares ; I_1 = rocha ígnea; τ = topia ; κ = grau de continuidade ; ι = grau de integração ; δ = densidade ; Contato entre litologias (———) ; Alinhamento de drenagem (———) ; Alinhamento de drenagem com movimentação normal (traços no bloco baixo) (———) ; 1,2,3,4 = número de ordem.

Resumo da Figura 104

Propriedades de Drenagem versus Litologias

Unidade Geológica	Litologias	Propriedades de Drenagem						
		Grau de Integração (t)	Densidade (δ)	Sinuosidade	Angularidade	Ângulo de Junção	Grau de Continuidade (κ)	Tipo de Canal
Σ ₄	Areias	Baixo	Alta	Baixa	Baixa	Agudo	Baixo	Anastomótico
Σ ₃	Areias, argilas e cascalhos	Médio	Média	Média	Média	Agudo	Médio	Retilíneo, Retilíneo com barras e Entrelaçado
Σ ₂	Arenitos e argilitos	Médio a baixo	Baixa	Baixa	Alta	Reto a obtuso	Baixo	Meândrico (paleo)
Platôs	Lateritos	Alto	Baixa	Baixa	Baixa	Agudo a reto	Baixo	Retilíneo
Σ ₁	Arenitos	Médio	Baixa	Baixa	Alta	Reto a agudo	Baixo a médio	Retilíneo
I ₁	Granitóides	Baixo	Baixa	Baixa	Alta	Reto	Baixo	Retilíneo

Observação: Cf com Figura 104

Resumo da Figura 104

Integração Temática

Unidade Geológica	Litologias	Geomorfologia (Formas de relevo)	Solos (Grupos)	Vegetação (Classes de Formações)
Σ ₄	Areias	Planícies alagáveis	Podzol Hidromórfico	Campinarana
Σ ₃	Areias, argilas e cascalhos	Planície Aluvial	Solos aluviais	Floresta densa aluvial
Σ ₂	Arenitos e argilitos	Paleocanais	Solos Hidromórficos	Floresta DENsaaluvial
Platôs	Lateritos	Nível de Aplanamento	Concrecionário	Floresta Aberta
Σ ₁	Arenitos	Planalto Rebaixado com formas de topo plano	Latosolos e Podzol Hidromórfico	Floresta Densa , Floresta Aberta e Campinarana
I ₁	Granitóides	Depressão co formas de topo convexo	Litólicos	Floresta Aberta

Observação: Cf com Figura 104

XXII.2.5 – Região do Médio rio Negro (Santa Isabel do Rio Negro-AM)

Localiza-se na região do Médio rio Negro, abrangendo a sede do município de Santa Isabel do Rio Negro (antiga Tapuruquara), no Estado do Amazonas (**Figura 105; Estampa 23**).

Está representada por sedimentos essencialmente quaternários, dispostos em um planalto rebaixado psamítico (Σ_1) (azul claro); com sedimentos aluviais ao longo das drenagens principais, incluindo terraços psamíticos terraços em (Σ_2) (verde) e aluviões recentes psamopelíticos (Σ_3) (amarelo), com destaque para a drenagem de maior hierarquia fluvial, o rio Negro. Na porção norte assoma, em meio aos depósitos recentes quaternários, o embasamento ígneo e metamórfico (I_1 e M_1). As ígneas félsicas em batólitos e as máficas em stocks. Aliás, o próprio rio Negro, de caráter subsequente, constitui-se em um limite entre rochas do embasamento e sedimentos mais novos (**Figura 105**), fato ratificado pela sua retilinearidade de várias dezenas de quilômetros.

Em termos geomorfológicos a região é dominada por tabuleiros do Planalto Rebaixado da Amazônia (Ocidental) com grande incidência de zonas inundáveis e a Planície Amazônica, bem tipificada no vale do rio Negro. Ao norte dominam os pedimentos do Pediplano Rio Branco- Rio Negro (PROJETO RADAMBRASIL, 1978).

Os principais tipos de solos são os Latossolos, Podzol Hidromórfico, Podzólicos e Hidromórficos (PROJETO RADAMBRASIL, op.cit.). As principais formações florestais são a Floresta Densa, Campinarana e Floresta Aluvial.

As Propriedades de Drenagem são: Grau de Integração (i) Alto, Grau de Continuidade (κ) Alto, Densidade (δ) Baixa a Média e Baixa, Tropicidade (τ) e Média, Grau de Controle Alto e Médio; Sinuosidade Baixa; Retilinearidade Alta e Média, Angularidade Alta e Média, Ângulo de Junção Reto e Obtuso e Assimetria Média a Fraca. Os Padrões de Drenagem dominantes são o Dendrítico-Retangular (DD/RT) e Retangular (RT), podendo ocorrer o Anelar-Radial (AN/RD). ”. Na **Figura 1045** procurou-se dar destaque para essas propriedades através das indicações das letras gregas que representam as mesmas.

O tipo de canal dominante ao longo do rio Negro, que é a drenagem mais importante, é o Entrelaçado ao Retilíneo com barras.

Os topos dos morros são de tipo plano e convexo, podendo ocorrer, nas zonas dissecadas do Pediplano, o topo agudo. O Índice de Dissecação varia de Alto a Médio.

Uma importante feição identificada é a de paleoterraços, a exemplo do que é visto a leste da **Figura 105**, imediatamente a sul do rio Negro, a qual indica a presença de efeitos neotectônicos, em razão da mudança provocada pela atuação de caráter tectônico. Também, no quadrante sudoeste ocorre uma feição dômica com IC = Moderado e FC = Moderado.

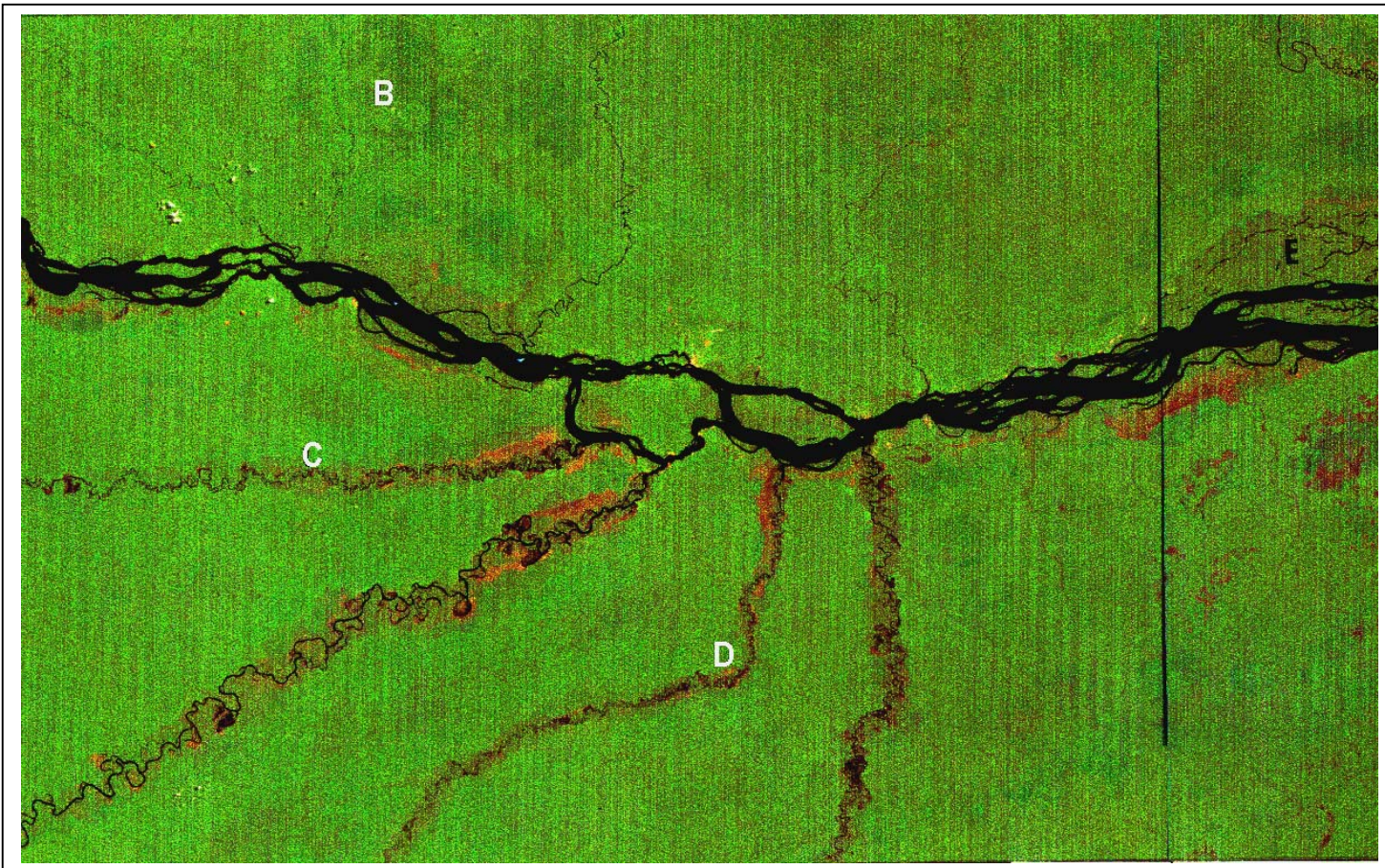
A Sinuosidade é pouco freqüente, sendo o Alinhamento de Drenagem um parâmetro comum, indicativo de um forte controle estrutural. Os divisores de água são bem definidos.

Estudos na região foram apresentados por Lima (1988), Cunha (1988), Cunha (1991), Costa et al. (1996), Bermeguy (1998) e Bezerra et al. (1999) com os três

últimos destacando a existência de falhas transcorrentes dextrais E-O, interligadas, a falhas NO-SE de caráter normal, no que concerne a movimentos neotectônicos.

Conforme enfatizado por Bezerra et al. (op. cit.), ao longo do rio Negro dominam falhas transcorrentes dextrais, que se interligam a falhas normais NO-SE, muito bem evidentes na porção norte da **Figura 105**. No quadrante meridional, a sul do rio Negro, onde dominam sedimentos, é evidente o controle estrutural das principais drenagens, inclusive com a presença de paleocanais, bem marcantes em imagens LANDSAT, conforme Bezerra et al (op. cit.), atestando perfeitamente a ação de tectônica ressurgente.

O regime tectônico deve ser o transtensivo, com σ'_1 orientado para ENE-OSO e σ'_3 disposto segundo NO-SE, ambos com posicionamento horizontal. Igualmente, σ'_2 teria posicionamento vertical.



Estampa 23 – Rio Negro (AM/Brasil) em imagem LANDSAT – TM5, R5G4B3 (1995).

Em (A) e (B) rochas ígneas do embasamento; em (C) e (D) drenagens controladas e em (E) zona aluvial do rio Negro. Observar o controle estrutural do rio Negro e afluentes e a influência das estruturas do embasamento metamórfico e ígneo sobre as coberturas sedimentares. Ilha do rio Negro entre C e D = 15 km. Norte no topo. Cf com Figura 105 .

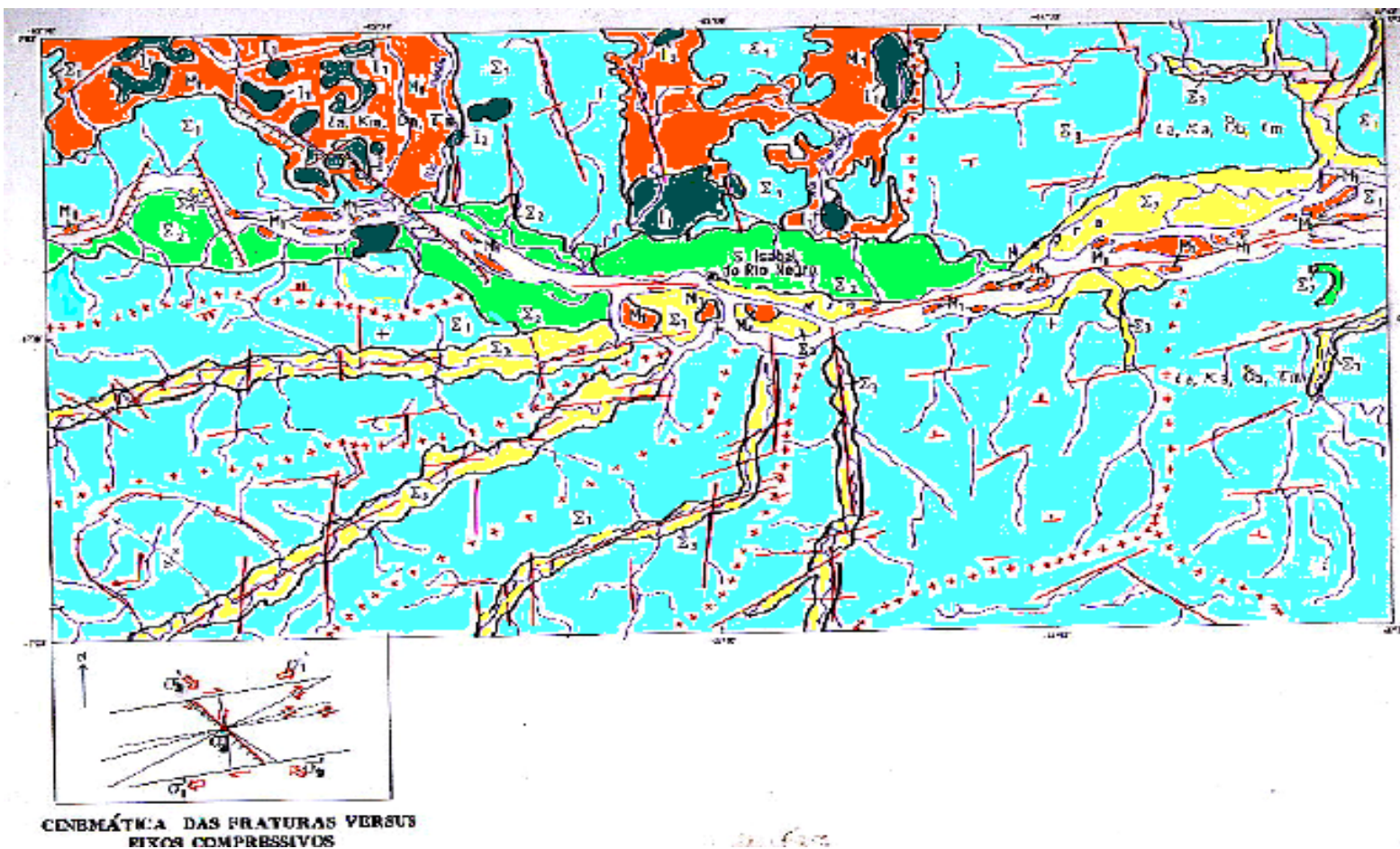


Figura 105: Região do Médio rio Negro (Santa Isabel do rio Negro – AM/Brasil)

..... - Região do Médio rio Negro (Santa Isabel do Rio Negro-AM/Brasil) Cartograma ao lado mostra inter-relação da cinemática com eixos compressivos. Vide explicações no texto.
 Σ_1, Σ_2 e Σ_3 = rochas sedimentares ; I_1 = rocha ígnea; M_1 = rocha metamórfica; ângulo de junção (\angle); τ = tropia ; κ = grau de continuidade ; ι = grau de integração ; δ = densidade ; Contato entre litologias (———); Alinhamento de drenagem (———); Alinhamento de drenagem com movimentação normal (traços no bloco baixo) (|||||); Alinhamento de drenagem com movimentação direcional (\Rightarrow); divisor de águas (+++++).

Resumo da Figura 105

Propriedades de Drenagem versus Litologias

Unidade Geológica	Litologias	Propriedades de Drenagem						
		Grau de Integração (ι)	Densidade (δ)	Sinuosidade	Angularidade	Ângulo de Junção	Grau de Continuidade (κ)	Tipo de Canal
Σ_3	Areias, argilas e cascalhos	Alto a médio	Baixa a Média	Média	Baixa	agudo	Médio	Retilíneo com barras
Σ_2	Arenitos e argilitos	Baixo	Baixa	Média	Baixa	Reto a obtuso	Baixo	Meândrico
Σ_1	Arenitos	Médio a alto	Baixa	Baixa a média	Media a alta	Reto a agudo	Baixo	Retilíneo a retilíneo com barras
I_1	Ígneas máficas e félsicas	Baixo a médio	Baixa a Média	Média a alta	Média	Reto a agudo	Baixo a médio	Retilíneo
M_1	Gnaisses	Baixo a médio	Baixa	Baixa	Alta	Reto a agudo	Baixo a médio	Retilíneo a entrelaçado

Observação : Cf com Figura 105

Resumo da Figura 105

Integração Temática

Unidade Geológica	Litologias	Geomorfologia (Formas de relevo)	Solos (Grupos)	Vegetação (Classes de Formações)
Σ_3	Areias, argilas e cascalhos	Planície aluvial	Solos Hidromórficos	Floresta Densa Aluvial
Σ_2	Arenitos e argilitos	Paleocanais e terraços	Solos Hidromórficos	Campinarana
Σ_1	Arenitos	Planalto Rebaixado com formas de topo plano	Latossolos e Podzol Hidromórfico	Floresta Densa e Campinarana
I_1	Ígneas máficas e félsicas	Planalto com formas de topo convexo	Litólicos	Floresta densa
M_1	Gnaisses	Planalto com formas de topo convexo	Podzólicos	Floresta Densa

Observação : Cf com Figura 105

XXII.2.6 – Região do Baixo rio Negro (Moura- AM/Brasil)

Localiza-se na região do Baixo rio Negro, envolvendo o Distrito de Moura, pertencente ao Município de Barcelos, no Estado do Amazonas (**Figura 106; Estampa 24**).

Em termos geológicos, assomam ao norte sedimentos psamíticos quaternários dispostos em um planalto rebaixado (Σ_1), com sedimentos aluviais psamopelíticos (Σ_3) restritos ao longo das drenagens principais, com destaque para o de maior hierarquia fluvial, o rio Negro. Para sul assomam sedimentos principalmente psamíticos de idade paleoproterozóica (Σ_1) (azul claro) e paleozóica (Σ_2) (verde), com psamopelíticos. Merece atenção a presença de uma janela do embasamento metamórfico (porção norte da **Figura 106**), nas cercanias de Moura (M_1) (laranja) e a leste encontram-se plutonitos (I_1) (verde escuro) de composição félsica. Níveis de aplanamentos do terciário em azul, representado platôs com pendentes verticais (PROJETO RADAMBRASIL, 1978).

Geomorfológicamente é constituída por tabuleiros do Planalto Rebaixado da Amazônia (Ocidental) com grande incidência de zonas inundáveis, Planalto Dissecado do Rio Trombetas, no qual podem ser delimitados platôs, e a Planície Amazônica, bem tipificada no vale do rio Negro. (PROJETO RADAMBRASIL, op.cit.).

Os principais tipos de solos são os Latossolos, Podzol Hidromórficos, Podzólicos e Hidromórficos (PROJETO RADAMBRASIL, op.cit.), e as principais formações florestais são as de Floresta Densa, Campinarana e Floresta Aluvial. (PROJETO RADAMBRASIL, op.cit.).

As Propriedades de Drenagem são : Grau de Integração (ι) Alto; Grau de Continuidade (κ) Médio; Densidade (δ) Baixa a Média ; Tropia (τ) Média a Alta ; Grau de Controle Alto a Médio; Sinuosidade Baixa; Retilinearidade Alta a Média; Angularidade Alta a Média; Ângulo de Junção Reto a Obtuso; e Assimetria Média e Fraca. Os principais padrões de drenagem representam-se pelo Dendrítico (DD) e o Retangular (RT), com variações entre os dois. ”. Na **Figura 106** procurou-se dar destaque para essas propriedades através das indicações das letras gregas que representam as mesmas.

Os tipos de Canal são o Entrelaçado, no rio Negro, compondo o Arquipélago de Anavilhanas, enquanto no rio Unini, o canal passa de meândrico para retilíneo, indicativo de marcante controle estrutural. O Índice de Dissecção varia de Alto a Médio.

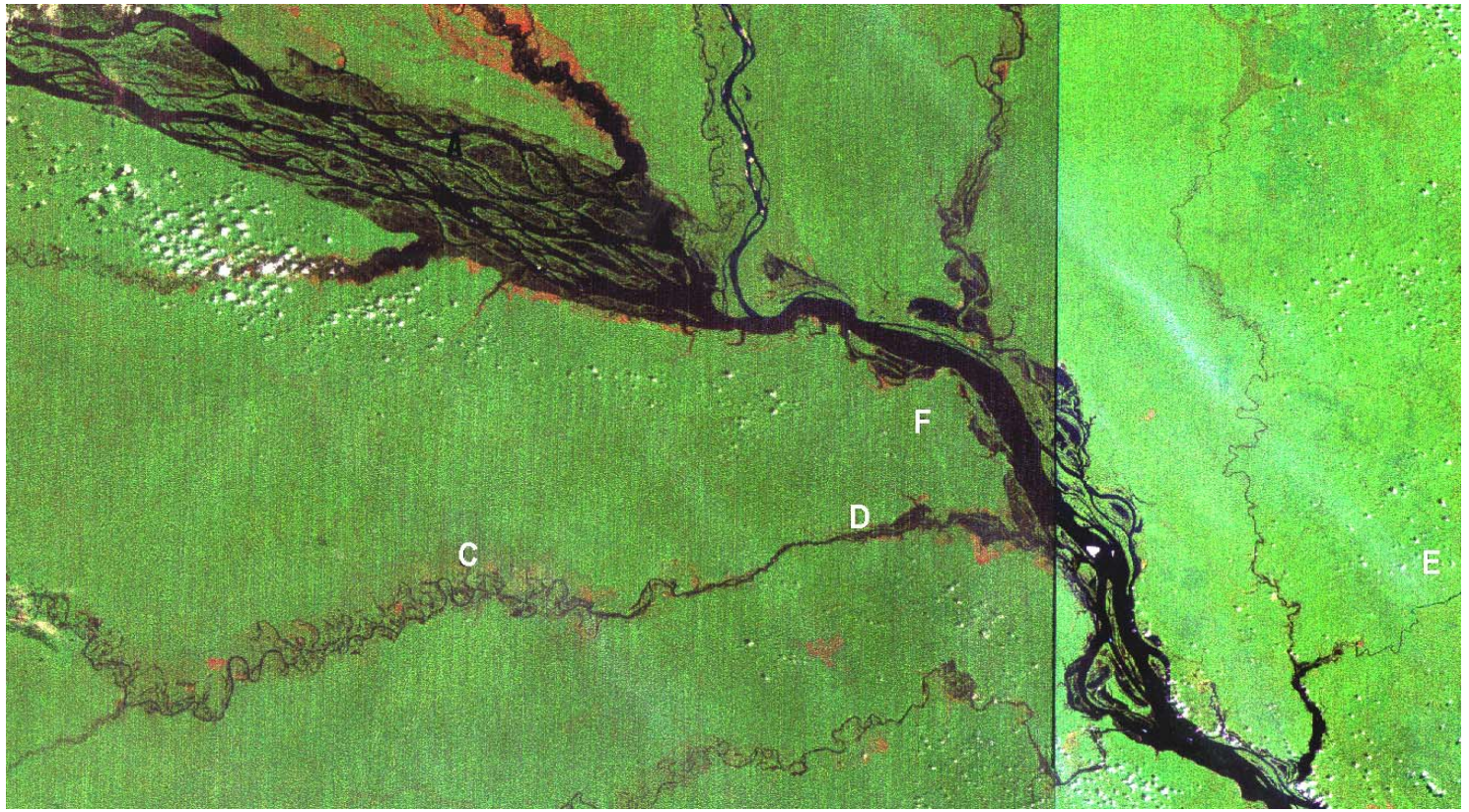
Os Alinhamentos de Drenagens são bem marcantes, ao passo que os divisores de água estão bem definidos.

Estudos sobre a região foram apresentados por Lima (1988), Cunha (1988), Cunha (1991), Costa et al. (1996), Bermeguy (1998) e Bezerra et al. (1999), com os três últimos destacando a presença de falhas transcorrentes de E-O, interligadas a falhas NO-SE de caráter normal, no que concerne a movimentos neotectônicos.

A presença de uma “janela do embasamento “ na região de Moura (AM), por si só já é indicativa da ação de falhas normais, constituindo esta região em um alto estrutural com orientação meridiana. Por sua vez, a presença do “Arquipélago Anavilhana”, indicativa de canal entrelaçado é uma conseqüência deste fato, assim como o é a mudança do tipo de canal no rio Unini. O padrão dendrítico-retangular a sul do rio Negro e a presença de sedimentos aluviais de um lado e barrancos do outro no rio Negro atesta a ação de movimentos transcorrentes oblíquos. Assim sendo, o eixo distensivo situa-se cerca de E-O, com movimentos oblíquos, direcional e normal, ao longo do rio Negro. A ocorrência de

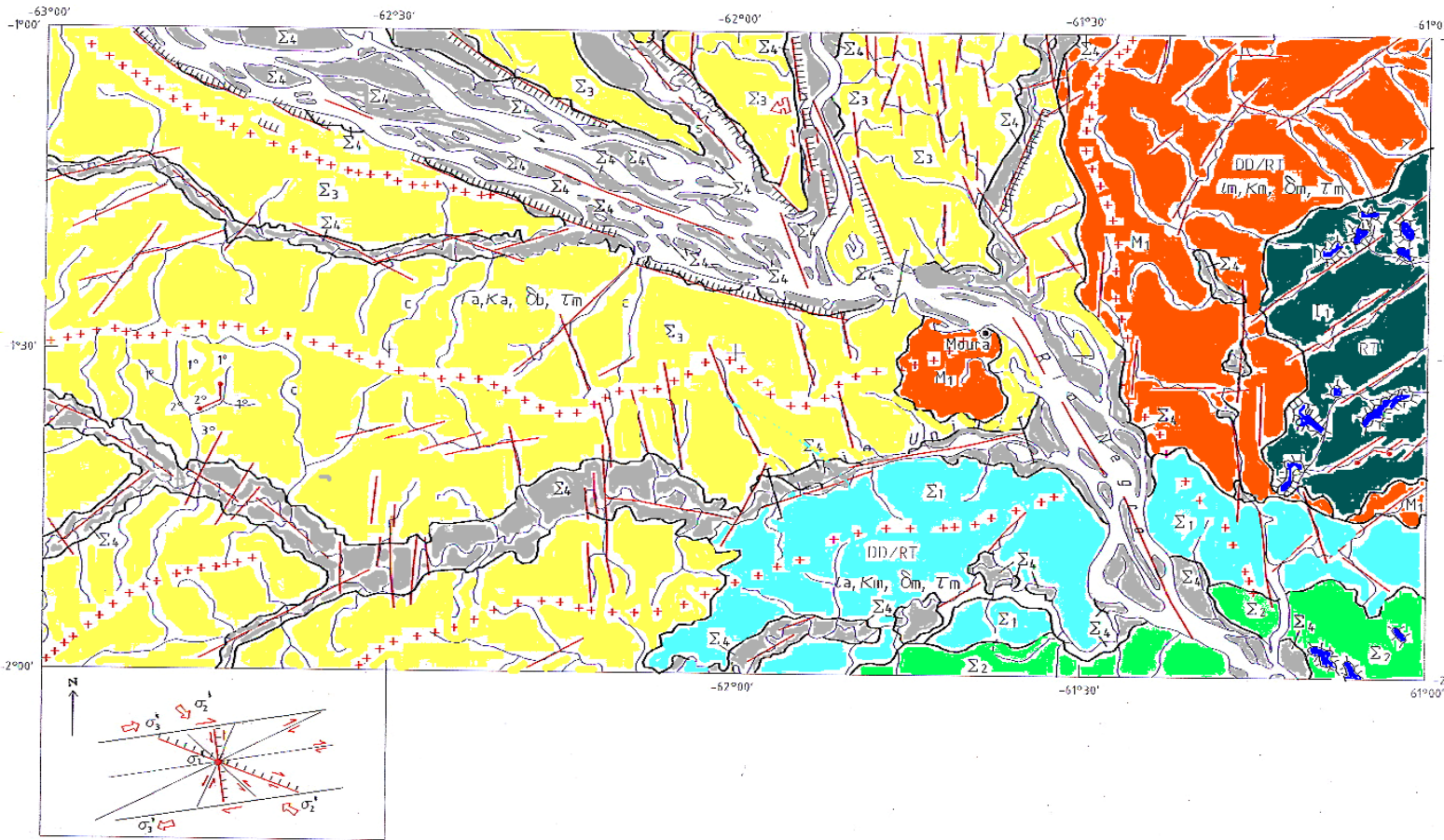
tais anomalias está associada à presença do Arco de Purus com orientação cerca de NO-SE, passando a oeste do Distrito de Moura.

Deste modo, em um regime tectônico transtensivo teríamos σ'_1 vertical, σ'_2 orientado segundo NO-SE e σ'_3 ENE-OSO, ambos horizontais, conforme pode ser visto no cartograma da **Figura 105**. As falhas normais do rio Negro (NO-SE) seriam oblíquas dextrais.



Estampa 24 – Baixo rio Negro (AM/Brasil) em imagem LANDSAT – TM5, R5G4B3 (1995).

Em (A) canal em *braided* (entrelaçado) do rio Negro (arquipélago de Anavilhanas); em (B) e (C) rio controlado por meandros e em (D) retilíneo com cerca de 45 km. Em (F) embasamento. Atentar para o controle estrutural das drenagens. Norte no topo. Cf com Figura 98 .



CINEMATICA DAS FRATURAS VERSUS EIXOS COMPRESSIVOS

Figura 106: Região do Baixo Rio Negro (Moura –AM/Brasil)

Região do Baixo rio Negro (Moura-AM/Brasil) Cartograma ao lado mostra inter-relação da cinemática com eixos compressivos. Vide explicações no texto.

$\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3$ e Σ_4 = rochas sedimentares ; I_1 = rocha ígnea; M_1 = rocha metamórfica; τ = tropia ; κ = grau de continuidade ; ι = grau de integração ; δ = densidade ; ângulo de junção = \angle ; Contato entre litologias (———) ; Alinhamento de drenagem (———) ; Alinhamento de drenagem normal (traços no bloco baixo) ; 1,2,3,4 = número de ordem ; divisor = ++++++ ; DD = dendrítico ; RT = retangular ; Platôs com escarpa vertical =

Resumo da Figura 106

Propriedades de Drenagem versus Litologias

Unidade Geológica	Litologias	Propriedades de Drenagem						
		Grau de Integração (ι)	Densidade (δ)	Sinuosidade	Angularidade	Ângulo de Junção	Grau de Continuidade (κ)	Tipo de Canal
Σ ₃	Areias, argilas e cascalhos	Médio	Média	Média	Média	Agudo	Médio	Retilíneo com barras e Entrelaçado
Σ ₂	Arenitos e Argilitos	Baixo a médio	Baixa	Média	Média	Reto a obtuso	Médio	Meândrico
Platôs	Lateritos	Alto	Baixa	Baixa	Baixa	Agudo a reto	Baixo	Retilíneo
Σ ₁	Arenitos	Médio	Baixa	Baixa	Alta	Reto a agudo	Baixo	Retilíneo a retilíneo com barras
I ₁	Granitóides	Baixo a médio	Baixa a média	Média a alta	Média a alta	Reto a agudo	Baixo a médio	Retilíneo
M ₁	Gnaisses	Baixo a médio	Baixa a média	Baixa	Alta	Reto a agudo	Baixo a médio	Retilíneo

Observação : Cf com Figura 106

Resumo da Figura 106

Integração Temática

Unidade Geológica	Litologias	Geomorfologia (Formas de relevo)	Solos (Grupos)	Vegetação (Classes de Formações)
Σ ₃	Areias, argilas e cascalhos	Planície aluvial	Solos aluviais	Floresta Densa Aluvial
Σ ₂	Arenitos e Argilitos	Paleocanais	Solos Hidromórficos	Floresta Densa Aluvial
Platôs	Lateritos	Nível de Aplanamento	Concrecionário	Floresta Aberta
Σ ₁	Arenitos	Planalto Rebaixado com formas de topo plano	Latossolos	Floresta Densa e Campinarana
I ₁	Granitóides	Planalto de formas com topo convexo	Podzólicos	Floresta Densa
M ₁	Gnaisses	Planalto com formas de topo convexo a agudo	Podzólicos	Floresta Densa

Observação : Cf com Figura 106

XXII.2.7 – Região do rio Solimões (São Paulo de Olivença- AM/Brasil)

Situa-se na região do rio Solimões, cercanias da fronteira com a Colômbia, envolvendo a sede do município de São Paulo de Olivença, no Estado do Amazonas (**Figura 107; Estampa 25**).

Geologicamente encerra sedimentos terciários (Σ_1) (zul claro) e quaternários, sob a forma de terraços (Σ_2) (verde) dispostos em um planalto rebaixado, e sedimentos aluviais (Σ_3) (amarelo) situados ao longo das drenagens principais, com destaque para o de maior hierarquia fluvial, o rio Solimões. Vide **Figura 107**.

No que concerne a geomorfologia tem-se a ocorrência de tabuleiros compondo o Planalto Rebaixado da Amazônia (Ocidental), com grande incidência de zonas inundáveis, e a Planície Amazônica, bem caracterizada no vale do rio Solimões (PROJETO RADAMBRASIL, op. cit.).

Os principais tipos de solos são os Latossolos, Podzol Hidromórficos, Podzólicos e Hidromórficos (PROJETO RADAMBRASIL, op. cit.), sendo as principais formações florestais a Floresta Densa, Campinarana e Floresta Aluvial (PROJETO RADAMBRASIL, op. cit.).

Propriedades de Drenagem: Grau de Integração (ι) Médio; Grau de Continuidade (κ) Médio; Densidade (δ) Média a Baixa; Tropicidade (τ) Forte a Média; Grau de Controle Alto; Sinuosidade Baixa; Retilinearidade Alta a Média; Angularidade Alta a Média; Ângulo de Junção Reto a Obtuso; e Assimetria Média a Fraca. Movimentos de blocos são indicados porém com o bloco baixo mergulhando para Sul, de maneira contrária ao indicado pelo símbolo. Fato que possibilitou o desenvolvimento de tão extensa planície de inundação. Representado pela Unidade (Σ_2) (verde)

O padrão de drenagem dominante é o retangular (RT), com variações para o dendrítico (DD) e o paralelo (PL), podendo-se observar a sudeste de São Paulo de Olivença a presença do padrão Anelar (AN), fato este que se constitui em uma anomalia. Tal morfoestrutura apresenta um IE = Muito Forte e FC = Muito Forte.

O tipo de Canal dominante ao longo do rio Solimões é o Retilíneo com Barras, enquanto nos rios secundários destacam-se o meândrico e o retilíneo, implicando, portanto, em índices de dissecação distintos. O Índice de Dissecação é Alto a Médio.

Dominam feições com topo plano e eventualmente com o topo agudo, em região com fase inicial de dissecação. Vales em U parecem dominar, embora os canais sejam retilíneos.

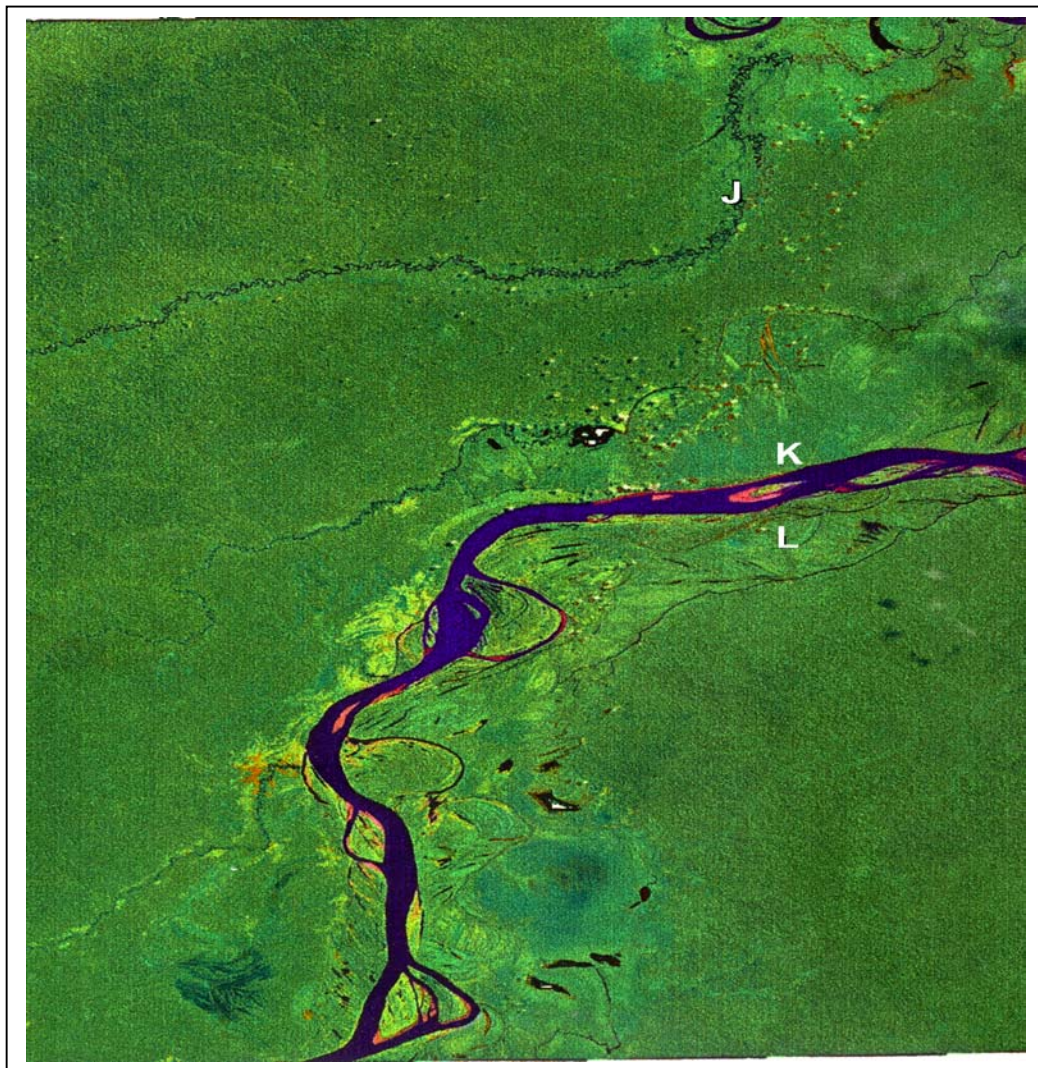
Alinhamentos de drenagem são bem marcantes, com extensão quilométrica e assimetria marcante. Os divisores de água são bem definidos.

Estudos sobre a região em questão foram apresentados por Lima (1988), Cunha (1988), Cunha (1991), Costa et al. (1996) e Bermeguy (1997) com os dois últimos destacando a presença de falhas transcorrentes de E-O, interligadas a falhas NO-SE de caráter normal, no que concerne a movimentos neotectônicos.

Na análise da **Figura 107** merece menção especial a inflexão de noventa graus mostrada pelo rio Solimões e seus afluentes pela margem direita, passando de N-S para E-O, como também a presença de depósitos aluviais dispostos sempre sobre uma mesma margem. Na parte superior da **Figura 107** o padrão retangular obedece principalmente a orientação E-O. A análise dos divisores de água permite concluir pela acentuada assimetria, indicativa de movimentação de blocos. A anomalia destacada pela drenagem

anelar (AN) a sudeste de São Paulo de Olivença está relacionada à marcante estrutura em subsuperfície denominada de Arco de Jutai (Cunha, 1991) e que, provavelmente, sofreu efeitos de tectônica ressurgente, em tempos quaternários. As falhas normais orientam-se segundo ONO-ESE, enquanto que a fase compressiva dispõe-se cerca de NO-SE, muito bem exemplificado pelo Arco de Jutai, com reflexo em superfície. As falhas sinistras orientam-se NE-SO, estando interligadas às falhas normais E-O e as N-S juntam-se às destraiscerca de E-O.

Esses dados sugerem um regime tectônico transtensivo destal, com falhas normais mostrando movimento direcional de orientação próxima a E-O, às quais se associam normais N-S e transcorrentes sinistras NE-SO, compondo bacias de afastamento. Expressiva anomalia é emprestada pela reativação do Arco de Jutai, configurando uma anomalia de drenagem com padrão do tipo anelar (AN). O eixo dinâmico compressivo σ'_1 apresenta-se em posição vertical, σ'_2 segundo NE-SO e σ'_3 cerca de E-O, ambos com disposição horizontal (vide cartograma da **Figura 107**).



Estampa 25 – Região do rio Solimões (AM/Brasil) em imagem LANDSAT – TM5, R5G4B3 (1995).

Observar o controle estrutural em (J) e (K) e planície aluvial em (L). Planície aluvial em L = 800 m. Norte no topo. Cf com Figura 106.

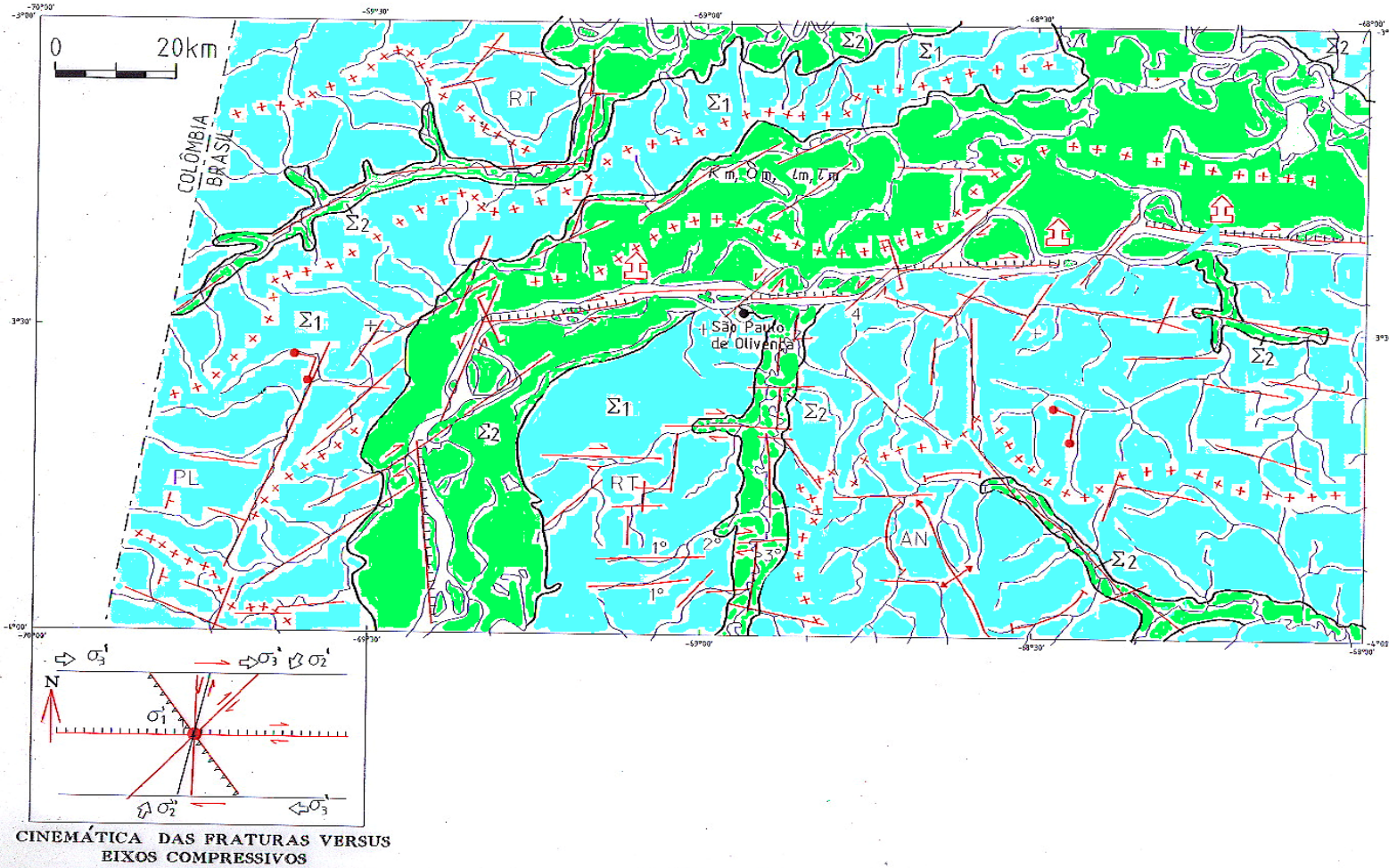









Figura 107: Região do rio Solimões (São Paulo de Olivença -AM/Brasil)

Região do rio Solimões (São Paulo de Olivença -AM/Brasil) Cartograma ao lado mostra inter-relação da cinemática com eixos compressivos. Vide explicações no texto.

Σ_1 e Σ_2 = rochas sedimentares ; τ = tropia ; κ = grau de continuidade : ι = grau de integração ; δ = densidade ; Movimentação de blocos () ; ângulo de junção () ; Contato entre litologias () ; Alinhamento de drenagem () ; Alinhamento de drenagem normal (traços no bloco baixo) () ; Alinhamento de drenagem com movimentação direcional () ; Alto estrutural com caimento ().

Resumo da Figura 107

Propriedades de Drenagem versus Litologias

Unidade Geológica	Litologias	Propriedades de Drenagem						
		Grau de Integração (ι)	Densidade (δ)	Sinuosidade	Angularidade	Ângulo de Junção	Grau de Continuidade (κ)	Tipo de Canal
Σ ₃	Areias, argilas e cascalhos	Médio	Média	Média	Baixa	Agudo	Médio	Retilíneo e Retilíneo com barras
Σ ₂	Arenitos, argilitos e conglomerados	Médio	Baixa a média	Baixa	Alta a média	Reto a agudo	Baixo a médio	Retilíneo e Retilíneo com barras
Σ ₁	Arenitos	Médio a Baixo	Baixa	Baixa	Alta	Reto a agudo	Baixo	Retilíneo e Retilíneo com barras

Observação : Cf com Figura 107

Resumo da Figura 107

Integração Temática

Unidade Geológica	Litologias	Geomorfologia (Formas de relevo)	Solos (Grupos)	Vegetação (Classes de Formações)
Σ ₃	Areias, argilas e cascalhos	Planície Aluvial	Solos Hidromórficos	Floresta Densa Aluvial
Σ ₂	Arenitos, argilitos e conglomerados	Terraços	Latossolos e Solos Hidromórficos	Floresta Densa
Σ ₁	Arenitos	Planalto Rebaixado com formas de topo plano	Latossolos e Podzol Hidromórfico	Floresta Densa e Campinarana

Observação : Cf com Figura 107

XXXIII - EXERCÍCIOS PRÁTICOS

Objetivando exemplificar o que foi até aqui discorrido e apresentado, escolheram-se como exercícios práticos duas áreas situadas na Chapada do Cachimbo, nos limites Pará, Amazonas e Mato Grosso, utilizando-se unicamente a drenagem, ou seja, sem a ajuda importante das formas de relevo, ou zonas aluviais e seus terraços, além de informes de cunho pedológico e fitoecológico como ilustrado no capítulo anterior.

No entanto, preferiu-se, mais uma vez, mostrar o “*modus faciendi*” e apresentase o Exercício 1 como o autor gostaria que fosse realizado o Exercício 2. Ou seja, procurando-se utilizar o maior número de convenções com o fito de enriquecer de dados, para uma posterior interpretação em bases mais seguras. O Exercício 3 é apenas para exemplificar os símbolos e abreviaturas utilizadas na Tabela 14.

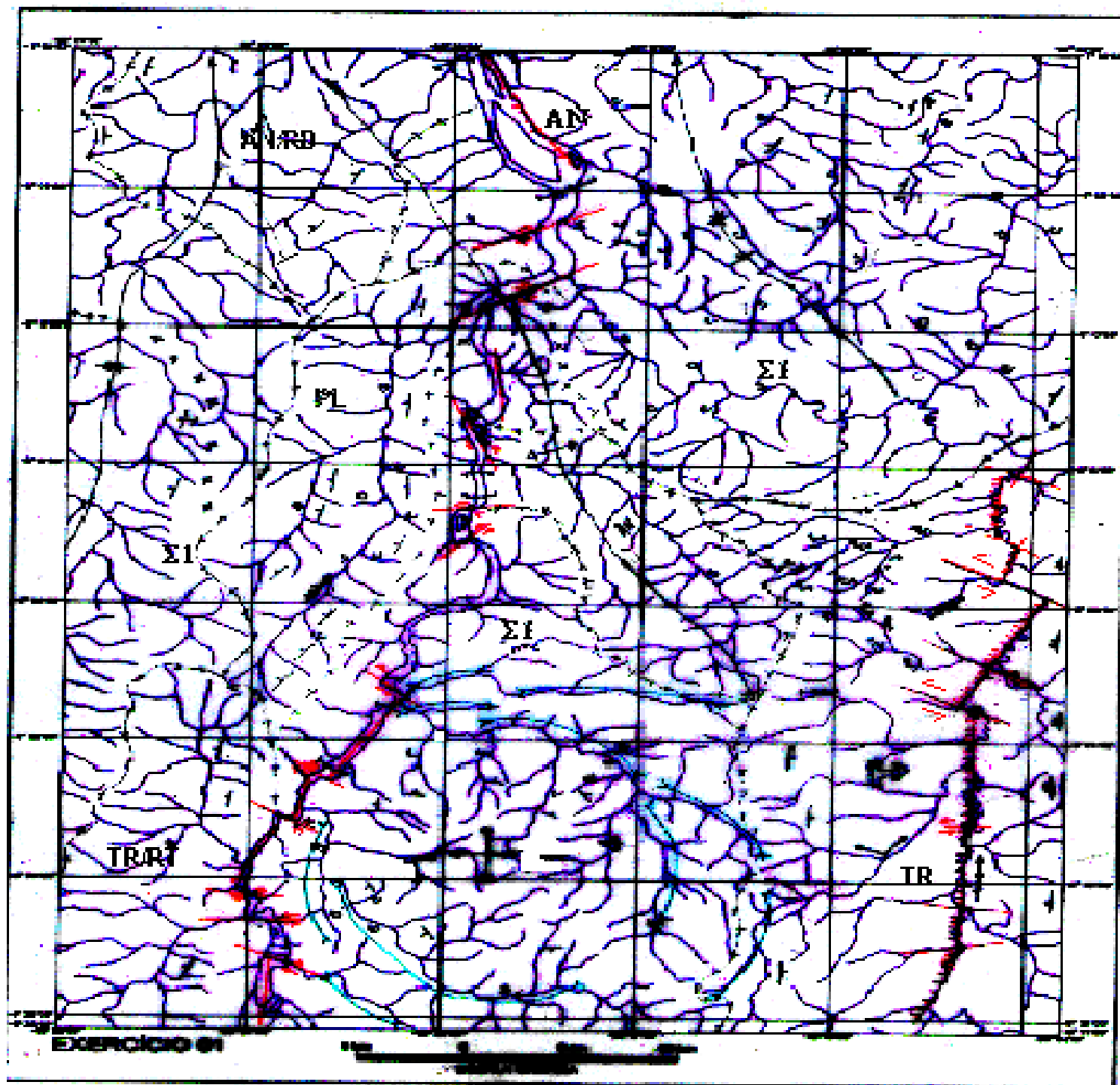
XXIII.1 – Exercício 1

O primeiro passo é traçar a drenagem utilizando determinadas imagens de sensoriamento remoto, especialmente as da faixa do infravermelho próximo (Banda 4 do LANDSAT-TM-7) ou Radar de Visada Lateral (bandas X, C ou L) de preferência com estereoscopia (caso do RADARSAT na Banda C). As fotografias aéreas podem e devem ser utilizadas para trabalhos que exijam mais detalhe. Neste exercício utilizaram-se imagens de Radar de Visada Lateral da GEMS (Banda X) e imagem Landsat-TM-5 R4G5B3, contudo sem estereoscopia, e a escala escolhida foi a 1:250.000.

O segundo passo foi traçar os divisores de água, com vistas à delimitação de bacia e sub-bacias, e definir um ou mais tipos de padrão de drenagem, que pode ou não coincidir com o divisor de água. De uma maneira geral procurou-se utilizar, quando possível, todas as convenções da **Tabela 14**. No caso das propriedades de drenagem, como grau de continuidade, densidade e grau de integração dependem, fundamentalmente, de um traçado mais acurado da drenagem, ou seja, mais detalhe.

Um fato importante é que o leitor deve analisar as morfoestruturas interpretadas no que concerne ao IE (Intensidade de Estruturação) e FC (Fator de Confiabilidade) conforme a **Figura 83** (FED).

Os resultados obtidos podem ser visualizados no Exercício 1, no qual estão relacionadas as convenções utilizadas.



Exercício 1: Chapada do Cachimbo – Região do Médio Juruena (MT-AM)

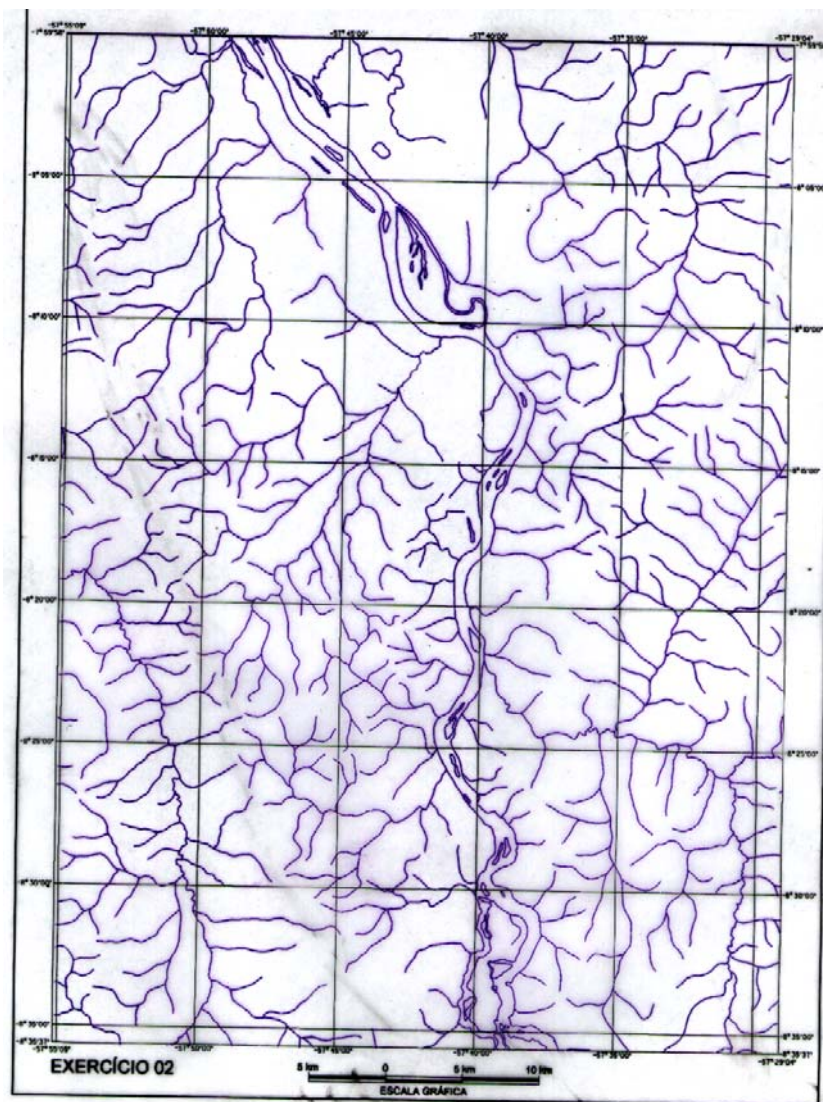
Exercício 1 – Chapada do Cachimbo – Região do Médio rio Juruena –(MT/AM).

c =conseqüente; s = subseqüente; o = obseqüente ; AN = anelar; PL = paralelo ;RT= retangular; RD = radial; tropia forte (++++); assimetria fraca (—); assimetria média (—); ângulo de junção obtuso (↘); ângulo de junção reto (⊥); sinuosidade (⤿); retilinearidade forte (++++); canal retilíneo (□□); canal retilíneo com barras (EΞ); rocha sedimentar (Σ); número de ordem (1^o); limite entre padrões (—); divisor de águas (+++++); alto estrutural com caimento (↕); alto estrutural com duplo caimento (↔); baixo estrutural com caimento (↘); alinhamento de drenagem (—); alinhamento de drenagem com movimentação normal (traços no bloco baixo) (TTTTTTT); alinhamento de drenagem com movimentação direcional (≡).

XXIII.2 – Exercício 2

Sugere-se que sejam procedidas as seguintes atividades no exercício 2, consoante as convenções e abreviaturas dispostas na **Tabela 14** e **Figura 83**:

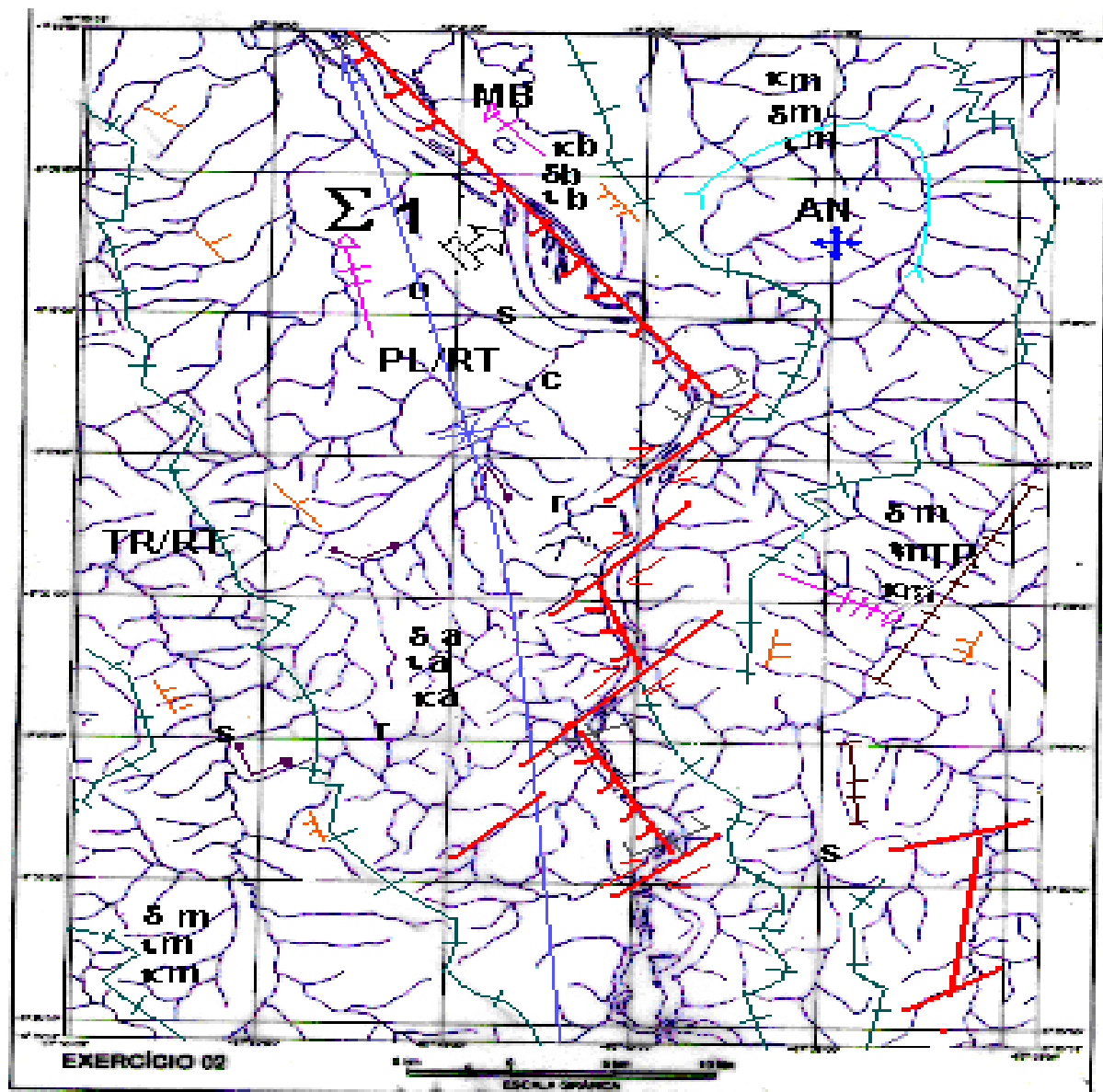
- definir os divisores de água e/ou padrões de drenagem e delimitá-los;
- analisar as propriedades de drenagem: grau de integração, grau de continuidade, densidade, tropia, grau de controle, sinuosidade, retilinearidade, angularidade, ângulo de junção e assimetria;
- identificar os FED's e identificar o IE (Intensidade de Estruturação) e FC (Fator de Confiabilidade);
- interpretar as morfoestruturas descobertas



Exercício 2 – Chapada do Cachimbo – Região do Médio rio Teles Pires

XXIII.3 – Exercício 3

Este exercício procura exemplificar as abreviaturas e símbolos utilizados na Tabela 14, como uma forma de melhor orientar a execução dos futuros trabalhos a serem desenvolvidos pelo leitor.



Exercício 3 - Chapada do Cachimbo – Região do Médio rio Teles Pires. Para símbolos e abreviaturas vide Tabela 14

XXIV - CONCLUSÕES

Esta obra constitui uma primeira aproximação no sentido de sistematizar e perscrutar o estudo da drenagem, em especial no tocante ao seu significado geológico-geomorfológico. Para tanto, tornou-se necessário a colocação de alguns conceitos básicos visando facilitar a compreensão e, portanto, auxiliar na interpretação. Dentro da mesma filosofia convenções e abreviaturas foram inseridas, no sentido de mostrar a importância de se dispor de um banco de dados gráfico, como subsídio à interpretação. Para sua complementação foi necessário buscar informes de cunhos pedológico e fitoecológico, e dentro das possibilidades, àqueles de subsuperfície (geofísicos), importantes para ratificar a interpretação de superfície. Deste modo, pode-se concluir, que por ser uma primeira aproximação e inédita, esta obra reveste-se de caráter introdutório, pioneiro e mesmo didático.

Merece ser ressaltado, mais uma vez, que a drenagem constitui-se tão-somente, apenas mais uma importante ferramenta na interpretação tanto de dados geológicos quanto geomorfológicos, sendo sua maior utilidade em regiões de relevo plano ou suavemente ondulado e constituído por unidades cronoestratigráficas do Cenozóico. Diversas informações adicionais, tais como as geofísicas, por exemplo, são de suma importância para a complementação de sua interpretação.

Deve-se mencionar, ainda, que a drenagem atualmente implantada é de origem quaternária, estando geralmente relacionada a zonas de fraquezas, falhas fundamentais, passíveis de terem sido reativadas ao longo do tempo geológico. Em termos de Neotectônica, ou Tectônica Ressurgente, o estudo da drenagem cresce em relevância, sendo que tais efeitos, principalmente em território brasileiro, serão mais bem sentidos em terrenos mais novos que o Cretáceo.

Não pode ser esquecido que a drenagem, quando estudada de forma isolada, fornece um conjunto de informações, entretanto, quando acrescida de informes de cunho litológico, pedológico, geomorfológico, torna-se mais significativa, por que com graus de liberdade mais reduzidos, haverá uma maior confiabilidade na interpretação.

O Processamento Digital de Imagens (PDI) tem contribuído de forma significativa para a melhoria da qualidade da imagem digital e no realce de determinadas feições. No entanto, não foi ainda criado um programa que trace com minudência e sem ambigüidades a drenagem, e muito menos capaz de proceder a sua interpretação. Aliás, com o advento de imagens digitais muitos intérpretes mal sabem como proceder no traçado da drenagem, o que, diga-se de passagem, constitui-se em uma tarefa relativamente fácil.

A estereoscopia e a utilização de Modelo Digital do Terreno, são, indubitavelmente, importantes aliados, tanto no seu delineamento como também para sua melhor interpretação, graças a visão tridimensional fornecida.

Uma das principais técnicas apresentadas para facilitar a interpretação baseia-se na adoção de convenções gráficas e abreviaturas, constituindo-se em um procedimento inédito em termos de análise de drenagem. Aliás, reforça-se que o próprio intérprete deve promover o traçado da mesma em imagens de sensores remotos.

A grande maioria dos geomorfólogos procura sempre relacionar as mudanças de drenagem, formações de terraços, retilinearidades, etc, a fatores climáticos. O geólogo, por sua vez, procura relacioná-las a eventos tectônicos. Pelo que foi visto, tanto o fator

tectônico quanto o climático sempre estão presentes, havendo diferenças, no entanto, com respeito ao seu grau de dominância.

As interpretações apresentadas no capítulo referente aos exemplos práticos (**Capítulo XXII**) não representam uma verdade inquestionável, sendo, portanto, passíveis de modificações. Aliás, o autor agradece a todos aqueles que se dispuserem a emitir opiniões e sugestões que venham a tornar esta obra, em um futuro próximo, a mais pragmática e confiável possível.

Espera-se que esta composição atinja os objetivos propostos, não apenas pelo seu caráter inédito em termos nacionais, como também pelos procedimentos metodológicos apresentados, os quais deverão ser em breve mais explorados, face ao avanço da técnica em processamento digital de imagens e produção de imagens com melhores resoluções espaciais e radiométricas, além de uma melhor interação com dados geofísicos de subsuperfície e um controle de campo minudente.

XXV – BIBLIOGRAFIA

ALLEN, J. R. L – Studies in fluvial sedimentation : six cyclothems from the lower Old Red Sandstone, Anglo-Welsh Basin. *Sedimentology* 3:163–198, 1964.

ALMEIDA, L.F.G. A drenagem festonada e seu significado fotogeológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. v.7, p.175-1974.

_____. Implicações tectônicas do Cráton Guianês na bacia do Alto Amazonas. In: CONFERÊNCIA GEOLÓGICA INTERGUIANAS, 10., 1975 Belém. **Anais...** Belém: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1975, p.777-791.

ARAÚJO, J.F.V. et al. Geologia. In: PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SA.21 Santarém**. Rio de Janeiro, 1976. 510p. (Levantamento de Recursos Naturais, 10)p.19-122.

ARAÚJO, O.J.B. et al. **Projeto Domo do Erepecuru**. Belém: CPRM/GEBAM, 1983. v.1.

BAKER, V R. Fluvial landforms. In: SHORT, N.M.; BLAIR JR, R.W. (Coords.) **Geomorphological from space. A global overview of regional landforms**. [CD-ROM] . JPL and NASA. 1986.

BARBOSA, G.V. et al. Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do Projeto RADAMBRASIL. **Boletim do Projeto RADAMBRASIL. Sér. Geomorfologia**, Salvador, v.1, p.3-26, 1994.

BEMERGUY, R. L. **Morfotectônica e evolução paleogeográfica da região da Calha do Rio Amazonas**. Belém, 1997. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, 1997.

BEZERRA, P. E. L. ; LIMA, M. I. C. ; COELHO, F. A. J. F. Estruturação Neotectônica da Folha SA.20 Manaus .In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6., 1999, Manaus. **Anais...** Manaus: SBG/NO, 1999. p.288-291.

BILLINGS, M.P. **Geologia estrutural**. Buenos Aires: EUDEBA, 1962. 964p.

BURGER, H. R. ; HARMS, T. A. – Introduction to Structural Methods. Tasa Graphic Arts, Inc. USA. N. M. 2001. CD-ROM.

BROWDEN, L.W.; PRUITE, E.L. **Manual of remote sensing, interpretation and applications**. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1975. 2v.

COSTA, J.S.; HASUI, Y.; PINHEIRO, R.V.L. **Bacias sedimentares**. Belém: Ed. Universitária UFPA, 1992. 106p.

CREPANI, E. Análises de fraturas de imagens fotográficas de baixa redução espacial: uma contribuição ao estudo da evolução tectônica da chapada do Araripe. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO

- DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5.,1998, Natal, 1998. **Anais...** Natal: INPE, 1988. v..2, p.366-380.
- CHORLEY, R. J; SCHUMM, S. A.; SUGDEN, S. E. Drainage Basins: geomorphic processes and landforms. In: CHORLEY, R.J. (Ed.). **Geomorphology**. London: Methuen, 1984. p. 316-340.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Ed. Universidade, 1974. 149p.
- _____. **Geomorfologia**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, Edição. São Paulo, 1980. 188p.
- _____. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981. 313 p.
- COSTA, J. B. S. et al. Neotectônica da Região Amazônica: Aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Geonomos*. **Revista de Geociências**, v.4, n.2, p.23-44, 1996.
- CUNHA, F.M.B. da . Aspectos morfoestruturais do baixo Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1.,1982, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1982. p.75-83.
- _____. Controle tectônico -estrutural na hidrografia da região do alto Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA , 35., 1988, Belém, **Anais...** Belém: SBG, 1988. v.5, p.2267-2277.
- CUNHA, F.M.B. da; CARNEIRO, R.G. Interpretação fotogeológica do centro oeste da Bacia do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1972, Belém. **Anais...** Belém: DNPM/SBG, v.3, p.655-80.
- CUNHA, S.B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia. Uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Ed. Berthrand Brasil, 1994. p.211-252.
- CZABAT, C. L 'interpretation des photographies aériennes. **Bulletin d' Information de l'Institut Géographique National**, Paris, v.8, p.17-39, 1969.
- DE BLIEUX, C. W. Photogeology in gulf coast exploration. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, Tulsa, v. 33.p.1252-1259, 1949.
- DEFFONTAINES, B.; CHORWICZ, J. Principles of drainage basin analysis from multisource data: application to the structural analysis of the Zaire Basin. **Tectonophysics**, Amsterdam, v.194, p.237-263, 1991.
- DERRUAU, M. **Geomorfologia**. Barcelona: Ed. Ariel, 1970. 442p.
- DRURY, S.A. **Image interpretation in geology**. London: Allen &Unwin, 1987. 237p.
- DURY, G.H. **River and river terraces**. London: MacMillan, 1970.
- FAIRBRIDGE, R W. **The Encyclopedia of geomorphology**. New York: Reinhold, 1968. 1295p. (Encyclopedia of Earth Sciences Series,3) p.284 – 291.
- GAGNON, H. La photographie aérienne. Son interprétation dans le études de l'environnement et de l'aménagement du territoire. Montreal: H.R.W, 1974. p.21-31.
- GARDINER, V. Drainage basin morphometry. **Technical Bulletin Britanic. Geomorphological Research Group**, London, v.48, 1974.
- GARY, M.; MACAFFE JR, R.; WOLF, C.L. **Glossary of geology**. Washington, D.C.: American Geological Institute, 1972. 805p
- GERBOVA, C. ;TICHOMIROV,I. Russian school contribution to the birth and development of neotectonics. **Geologische Rundschau**, Stuttgart, v.71, p.513- 518, 1982.
- GERASIMOV, I. P.; MESCHERIKOV,J.A. Morphostructure. In: FAIRBRIDGE, R.W. **The encyclopedia of geomorphology**. New York: Reinhold, 1968. 1295p. (Encyclopedia of Earth Sciences Series, 3)p.731-732.
- GREGORY, K.J.; WALLING, D.E. **Drainage basins: form and process**. London: Arnold, 1974.p.37-61.

- GUERRA, A.T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 5.ed. Rio de Janeiro: IBGE,1993. 439p.
- HAMBLIN, W.K.; HOWARD, J.D. **Physical laboratory manual geology**. 3.ed. Minneapolis: Burgess, 1971. 198p.
- HASUI, Y.; COSTA, J.B.S. **Zonas e cinturões de cisalhamento**. Belém: Ed. Universitária, UFPA, 1991. 144p.
- HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: WOKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO. 1990, Belo Horizonte. **Anais ...** Belo Horizonte: SBG/MG. p. 1-31.
- HARLAND, W. B. Tectonic transpression in Caledonian Spitzbergen. **Geological Magazine**, London, v.108, p 27-42, 1971.
- HOBBS, B.E.; MEANS, W.D.; WILLIAMS, P.F. **An outline of structural geology**. New York: J. Wiley, 1976. 571p.
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basin: hidrographical approach to quantitative morphology. **Geological Society of American Bulletin**, Colorado, v.56, n.3, p.275-370, 1945.
- HOWARD, A.D. Drainage analysis in geologic interpretation: summation. **Bulletin American Association of Petroleum Geologists**, Tulsa, v.5, n.11, p.2246-2259, 1967.
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. 92p. (Manuais Técnicos em Geociências, 1).
- LIMA, M. I. C . Lineamentos estruturais na sequência Cenozóica Solimões e suas relações com o Craton Amazônico e Bacia do Alto Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35.,1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988.v.6, p.2396-2406.
- _____. Análise morfoestrutural do sul da Bacia do Parnaíba, baseado em imagens de radar(RVL). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., 1971, Belém. **Anais...** Belém: SBG-Núcleo Norte, 1971.p.220-231.
- _____. **Introdução à interpretação radargeológica**. Rio de Janeiro, 1995. 124p. (Manuais Técnicos em Geociências, 3).
- _____. Identificação de morfoestruturas anômalas na porção centro oriental da bacia do Maranhão (Brasil), através de imagens SLAR e LANDSAT-TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6.,1990, Manaus, **Anais...** Manaus: INPE, 1990.v.3, p.663-670
- _____. Metodologia de interpretação radargeológica: exemplo da Sinéclise do Parnaíba e de seu embasamento. Belém: 1995. 283p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Pará, Centro de Geociências, 1995.
- LIMA, M. I. C. et al. Interpretação Morfoestrutural da região leste da ilha de Marajó (PA). In :V SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA. Boletim de Resumos Expandidos e Guia de Excursões. SBG . Núcleo Norte.1996. Belém. P.327-330.
- LEE,D.R.; SALLE, G.T. A method of measuring shape. **Geographical Review**, New York, v.60, n.4, p.555-563, 1970.
- LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G. River channel patterns; braided, meandering and straight. **U.S. Geological Survey Professional Paper**, Washington, D.C., v.282B, p.29-84, 1957.
- LEOPOLD , L. B. ; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. **Fluvial Processes in Geomorphology**. San Francisco: W. H. Freeman, 1964.
- LOCZY, L. de; LADEIRA, E.A. **Geologia estrutural e introdução à geotectônica**. São Paulo: E. Blücher, Rio de Janeiro; Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1976. 528p.
- LOPEZ VERGARA, M. **Manual de fotogeologia**. 2.ed. Madrid: Servicio de Publicaciones de la Junta de Energia Nuclear, 1971. 308p. Anexo: Laminas.

- LOWELL, J. D. **Structural stiles in Petroelum Exploration**. Tulsa. OGCI Publications, 1985. 460 p.
- LUEDER, D.R. **Aerial photographic interpretation**. New York.: McGraw-Hill, 1959.
- MESCHERIKOV, Y. A. Neotectonics. In: FAIRBRIDGE, R.W. **Encyclopedia of geomorphology**. New York: Reinhold, 1968. 1295p. (Encyclopedia of Earth Sciences Series, 3)p.768-773.
- MENDES, J.C. **Elementos de estratigrafia**. São Paulo: Ed. da Universidade, 1984.566p.
- MENESES, P.R.; OSORDAS, S.M. **Análise morfoestrutural integrada com imagens de Radar e Landsat da bacia do Paraná**. São Paulo: PAULIPETRO. Consórcio IPT-CESP, 1981.
- MILANI, E. J. Falhamentos transversais em bacias distensionais. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v.3, n.1/2, p.29-42, 1989.
- MILLER, V. C.; MILLER, C. F. **Photogeology**. New York: McGraw-Hill, 1961. p.157-167.
- MIRANDA, F. P. Sensoriamento remoto na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Amazonas. **Boletim Técnico da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v.26, n.4, p.208-291, 1983.
- MONTEIRO, M.F.; SILVA, T.C. **Aspectos fluviais importantes para a fotointerpretação**. 2.ed. Salvador: Centro Editorial e Didático da Universidade Federal, 1979. 44p.
- NASCIMENTO, D.A. do; PRATES, M. Geomorfologia. In:PROJETO RADAMBRASIL. **Folha NA.19-Pico da Neblina**. Rio de Janeiro, 1976. 374p. (Levantamento de Recursos Naturais, 11) p.141-182.
- NASCIMENTO, D.A. et al. Geologia. In:PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SA.24 Fortaleza**. Rio de Janeiro, 1981. 483p. (Levantamento de Recursos Naturais, 21)p.23-212.
- NICOLAS, A. - Principes de Tectonique.223p; Masson. Paris, 1987.
- NOVO, E.M.L.M.; KUX, H.J.H.; AHERN, F.J. **Introdução ao sensoriamento remoto por radar**. São José dos Campos: PRORADAR.Brasil-Canadá. Mini Curso. 1994. 50p.
- OBERLANDER, T.M. Origin of the drainage transverse to structures in the orogens. In: MORISAWA, M.; HACK, J.T.(Eds.) **Tectonic geomorphology**. Boston: Allen & Unwin, 1985.p.155-182.
- O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. Lineament, linear, lamination: some proposed standards for old terms. **Geological Society of American Bulletin**, New York, v.87, n.10, p.1463-1469, 1976.
- OUCHI, S. Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v.96, p.504-515, 1985.
- PARVIS, M. Drainage pattern significance in air photo identification of soils and bedrocks. Highway Research Board. Natl., USA, 1950
- PAZZAGLIA, F. J. – Earth's Dynamic Surface . Tasa Graphic Arts, Inc. USA. N. M. 2001. CD-ROM.
- PENTEADO, M.M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1974. 158p. (Biblioteca Geográfica Brasileira. Sér. D. Publicação, 3).
- PINHEIRO, R. V. L. Reativation Historyof Carajás and Cinzento Strike - Slip Systems, Amazon, Brazil. University of Durham.UK. Ph. D. Thesis. Departament of Geological Siences. 1997. 408 p. London.
- PRISMA. **Solos-formação e conservação**. São Paulo: EDUSP, 1977. 150p.
- PROJETO RADAM. **Folha SA.22 Belém: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: DNPM, 1974. (Levantamento de recursos naturais, 5)
- PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SA.19 Içá: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: DNPM, 1977. 452p.(Levantamento de recursos naturais, 14)

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SA. 20 Manaus: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro: DNPM, 1978. 628p. (Levantamento de recursos naturais, 18).

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SD.23 Brasília: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro: Secretaria Geral do MME. 1982. 660p. (Levantamento de Recursos Naturais, 29)

PRUD'HOMME, R. Analyse morphostructurale appliquée a l'Aquitaine occidentale et au Golfe de Gascogne. Définition d'une methodology cartographique interprétative. Bordeaux: [s.ed.,] 1972. 405p. p.222. (Thesis Docteur)

RAMSAY, J. G. HUBER, M. I. – The techniques of modern Structural Geology.v.1. Academic Press, 1983.

RAY, R.G. **Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológico.** São Paulo: Instituto Geográfico e Geológico, 1963. 2v.

RICCI,M.; PETRI, S. Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica. São Paulo: Nacional, 1965. 226p.

RUST, B. R A Classification of alluvial channel systems. In: **MIALL, A. D. ed.Fluvial Sedimentology**/Calgary; Canadian Society of Petroleum Geologist. Memoir 5, 1978.

SCHEIDEGGER, A.E. The algebra of stream order numbers. **U.S. Geological Survey Professional Paper**, Washington, D.C., v.525B, p.187-189, 1965.

_____. A stochastic model for drainage pattern into a intermontane trench. **Bulletin Association International Hidrology Science**, v.12, n.1, p.15-20, 1967.

SCHUMM,S.A. Meander wavelength of alluvial rivers. **Science**, Washington, D.C., v.157, p.1549-1550, 1967.

_____. Evolution and response to the fluvial system, sedimentological implication. **Society Econn. Paleontology Mineralogy Special Publication**, v.31, p.19-29, 1981.

_____. Alluvium river response to active tectonic. In: **Active tectonic**. Washington, D.C.: National Academy Press, p.80-94, 1986.

SELLEY, R.C. **Medios sedimentarios antiguos.** Madrid: Blume, 1976. 251p.

SHREVE, R.L. Statistical law of stream numbers. **Journal of Geology**, Chicago, v.74, n.1, p.17-37, 1966.

SHREVE, R. L. Infinite topologically random networks, **Journal of Geology**, Chicago,v.75, p.178-86, 1967.

SIMONS, D. B. 1973 Open channel flow. In:CHORLEY, J. (Ed.) **Introduction to physical hidrology**. [S.l., s.n] 1973. p131-152.

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

SOARES, P.C. et al. Análise morfoestrutural integrada com imagens de RADAR e LANDSAT da bacia do Paraná. São Paulo: PAULIPETRO. Consórcio IPT-CESP, 1981.

STRAHLER, A. N. Hipsometric (área-altitude) análisis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v.63, p.1117-1142, 1952.

STRANDBERG, C. **Aerial discovery anual.** London: J.Willey, 1967. 249p.

SUGUIO, K. **Rochas sedimentares: propriedades, gênese , importância econômica.** São Paulo: Edgard Blücher e Ed. Universidade São Paulo, 1980. 500p.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J.J. **Ambientes fluviais.** 2.ed. Florianópolis: UFSC, 1990. 183p.

- SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology**. New York: J. Wiley, 1991. 537 p.
- THORNBURY, W.D. **Principles of geomorphology**. 2.ed. New York: J. Willey, 1966.
- TRICART, J. Os tipos de leitos fluviais. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v.6, n.11, p.41-49, 1966.
- WALKER, R.G.; CANT, D.J. Sandy fluvial systems. In: WALKER, R.G. (ed.). **Facies models**. Geol. Assoc., p.71-90 (Geoscience Canada, Reprint Series, 1) 1984.
- WEGMANN, E. Lebendige Tektonik, eine Verbesicht. **Geologische Rundschau**, Stuttgart, v. 43, p. 34, 1955
- WERNER, C.; SMART, J.S. Some new methods of topologia, classification of channel networks. **Geographical Analysis**, v.5, n.4, p.271-295, 1973.
- ZERNITZ, E.R. Drainage pattern and their significance. **Journal of Geology**, Chicago, v.40, p.498-521, 1932.