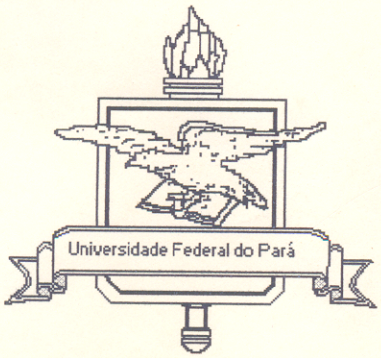

Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

GEOLOGIA ESTRUTURAL DA BACIA DE MARAJÓ.

TESE APRESENTADA POR

JAVIER MARCELO CAHUANA VILLEGAS

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

Data de Aprovação 01 / 12 / 1994

Comitê de Tese:

JOÃO BATISTA SENA COSTA (Orientador)

RENATO PIMENTA DE AZEVEDO

YOCITERU HASUI

BELÉM

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

GEOLOGIA ESTRUTURAL DA BACIA DE MARAJÓ

TESE APRESENTADA POR

JAVIER MARCELO CAHUANA VILLEGAS

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

DATA DE APROVAÇÃO: / /

COMITÊ DE TESE:

Dr. João Batista Sena Costa (Orientador)

Dr. Yociteru Hasui

Dr. Renato Pimenta Azevedo

BELÉM
1994

Este trabalho dedico a minha esposa Mara e a meus filhos Greicy Marianne e Philippe Marcello.

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus agradecimentos ao meu orientador, o Professor Doutor João Batista Sena Costa pelo incentivo, orientação e confiança depositada durante a fase de conclusão da tese.

Gostaria de externar também os meus sinceros agradecimentos as seguintes pessoas e instituições que colaboraram para realização deste trabalho:

- à Universidade Federal do Pará pela infra-estrutura e atmosfera criativa utilizadas através do Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica;
- à Petrobrás pela liberação de mapas, linhas sísmicas, boletins, relatórios, etc., sem os quais não seria possível desenvolver esta pesquisa;
- ao Curso de Pós-graduação em Geofísica pela cessão de seus laboratórios e pelo conhecimento transmitido através das disciplinas regulares;
- ao Geólogo Nilo Matsuda da Petrobrás pela ajuda na seleção dos dados e pelas valiosas discussões sobre aspectos geológicos diversos da Bacia de Marajó; e ao Geólogo Mariano Stamato da Petrobrás pelo apoio e incentivo durante a realização deste trabalho;
- ao Professor Doutor Yociteru Hasui pelas sugestões e conhecimentos transmitidos sobre o quadro estrutural da Região Norte, através dos cursos ministrados na UFPa;
- ao Secom pela liberação dos seus laboratórios de informática, essenciais para a elaboração da versão final do trabalho;
- Ao Doutor Renato Pimenta Azevedo por ter aceito criticar a tese na condição de Membro da Banca Examinadora;
- Agradeço ainda aos amigos da Universidade Federal do Pará, sobretudo àqueles da sala-9 do Centro de Geociências, que contribuíram para amenizar as dificuldades do dia-a-dia.

SUMÁRIO

DEDICATORIA..... i
AGRADECIMENTOS..... ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES..... v
RESUMO..... 1
ABSTRACT..... 3
1- ASPECTOS GERAIS..... 5
1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA..... 5
1.2 OBJETIVOS..... 5
1.3 METODOLOGIA..... 7
1.4 ANÁLISE DOS TRABALHOS ANTERIORES DA BACIA DE MARAJÓ..... 8
2- QUADRO GEOLÓGICO DO FANEROZÓICO.... 12
2.1 BACIAS PALEOZÓICAS..... 12
2.1.1 **Bacia do Baixo Amazonas**..... 12
2.1.2 **Bacia do Parnaíba**..... 17
2.2 BACIAS MESOZÓICAS..... 22
2.2.1 **Bacias de Bragança-Viseu, São Luis e Ilha Nova**..... 22
3- ESTRATIGRAFIA DE SEQÜÊNCIAS DA BACIA DE MARAJÓ..... 27
3.1 SEQÜÊNCIA PRÉ-RIFTE..... 27
3.2 SEQÜÊNCIA RIFTE..... 29
3.3 SEQÜÊNCIA PÓS-RIFTE..... 30
4- GEOLOGIA ESTRUTURAL..... 32
4.1 INTRODUÇÃO..... 32
4.2 SUB-BACIA DE MEXIANA..... 36
4.2.1 **Introdução**..... 36
4.2.2 **Apresentação dos elementos estruturais**.... 38
4.2.3 **Descrição das estruturas**..... 40
4.2.3.1 Falhas transcorrentes..... 40
4.2.3.2 Falhas normais secundárias..... 45
4.2.4 **Arranjo geométrico-cinemático**..... 52
4.2.5 **Tectônica da sub-bacia**..... 54
4.2.5.1 Fase transtensiva inicial..... 54
4.2.5.2 Fase compressiva..... 54
4.2.5.3 Fase transtensiva final..... 55

4.3 SUB-BACIA DE LIMOEIRO..... 56
4.3.1 **Introdução**..... 56
4.3.2 **Apresentação dos elementos estruturais**.....56
4.3.2.1 Bloco I..... 57
4.3.2.2 Bloco II..... 63
4.3.2.3 Bloco III..... 66
4.3.2.4 Bloco IV..... 68
4.3.2.5 Bloco V..... 70
4.3.3 **Projeção das transcorrências nos blocos I, II e III**..... 72
4.4 SUB-BACIA DE CAMETÁ..... 75
4.4.1 **Introdução**..... 75
4.4.2 **Principais elementos estruturais**..... 75
4.5 SUB-BACIA DE MOCAJUBA..... 80
4.5.1 **Introdução**..... 80
4.5.2 **Principais elementos estruturais**..... 82
4.6 DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS DIRECIONAIS NA BACIA DE MARAJÓ..... 83
4.6.1 **Falhas compartimentais**..... 83
4.6.2 **Falhas transferentes**..... 84
5- RELAÇÃO DA BACIA DE MARAJÓ COM AS UNIDADES DO PRÉ-CAMBRIANO..... 86
5.1 CINTURÃO DE CISALHAMENTO TUMUCUMAQUE..... 86
5.2 CINTURÃO DE CISALHAMENTO GURUPÍ..... 90
5.3 CINTURÃO ARAGUAIA..... 90
5.4 RELAÇÃO DA BACIA DE MARAJÓ COM A ESTRUTURAÇÃO DO EMBASAMENTO..... 93
6- EVOLUÇÃO TECTÔNICA DA BACIA DE MARAJÓ..... 100
7- CONCLUSÕES..... 105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 107

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS p.

Figura 1- Mapa de localização da Bacia de Marajó..... 06

Figura 2- Mapa geológico da Bacia do Baixo Amazonas..... 13

Figura 3- Coluna Litoestratigráfica da Bacia do Baixo Amazonas..... 15

Figura 4- Mapa de localização da Bacia do Parnaíba..... 18

Figura 5- Coluna Litoestratigráfica da Bacia do Parnaíba..... 20

Figura 6- Mapa de localização e arcabouço tectônico das bacias Bragança-Viseu, São Luis, Ilha Nova, Barreirinhas e Parnaíba..... 23

Figura 7- Coluna Litoestratigráfica das bacias de São Luis, Ilha Nova e Barreirinhas..... 25

Figura 8- Quadro crono-litoestratigráfico da Bacia de Marajó..... 28

Figura 9- Mapa de localização das linhas sísmicas..... 33

Figura 10- Mapa de localização das sub-bacias de Mexiana, Limoeiro, Cametá e Mocajuba..... 34

Figura 11- Elementos estruturais das áreas adjacentes à Bacia de Marajó..... 35

Figura 12- Mapa tectono-estrutural da Bacia de Marajó..... 37

Figura 13- Configuração atual das margens continentais da América do Sul e África..... 39

Figura 14- Mapa de configuração magnética da sub-bacia de Mexiana..... 41

Figura 15- Mapa estrutural da sub-bacia de Mexiana..... 42

Figura 16- Representação esquemática da geometria da sub-bacia de Mexiana..... 43

Figura 17- Principais elementos estruturais da sub-bacia de Mexiana..... 44

Figura 18- Seção sísmica da borda NW da sub-bacia de Limoeiro, mostrando as diferenças de espessuras entre fácies sísmicas..... 46

Figura 19- Seção sísmica da borda NW da sub-bacia de Limoeiro, mostrando estruturas em "flor positiva"..... 47

Figura 20- Seção sísmica da parte SW (central) da sub-bacia de Mexiana, mostrando zonas de transcorrências..... 48
Figura 21- Seção sísmica da parte SE (borda) da sub-bacia de Mexiana, mostrando estruturas em "flor negativa"..... 49
Figura 22- Seção sísmica transversal aos sistemas de falhas transcorrentes do quadro tectônico da sub-bacia de Mexiana..... 50
Figura 23- Seção sísmica transversal à sub-bacia de Mexiana, evidenciando movimentos direcionais nas bordas e concentração de falhas normais e dobras no centro..... 51
Figura 24- Mapa aeromagnético do embasamento da sub-bacia de Mexiana..... 53
Figura 25- Mapa estrutural da sub-bacia de Limoeiro..... 58
Figura 26- Mapa tectônico da sub-bacia de Limoeiro, mostrando os blocos I, II, III, IV e V..... 59
Figura 27- Linha sísmica transversal ao bloco I da sub-bacia de Limoeiro mostrando estruturas extensionais e direcionais..... 60
Figura 28- Seção sísmica transversal ao bloco I da sub-bacia de Limoeiro, mostrando estruturas transtensivas..... 62
Figura 29- Seção sísmica transversal ao bloco II da sub-bacia de Limoeiro, mostrando três feixes de falhas lístricas..... 64
Figura 30- Seção sísmica transversal ao bloco II da sub-bacia de Limoeiro, mostrando estruturas extensionais..... 65
Figura 31- Seção sísmica transversal ao bloco III da sub-bacia de Limoeiro, mostrando três sistemas de falhas diferentes..... 67
Figura 32- Seção sísmica transversal ao bloco IV da sub-bacia de Limoeiro, mostrando um arranjo geométrico assimétrico..... 69
Figura 33- Seção sísmica transversal ao bloco V da sub-bacia de Limoeiro, mostrando estruturas extensionais com dois feixes de falhas normais..... 71

Figura 34- Seção sísmica perpendicular às seções transversais dos blocos II e III da sub-bacia de Limoeiro, mostrando as falhas transcorrentes de Ararí e Anajás..... 73
Figura 35- Seção sísmica perpendicular às seções transversais dos blocos I e II da sub-bacia de Limoeiro, mostrando as falhas transcorrentes de Chaves e Ararí..... 74
Figura 36- Mapa estrutural das sub-bacias de Cametá e Mocajuba..... 76
Figura 37- Seção sísmica transversal aos blocos norte das sub-bacias de Mocajuba e Cametá..... 77
Figura 38- Seção sísmica transversal aos blocos sul e central das sub-bacias de Mocajuba e Cametá..... 77
Figura 39- Seção sísmica transversal ao bloco central da sub-bacia de cametá, mostrando o arranjo geométrico assimétrico..... 78
Figura 40- Seção sísmica transversal ao bloco sul da sub-bacia de Cametá, mostrando uma arquitetura fortemente assimétrica..... 79
Figura 41- Seção sísmica perpendicular aos blocos norte e sul da sub-bacia de Cametá, mostrando a geometria das falhas transcorrentes de Carapajó e Santa Rosa..... 81
Figura 42- Mapa de isópacas caracterizando deslocamento dos depocentros..... 85
Figura 43- Mapa das principais unidades tectono-estruturais do centro-norte do Brasil..... 87
Figura 44- Mapa estrutural do Cinturão Tumucumaque..... 88
Figura 45- Mapa geológico da região de Gurupí..... 91
Figura 46- Mapa das principais unidades litológicas do Cinturão Araguaia..... 92
Figura 47- Mapa gravimétrico da Bacia de Marajó..... 95
Figura 48- Mapa magnetométrico da Bacia de Marajó..... 96
Figura 49- Mapa tectono-estrutural da Bacia de Marajó e áreas adjacentes que compõem o embasamento regional..... 98

RESUMO

A Bacia de Marajó apresenta uma arquitetura definida por falhas normais de direção NW-SE e falhas de transferência e compartimentais de direções NE-SW e ENE-WSW, é formada pelas sub-bacias de Mexiana, Limoeiro, Cametá e Mocajuba, faz parte do conjunto de bacias mesozóicas do litoral norte do Brasil e está relacionada ao evento extensional que proporcionou a formação do Oceano Atlântico Equatorial.

A sub-bacia de Mexiana ocupa a parte noroeste da área, tem a forma de um romboedro definido, em parte, por falhas normais orientadas na direção E-W e é classificada como uma estrutura "pull-apart" ao longo de uma zona compartimental "en-echelon", constituída por cinco falhas transcorrentes dextrais de direção NE-SW. A partir da interpretação dos dados sísmicos concluiu-se que a evolução da sub-bacia de Mexiana envolveu transtensão, seguida de transpressão e transtensão final que avançou no Cenozóico.

A sub-bacia de Limoeiro localiza-se na parte central da área, entre as sub-bacias de Mexiana e Cametá, está segmentada em cinco blocos por falhas compartimentais e de transferência de direções NE-SW e ENE-WSW, e tem sua arquitetura principal caracterizada por um sistema imbricado de falhas lístricas suavemente inclinadas para NE (sistema sintético). O quadro geométrico da sub-bacia se completa com o sistema de falhas normais antitéticas, fortemente inclinadas para SW. A formação da arquitetura dessa sub-bacia é entendida através da individualização do sistema sintético, acompanhado pelo desenvolvimento do "roll-over" e seguido pelo sistema antitético. As falhas compartimentais e de transferência provavelmente tiveram papel importante durante a geração de falhas normais.

A sub-bacia de Cametá ocupa a parte sudeste da área, tem geometria similar à da sub-bacia de Limoeiro, mas as falhas antitéticas estão ausentes, constituindo-se, portanto, em uma estrutura fortemente assimétrica. O desenvolvimento desse quadro geométrico envolveu essencialmente abatimento progressivo dos prismas do embasamento para nordeste.

A sub-bacia de Mocajuba estende-se em direção a região do sul da área, tem forma alongada na direção NNW-SSE, encontra-se separada da sub-bacia de Cametá por uma fração soerguida do embasamento, e é dividida em dois segmentos por uma falha compartimental. O segmento norte é moderadamente assimétrico, com os sistemas sintéticos bem desenvolvidos; o segmento sul é simétrico, com os sistemas sintéticos e antitéticos bem desenvolvidos, mas suas falhas mestras, ao contrário da sub-bacias de Limoeiro e Cametá e do segmento norte, acham-se inclinadas para SW.

A análise integrada dos dados permite a visualização do seguinte quadro evolutivo para a Bacia de Marajó: (1) formação das falhas normais mestras inclinadas para NE e individualização das falhas de transferência e compartimentais NE-SW e ENE-WSW; (2) ampliação das antiformas no teto dos sistemas imbricados, formação de novas falhas normais em direção a nordeste e provável intensificação da movimentação ao longo das zonas de transferência/compartimentais. É possível que a ampliação da sub-bacia de Mexiana tenha se processado neste episódio de movimentação; (3) desenvolvimento das falhas antitéticas, principalmente na sub-bacia de Limoeiro. Admite-se que a sub-bacia de Mocajuba se formou nesta época, pois não há registro de forte movimentação associada ao seu desenvolvimento; (4) diminuição da movimentação nas falhas normais, mas as falhas de transferência/compartimentais continuaram movimentando, em especial, a que passa na região de Mexiana; (5) a última movimentação expressiva na área refere-se à instalação da sequência cenozóica, mas não foi possível caracterizar os elementos estruturais gerados a partir do acervo de dados sísmicos utilizados nesta pesquisa.

Finalmente, com base na interpretação de dados gravimétricos e magnetométricos, e no acervo de informações disponíveis sobre o embasamento, demostrou-se que os elementos estruturais principais da Bacia de Marajó foram fortemente controlados pelas orientações das zonas de cisalhamento que compõem os cinturões pré-cambrianos. Com esse enfoque, as sub-bacias de Limoeiro e Cametá instalaram-se sobre o prolongamento do Cinturão Tumucumaque para sudeste, e a sub-bacia de Mocajuba foi edificada a partir da reativação das estruturas do Cinturão Araguaia.

ABSTRACT

Marajó Basin presents an architecture defined by normal faults trending NW-SE, with transfer and compartimental faults trending NE-SW and ENE-WSW. This basin is formed by Mexiana, Limoeiro, Cametá, and Mocajuba sub-basins, being part of a group of Mesozoic basins of the northern Brazilian coast whose origin is related to the extensional event which led to the formation of the Equatorial Atlantic Ocean.

Mexiana sub-basin occupies the northwestern part of the area, has a rhomboid form defined in part by normal faults oriented in the E-W direction , being classified as a pull-apart structure along an "en-échelon" compartimental zone which comprises five dextral transcurrent faults trending NE-SW. Based on seismic data, it has been concluded that the tectonic evolution of Mexiana sub-basin took place through multiple stages which involved transtension, followed by transpression and a final phase of transtention which continued in Cenozoic.

Limoeiro sub-basin is localized in the middle part of the area, between Mexiana and Cametá sub-basins, is segmented into five blocks by compartimental and transfer faults which strike NE and ENE. The major structural framework is characterized by a NE-dipping imbricated listric-fault system (synthetic system). The geometric framework of the sub-basin is complemented by an steep SW-dipping antithetic normal-fault system. The formation of this framework is interpreted to be resulting of the installation of a synthetic fault system, followed by the development of roll-over and, subsequently, by the installation of the antithetic system. The compartmental and transfer faults performed an important role in the formatiom of normal faults.

Cametá sub-basin occupies the southwestern part of the area, have a geometry similar to that of Limoeiro sub-basin, but the antithetic faults are absent, consisting, in consequence of this, in a strongly asymmetric structure. The development of this geometric arrangement involved essentially progressive collapse and northward movement of basement wedges.

Mocajuba sub-basin extends to south, has an elongate form in the NNW-SSE direction, is separated from Cametá sub-basin by an uplifted block of the basement and is divided into two segments by a compartimental fault. The northern segment is moderately asymmetric with a well developed synthetic-fault system, while the southern segment is symmetric with both synthetic and antithetic systems well-developed. However, differently from Limoeiro an Cametá sub-basins, as well as, the northern segment, the major faults are dipping southwestward.

The integrated data analysis allows the reconstitution of the following sequence of events for Marajó Basin: (1) formation of major normal-faults tilted to the NE and the individualization of the transfer and compartimental faults striking NE and ENE; (2) enlargement of roll-overs in the imbricated systems, development of new normal faults in the NE direction and possible intensification of movements along the transfer/compartimental zones. It is also possible that the amplification of Mexiana sub-basin must have taken place during this episody; (3) development of antithetic faults, mainly in Limoeiro sub-basin. The formation of Mocajuba sub-basin is admitted to have been formed in this time, however, there is no record of strong motion associated with its development; (4) decrease in the normal fault development, but the transfer/compartimental faults continued active, specially that one which crosscuts the Mexiana region; (5) the last expressive motion in the area is related to the development of the Cenozoic sequence, but it was not possible to characterize the resulting structural elements by using the seismic data made for available during this research.

Finally, based on interpretation of geometric and magnetometric data and the assemblage of information about the basement as well, it has been demonstrated that the major structural elements of Marajó Basin have been strongly controlled by shear zone orientations which are part of the Pre-Cambrian belts. Taking into account this point of view, Limoeiro and Cametá Sub-basins have been developed on the southeastward prolongation of Tumucumaque Belt and the Mocajuba Sub-basin has been built through the reactivation of structures belonging to Araguaia Belt.

1 - ASPECTOS GERAIS

1.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A Bacia de Marajó localiza-se na parte norte do Estado do Pará, entre os paralelos 1° N e 3° S e os meridianos 51° e 48° W. Tem forma alongada na direção NW-SE e é limitada a NW e a SE pelo feixe de trancorrências do Mexiana e pelo Arco do Tocantins, respectivamente (Figura 1). A área total da bacia abrange aproximadamente 50.000 km² distribuidos em quatro sub-bacias denominadas Mexiana, Limoeiro, Cametá e Mocajuba, de NW para SE. Regionalmente, posiciona-se entre as bacias paleozóicas do Amazonas e Parnaíba, cujos limites são os arcos de Gurupá e Tocantins, respectivamente. A região norte da Bacia de Marajó integra-se ao contexto da margem continental do Oceano Atlântico Equatorial.

1.2 - OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é apresentar um modelo tectono-estrutural para a Bacia de Marajó, capaz de explicar a arquitetura (estruturação e a sedimentação) das sub-bacias, associada ao campo de tensões que atuaram durante o Mesozóico. Adicionalmente, julga-se importante definir os vários arranjos geométricos, o quadro cinemático em consonância com a instalação do preenchimento sedimentar, a influência das estruturas do embasamento no desenvolvimento da arquitetura das sub-bacias e a relação da Bacia de Marajó com o quadro tectônico regional adjacente.

Os arcabouços geométricos das sub-bacias definem-se através da interpretação de várias linhas sísmicas transversais à estruturação regional. Tais seções serão analisadas visando à caracterização da geometria das falhas normais sintéticas e antitéticas, em busca dos diversos compartimentos estruturais.

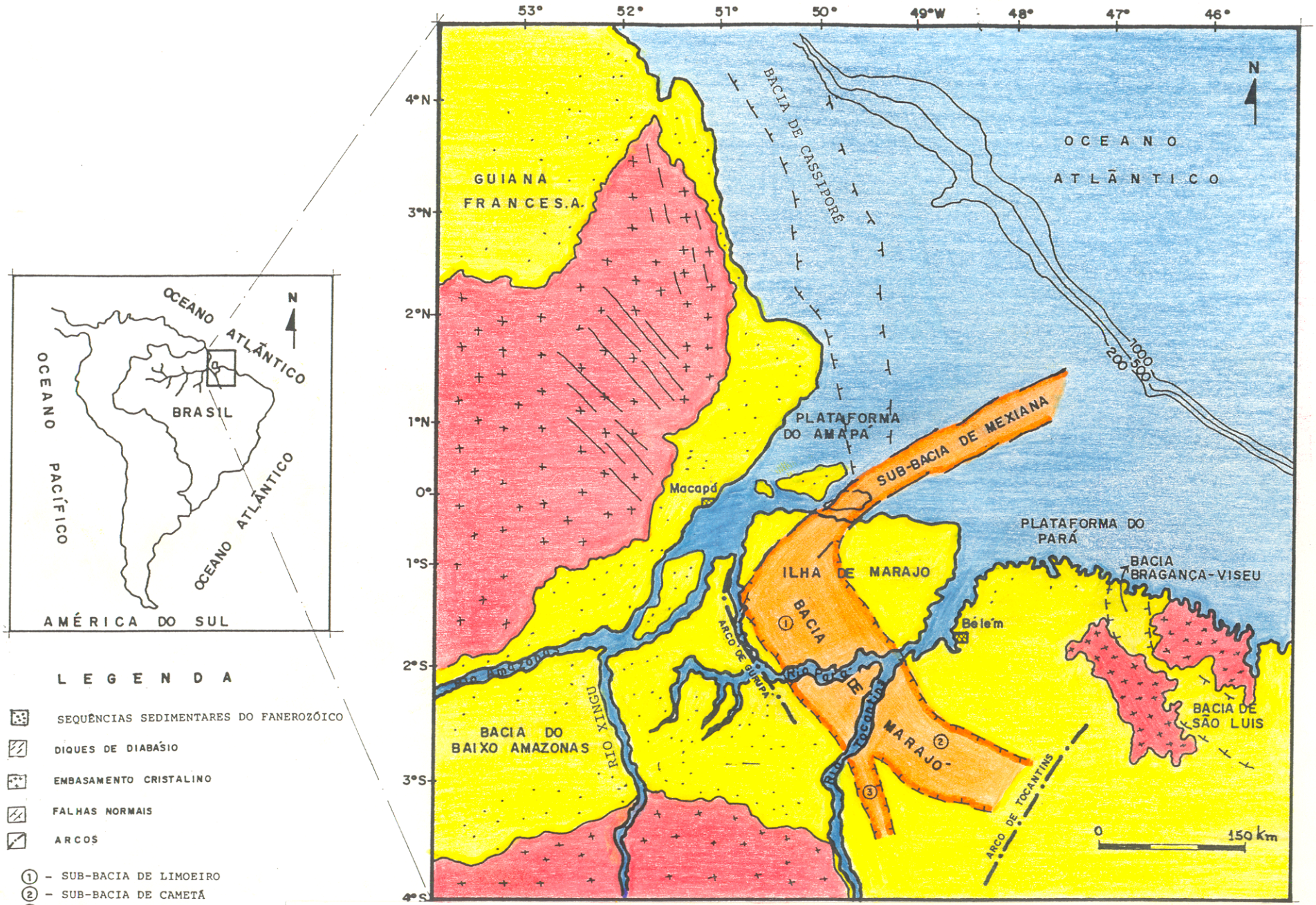

FIG.1-Mapa de Localização da Bacia de Marajó no contexto regional. Modificado de AVENIUS (1986).

A discussão sobre a evolução cinemática da Bacia de Marajó procura definir as diversas gerações de falhas nos diferentes domínios estruturais, bem como a natureza das unidades litológicas que preencheram as sub-bacias.

A edificação da arquitetura da Bacia de Marajó será analisada em conjunto com a estruturação do embasamento, uma vez que há fortes evidências de que as estruturas antigas controlaram, em grande parte, o desenvolvimento dos diversos setores extensionais e transcorrentes do meso-cenozóico da região. Nesse sentido, buscar-se-á o entendimento do quadro tectônico regional dos cinturões Araguaia e Gurupí e da região sudeste do Amapá, com base no acervo de dados disponíveis.

Pretende-se mostrar também a relação da evolução tectônica da Bacia de Marajó com o quadro estrutural dos segmentos extensionais adjacentes, bem como com o desenvolvimento tectônico do Arco de Gurupá, Arco de Tocantins, Alto de Guamá-Ferrer-Urbano Santos, Alto Gravimétrico que separa as Bacias de São Luiz e Bragança-Viseu e os Lineamentos do Pará e Tocantins.

1.3 - METODOLOGIA

Os objetivos deste trabalho foram alcançados através da aplicação dos seguintes procedimentos:

a. Pesquisa bibliográfica referente ao regime extensional com ênfase nos elementos estruturais. Simultaneamente, buscou-se a análise crítica do acervo de dados disponíveis a fim de nortear as investigações estruturais e a caracterização do quadro regional;

b. Análise dos elementos estruturais enfatizando os diferentes tipos de sistemas nos diversos domínios extensionais durante a fase rifte da bacia. Os métodos modernos de análise de bacias discutidos por GIBBS (1984 e 1987), COWARD et al. (1987), RAMSAY & HUBER (1987), permitem caracterizar rapidamente o desenvolvimento da arquitetura de bacias extensionais em termos geométrico e cinemático, e, portanto, foram aplicados neste trabalho de pesquisa;

c. Interpretação de seções sísmicas de reflexão, visando à identificação de feições tectono-estruturais, sobretudo falhas, dobras e discordâncias estratigráficas;

d. Análise do mapa Bouguer da Bacia de Marajó e áreas adjacentes, para dar subsídios para a compreensão da natureza do embasamento;

e. Interpretação do mapa magnetométrico para auxiliar no reconhecimento de feições estruturais em nível regional. Destaca-se que, desta forma, foi possível caracterizar principalmente as zonas transcorrentes entendidas como zonas de transferência;

f. Análise dos perfis de poços visando a caracterização das correlações estratigráficas entre os principais pacotes sedimentares existentes nas sub-bacias.

1.4 - ANÁLISES DOS TRABALHOS ANTERIORES DA BACIA DE MARAJÓ

A Bacia de Marajó começou a ser investigada no ínicio da década de 50, através da interpretação dos primeiros dados geofísicos (gravimetría e magnetometría), adquiridos pelo Conselho Nacional de Petróleo (CNP). Ainda relacionado a este programa, PETRI (1954) e AMARAL (1955) divulgaram os primeiros resultados dos poços perfurados (Limoeiro-1 e Cururú-1), mencionando a ocorrência de fósseis (foraminíferos e diatomáceas) na unidade sedimentar de Limoeiro.

Na década de 60 foram desenvolvidos grandes esforços nas investigações de subsuperfície, através de levantamento geofísico e perfuração de vários poços na Bacia de Marajó pela Petrobrás. Os primeiros resultados de tais programas foram apresentados por LUDWIG (1964) que denominou de bacia Foz do Amazonas ao conjunto de bacias interiores (Marajó, Bragança e São Luis) e exteriores (Barreirinhas e Salinópolis) da região norte. Na oportunidade, LUDWIG (op cit.), mostrou os principais traços de um arcabouço tafrotectônico delimitado por falhas escalonadas que se iniciam no nordeste do Maranhão (Grajaú), seguindo direção noroeste até alcançar a Ilha de Mexiana no Pará (Bacia de Marajó). AGUIAR et al. (1966), através da interpretação de dados sísmicos e gravimétricos, reconheceram duas grandes feições estruturais e sugeriram que a Bacia de Marajó fizesse parte da Bacia

Sedimentar do Rio Amazonas, composta pelos "Grábens" de Mexiana e Limoeiro, desenvolvidos pela imposição de falhas de gravidade. Nessa mesma época, AGUIAR et al. (op cit.) definiram o comportamento estrutural da bacia através da atuação de esforços distensionais decorrentes da deriva da América do Sul, e descreveram a presença de estratos sedimentares pré, sin e pós-tafrogênicos.

A intensificação das pesquisas, nos anos 70, permitiu que CASTRO & VASCONCELOS (1970) estabelecessem uma coluna litoestratigráfica satisfatória para a espessa sequência de sedimentos neocretácicos e cenozóicos instalados na Bacia de Marajó, caracterizada, da base para o topo, pelas formações Jacarezinho, Limoeiro e Marajó. A gênese dos sedimentos foi relacionada a ambientes fluviais e/ou deltáicos. SCHALLER et al. (1971) dividiram a Bacia de Marajó em áreas emersas e submersas, compreendendo a seção sedimentar da Foz do Rio Amazonas e a Plataforma Continental até a cota batimétrica de 50m. Essas duas áreas incluem os "Grábens" de Mexiana e Limoeiro orientados nas direções NE-SW e NW-SE respectivamente, limitados a noroeste pelo Escudo das Guianas, a oeste pelo Arco de Gurupá, e a sul pelo Escudo Brasileiro e pelo Arco de Tocantins. Nesse mesmo contexto, REZENDE & FERRADAES (1971), com base na interpretação de mapas gravimétricos, magnetométricos e algumas linhas sísmicas de reflexão, propuseram que a Bacia de Marajó seria formada por duas fossas tafrogeossinclinais (Mexiana e Limoeiro), evoluidas através de um processo tafrogênico, com movimentação tectônica importante no Cretáceo e incipiente no Terciário. Propuseram também a divisão do "Gráben" de Mexiana em Mexiana Oeste e Mexiana Leste.

CAPUTO et al. (1983) propuseram que a Bacia de Marajó (Gráben de Limoeiro) teria resultado de reativações de zonas de fraqueza que compõem o Cinturão Paraguai-Araguaia.

As últimas investigações geológicas na Bacia de Marajó foram realizadas pela Texaco Exploration Brazil Company (TEBCO) na década de 80. Esses trabalhos proporcionaram avanços expressivos para o entendimento dos processos geológicos

responsáveis pela edificação da arquitetura da bacia. Nessa época, WERLUND (1986) descreveu a Bacia de Marajó como um sistema de "rift" originado através de forças extensionais provenientes do Atlântico Norte, e ligado a separação das placas tectônicas Norteamericana e Africana. Esse evento acarretou a formação das sub-bacias de Mexiana, Limoeiro e Cametá. Ademais, SNYDER (1988) explicou a abertura do "rift" de Marajó através de rotação da plataforma Pará-Maranhão, com o polo de rotação próximo a sub-bacia de Cametá. Essa rotação teria proporcionado um movimento transcorrente dextral entre as plataformas Pará-Maranhão e Amapá, impondo uma expressiva movimentação na sub-bacia do Mexiana. Através da análise sísmo-estratigráfica, o referido autor reconheceu a existência de duas seqüências estratigráficas nas sub-bacias de Marajó, as quais foram denominadas de "Early Syn-Rift" e "Late Syn-Rift".

AVENIUS (1988), a partir de análises paleoambientais, interpretou que grande parte dos sedimentos derivou da parte sul da sub-bacia de Cametá. Nessa interpretação, os sistemas fluviais se dirigiam para o norte.

Com base na análise dos poços perfurados pela TEBCO na Bacia de Marajó nos últimos anos (década de 80), CARNES et al. (1989) concluíram que a maturidade termal favorável a geração e a preservação de hidrocarbonetos ainda não está esclarecida devido à falta de entendimento da estratigrafia e do reconhecimento do fluxo termal que determina a rapidez e a idade de maturação da matéria orgânica.

CARVAJAL et al. (1989) interpretaram a Bacia de Marajó como um sistema de "rift" arqueado, composto por três sub-bacias maiores, Mexiana (norte), Limoeiro (centro) e Cametá (sul), que se estendem desde a plataforma continental (offshore), atravessando a porção oeste da Ilha do Marajó, até o limite norte da Bacia do Parnaíba, delineado pelo Arco de Tocantins. O Arco de Gurupá corresponderia à "ombreira" do sistema de rifte.

Considerando o acervo de trabalhos disponíveis, constata-se que pouca atenção foi dispensada para as questões tectono-estruturais da Bacia de Marajó, bem como suas relações com as estruturas que formam o arcabouço pré-cambriano. Tais aspectos estimularam o desenvolvimento desta tese com ênfase na caracterização do quadro tectono-estrutural e sua relação com o embasamento.

2 - QUADRO GEOLÓGICO DO FANEROZÓICO

2.1 - BACIAS PALEOZÓICAS

A evolução das bacias paleozóicas começou logo após a cratonização completa da Plataforma Sul-Americana, que termina no inicio do Paleozóico. A história das bacias intracratônicas brasileiras indica ter-se desenvolvido, a princípio, numa plataforma com regiões de instabilidade, que marcam processos de subsidência moderada no Ordoviciano-Siluriano e, posteriormente, a de uma plataforma estável, que caracteriza um estágio de maior estabilidade na Plataforma Sul-Americana. Essa plataforma estável estaria exposta a eventos tectono-magmáticos até o final do Jurássico, e revestida por uma extensa cobertura sedimentar. As estruturas tectônicas que se constituem em escudos, arcos e bacias sedimentares, são os elementos estruturais de grande importância desenvolvidos durante um processo de reativação da plataforma. As bacias paleozóicas do Baixo Amazonas e do Parnaíba são os exemplos deste estágio no âmbito do quadro tectônico regional do centro-norte do Brasil.

2.1.1 - **Bacia do Baixo Amazonas**

A Bacia do Baixo Amazonas está localizada na porção setentrional do território brasileiro, limitada pelo Arco de Gurupá a leste e pelo Alto de Monte Alegre a oeste (Figura 2). O preenchimento sedimentar da bacia compreende espessura máxima em torno de 5.000 m, constituída por seqüências siluro-devonianas, permo-ordovicianas, intrudidas por diques e soleiras de diabásio juro-triássicos e coberturas cretáceo-terciárias (TEIXEIRA & CAMPOS, 1988).

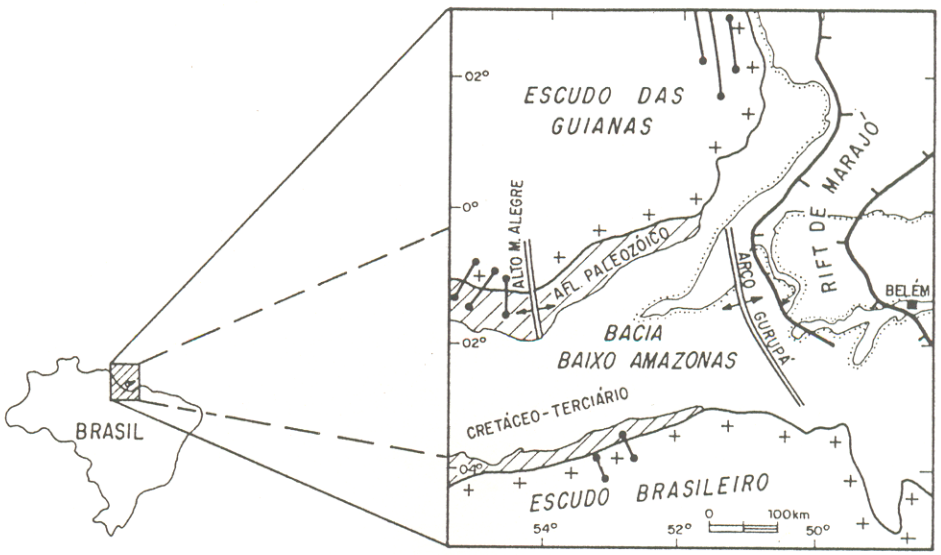

FIG.2-Mapa geológico da Bacia do Baixo Amazonas, unidades e feições geotectônicas circundantes. Segundo TEIXEIRA & CAMPOS (1988).

A gênese da bacia tem sido discutida por vários geólogos, sendo inicialmente classificada por MORALES (1959) como um autogeossinclíneo. LOCZI (1966) interpretou-a como um "gráben" complexo e ALMEIDA (1967) denominou a bacia de sinéclise ou bacia intracratônica. Posteriormente, através da análise dos dados geofísicos e dos dados de Morales, foi proposto que a Bacia do Baixo Amazonas poderia ser um rifte seccionado por falhas com direção nordeste e caracterizado por blocos com movimentação independente (CAROZZI et al., 1972). Nos anos seguintes, BURKE (1976) e BAHIA & ABREU (1985) interpretaram a bacia como um aulacógeno. LINSSER (1974) discutiu a gênese da bacia em termos de uma depressão tectônica no interior da placa sulamericana, relacionada a esforços extensionais. Na década de 80, SZATMARI & PORTO (1982) interpretaram a bacia como resultado de um rifteamento que se propagou desde o atual Oceano Atlântico até o Oceano Pacífico. CAPUTO (1984), sumarizando os trabalhos anteriores, propôs dois mecanismos responsáveis pelo desenvolvimento da bacia, a saber: (1) um evento térmico produzindo soerguimento da litosfera acompanhado por vulcanismo e erosão, esforços de distensão, rifteamento e esfriamento; (2) flexuramento do assoalho da bacia, em resposta a carga sedimentar.

A estratigrafia da Bacia do Baixo Amazonas foi subdividida em quatro seqüências sedimentares (TEIXEIRA & CAMPOS, 1988), separadas por discordâncias regionais, resultantes de orogenias refletidas no interior continental e de variações eustáticas do nível do mar (Figura 3). As seqüências siluro-ordoviciana e devoniano-eocarbonífera são compostas de clásticos marinhos finos e grossos. As seqüências permo-carboníferas compreendem clásticos basais grossos continentais, variando verticalmente para uma espessa seção marinha rasa, composta por evaporitos e clásticos finos, sucedida por clásticos grossos que marcam novamente o retorno da sedimentação continental e a fase de restrição da bacia. Os sedimentos continentais da seqüência cretáceo-terciária ocorrem diretamente acima da discordância do topo do Paleozóico.

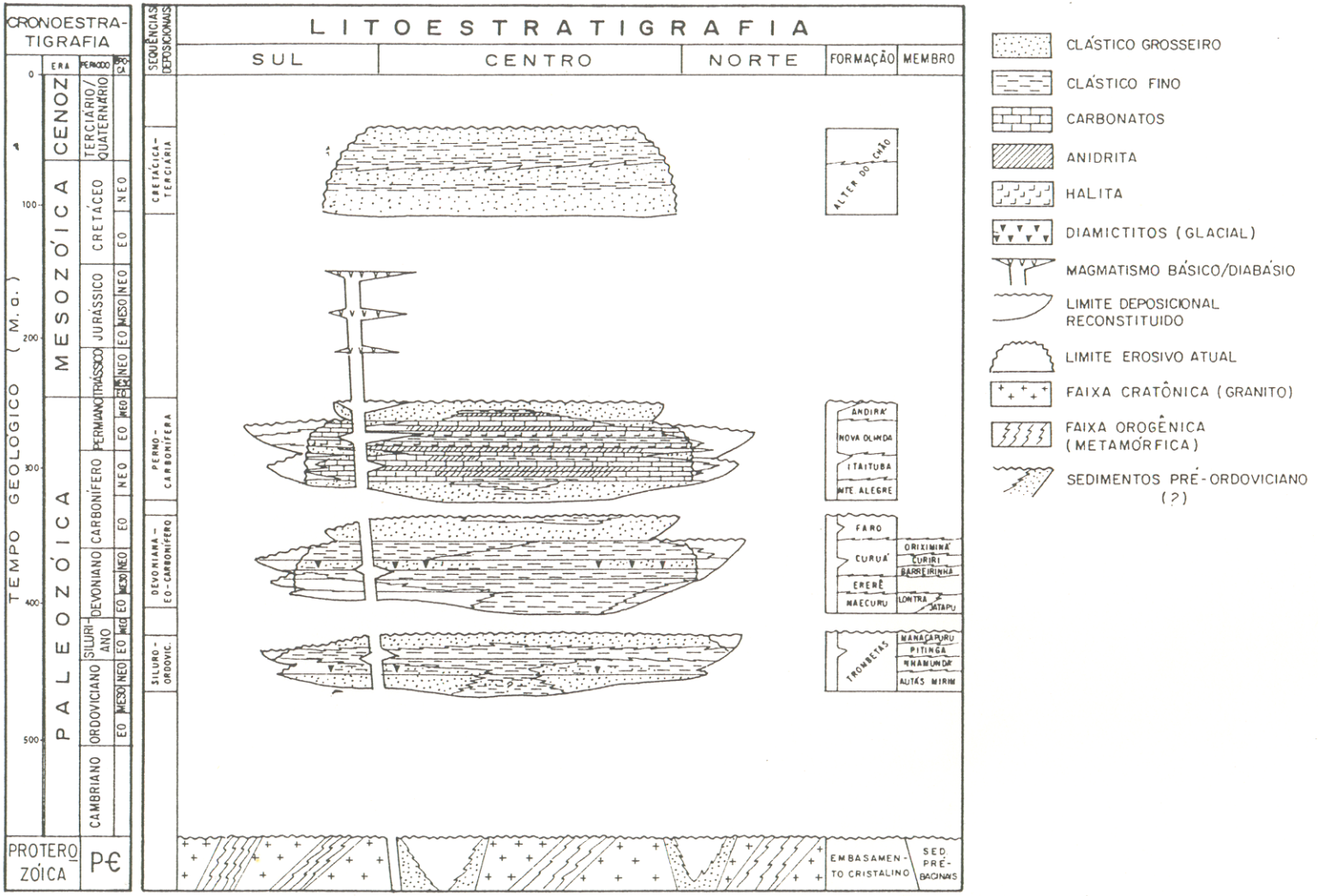

FIG.3-Coluna litoestratigráfica da Bacia do Baixo Amazonas. Segundo TEIXEIRA & CAMPOS (1988).

O arcabouço estrutural da Bacia do Baixo Amazonas é expresso por algumas feições de caráter regional e outras mais localizadas (TEIXEIRA & CAMPOS, 1988). Dentre essas feições existem: (1) as zonas de charneiras que caracterizam feições monoclinais associadas a falhas normais, delimitantes das plataformas estruturais, a norte e a sul da bacia; (2) "trends" compostos por feições anticlinais assimétricos, com falhas reversas associadas; (3) estruturas de carácter transtensional, próximas ao Arco de Gurupá, com falhas transcorrentes dextrais de direção NW-SE truncadas por um alto estrutural; (4) estruturas que sugerem transpressão, caracterizadas por faixas anticlinais, cujos eixos estão dispostos paralelamente entre si. WANDERLEY FILHO (1991) caracterizou as estruturas da bacia como produtos de regimes transtensivo regional, ascencional e transcorrente, evoluidos desde o Eo-Paleozóico até o Terciário.

A evolução geológica da Bacia do Baixo Amazonas resume-se aos trabalhos realizados por BAHIA & ABREU (1985) e AIRES (1985), que discutiram uma sucessão de eventos integrantes na formação da bacia: (1) inicialmente, soerguimento isostático em resposta a redução da densidade do manto superior litosférico, resultante da ação termal elevada no Neo-Proterozóico; (2) rifteamento e intrusão de magmas toleíticos durante o Cambriano e Eo-Ordoviciano; (3) subsidência isostática e acentuação da bacia em regime de rifte litosférico, conseqüente aos estratos Ordoviciano/Siluriano e Devoniano/Eo-Carbonífero; (4) acentuada subsidência regional com invasão marinha no Neo-Carbonífero/Permiano, ocorrendo intensa deposição de seqüências de evaporitos; (5) reativação magmática permo-triássica a juro-cretácica, sincronizada com as aberturas do Atlântico Norte, seguido pelo Atlântico Sul; (6) lenta e prolongada redução da ação termal, generalizada subsidência e formação de bacias continentais no Cretáceo e Terciário.

2.1.2 - **Bacia do Parnaíba**

A Bacia do Parnaíba localiza-se na região centro-norte do Brasil e ocupa uma área de aproximadamente 600.000 km² (Figura 4). Trata-se de uma bacia intracratônica, de forma circular, limitada pelo Cinturão Araguaia a oeste, pelo Arco de Tocantins a noroeste, pelas bacias de São Luís e Barreirinhas a norte, pelo Cráton do São Francisco a Sul, e pelo Escudo Brasileiro a leste. O preenchimento sedimentar da bacia atinge espessura máxima da ordem de 3.400 m. Nessa bacia encontram-se sedimentos depositados do Ordoviciano ao Terciário, intercalados com rochas intrusivas e extrusivas, relacionadas a eventos magmáticos de idades juro-triássica e eo-cretácea (GOES et al., 1990).

Vários trabalhos de pesquisa foram realizados na bacia, começando na década de 50 pelo Conselho Nacional de Petróleo (CNP), até o presente. Dentre os principais destaca-se o de CAPUTO et al. (1983), que descreveram o arcabouço da bacia, designando sua formação no Eo-paleozóico, em conseqüência da colisão entre as plataformas Amazônica e Brasiliana. Posteriormente, ZEMBRUSCKI & CAMPOS (1988) denominaram a Bacia do Parnaíba de unidade geotectônica formada por prováveis rifteamentos ocorridos no Proterozóico Superior (Eo-Cambriano), em cujas depressões se instalou uma fase flexural ou a sinéclise desenvolvida no Siluriano. GOES et al. (1990), relacionando os pulsos termais do ciclo Brasiliano (Cambro-Ordoviciano), indicaram que a Bacia do Parnaíba foi formada por vários "grábens" dispersos, com eixos orientados para nordeste e norte. O preenchimento desses "grábens" são correlacionáveis eloqüentemente com o Grupo Jaíbaras (CUNHA,1986).

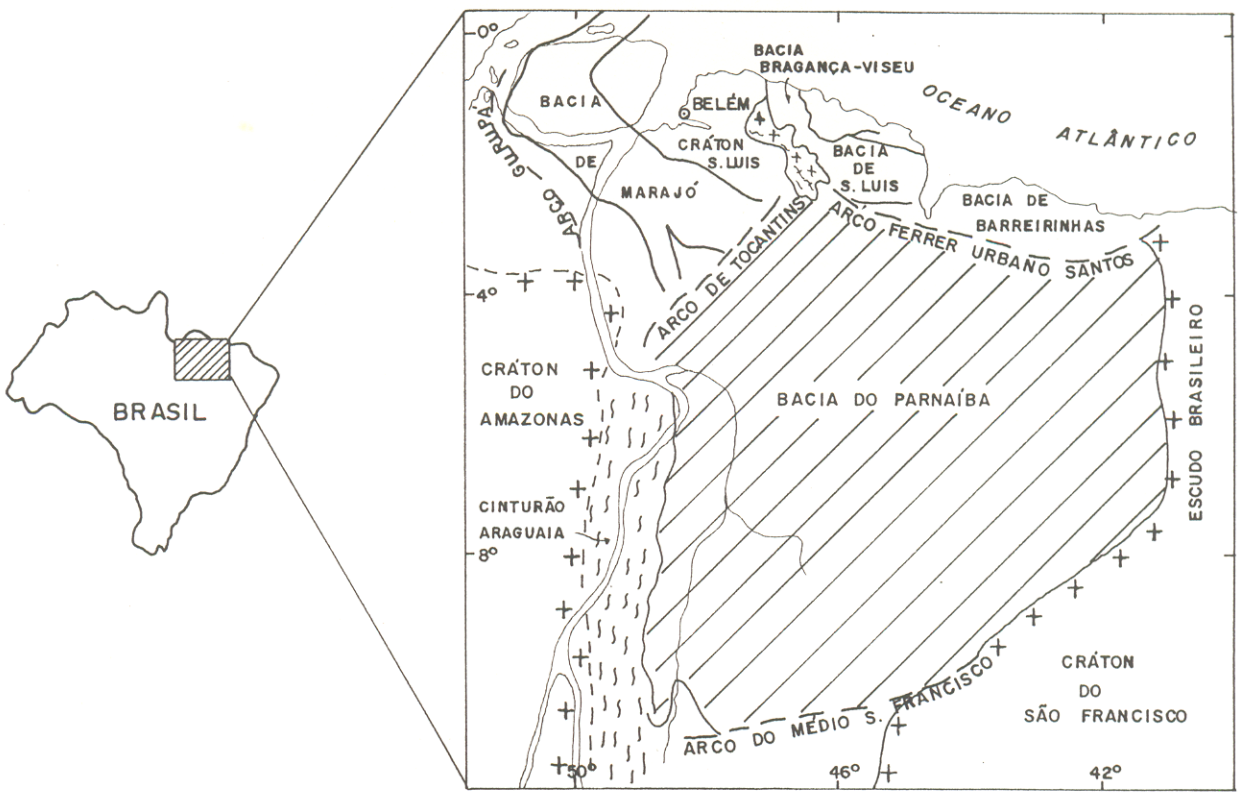

FIG.4-Mapa de localização da Bacia de Parnaíba. Modificado de CAMPOS (1985).

As unidades estratigráficas da bacia estão dispostas em cinco seqüências, constituídas de rochas de idade Ordoviciana a Cretácea, com delgada cobertura do Terciário e do Quartenário (Figura 5). A seqüência I, considerada basal, constitui a unidade siluro-ordoviciana de Serra Grande, representada pelas formações de Ipu, Tianguá e Jaícos. A seqüência II, representa a unidade de Canindé, com as formações Itaím, Pimenteiras e Cabeças de idade devoniana e as formações Longá. e Potí de idade meso-carbonífera. O topo da seqüência II é marcada por uma discordância regional, observada no topo da formação Potí. A seqüência III é formada pelas formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca, Sambaíba e Mosquito. Essa última formação se sobrepõe às anteriores como uma capa, que é constituída por derrames basálticos dispersos em quase toda a bacia. As seqüências juro-cretáceas e quaternárias, formam um grupo de cobertura de regime meteórico exposto à superfície.

O quadro estrutural da bacia é composto por lineamentos com direções NE-SW, NW-SE e N-S, relacionados à estruturação do embasamento e reativação durante a abertura do Atlântico Norte (CAROZZI et al., 1975). Através da tectônica moderna, ZEMBRUSCKI & CAMPOS (1988) determinaram a inferência de falhas transcorrentes na direção NE-SW, demarcando a posição dos depocentros e das feições estruturais inclusas na coluna sedimentar.

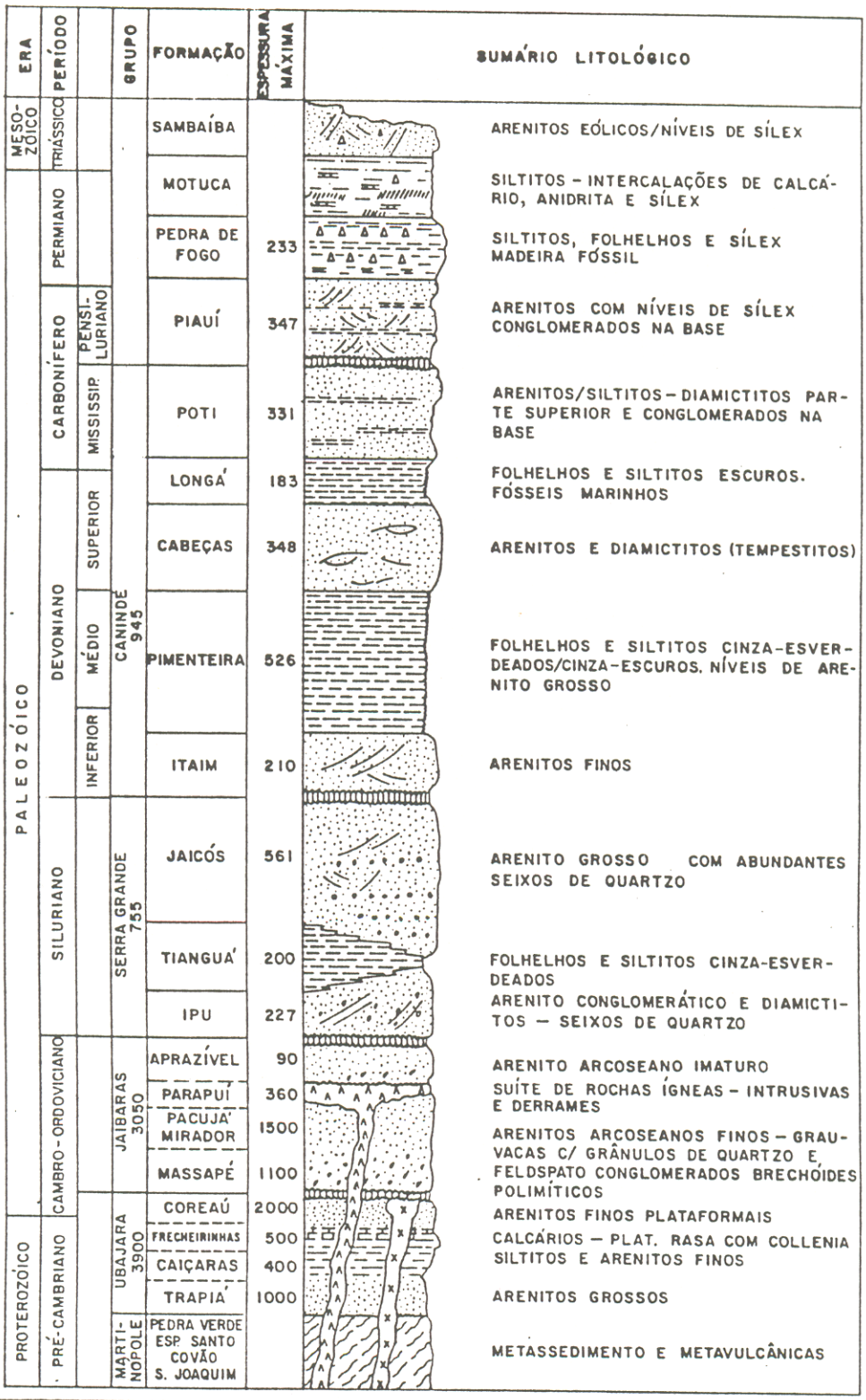

FIG.5-Coluna litoestratigráfica da parte paleozóica da Bacia do Parnaíba e das fossas de Jaibaras e Ubajara. Segundo AGUIAR (1971), COSTA et al. (1979) e CAPUTO & LIMA (1984).

A evolução tectônica da Bacia do Parnaíba teve ínicio nos períodos Cambro-Ordoviciano, relacionando-se aos pulsos terminais do ciclo Brasiliano (GOES et al., 1990), que formaram os "grábens" distribuídos por toda a bacia, com eixos orientados para nordeste e norte. Como resultado dos processos termomecânicos da área, estabeleceu-se uma grande depressão ordoviciana, sobre a qual se depositaram os sedimentos flúvio-deltáicos a marinhos rasos do Grupo Serra Grande, cuja deposição final é marcada por uma discordância regional, resultante de possíveis efeitos da Orogênia Caledoniana. O prosseguimento dos processos termais, associados a influência de efeitos flexurais, resultaram no preenchimento dos sedimentos do Grupo Canindé (GOES et al., op cit), durante o período Devoniano. O encerramento deposicional desse grupo é marcado por uma notável discordância regional associada aos possíveis efeitos da Orogênia Eo-Herciniana (Eo-Carbonífero). Nos períodos do Neo-Carbonífero houve uma retomada da sedimentação, ocorrendo ciclos sedimentares clásticos marinhos alternados por discordâncias regionais refletidas no interior da bacia por movimentos epirogenéticos (ZEMBRUSCKI & CAMPOS, 1988). Nessa fase, notam-se soerguimentos nas bordas leste, sudeste e noroeste da bacia, condicionando-a para uma sedimentação continental-evaporítica, acompanhada de sensíveis deslocamentos dos depocentros para a parte central da área. O período juro-triássico se caracterizou por processos magmáticos intrusivos e extrusivos, seguido da deposição dos clásticos das formações Pastos Bons e Corda. O magmatismo e a sedimentação deste episódio são correlatos às aberturas de algumas bacias cretácicas do nordeste brasileiro, tais como a Bacia de Marajó, Recôncavo-Tucano e Sergipe-Alagoas (ZEMBRUSCKI & CAMPOS, 1988).

2.2 - BACIAS MESOZÓICAS

A estruturação principal das bacias mesozóicas, localizadas na parte norte da margem continental brasileira, está vínculada à abertura do Atlântico Equatorial e é decorrente do evento tectônico responsável pela fragmentação do Pangea no Eo-Mesozóico. As principais bacias cretácicas desenvolvidas nesse episódio na Região Norte, além da Bacia de Marajó, são as de Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova (Figura 6).

2.2.1 - **Bacias de Bragança-Viseu, São Luis e Ilha Nova**

As três bacias formam um complexo de fossas alongadas na direção NW-SE, delimitadas por falhas distensionais (ARANHA et al., 1988). A base (embasamento) dessas fossas sedimentares desenvolve um mosaico de pequenos blocos cratônicos (Cráton São Luís), interligados por faixas móveis do evento Brasiliano-Panafricano (ABREU & LESQUER, 1985). O conjunto linear dessas fossas formam o Sistema de Grábens de Gurupí (AZEVEDO, 1992) que se estende por cerca de 500 km ao longo da Província Costeira da margem continental equatorial.

O arranjo geométrico das três bacias corresponde a um sistema de rifte assimétrico, alongado na direção NNW-SSE e WNW-ESE, preenchido por sedimentos que atingem espessuras máximas da ordem de 5.000 m (ARANHA et al., op cit). Tais autores mencionaram que a Bacia de São Luís é recortada por falhas normais na direção NW-SE, localmente deslocados por falhas transferentes e transcorrentes de direção E-W. IGREJA et al. (1992) indicaram que o limite estrutural entre as bacias Bragança-Viseu e São Luis é marcado pela presença de um feixe de falhas transcorrentes NE-SW e interpretado como zona compartimental.

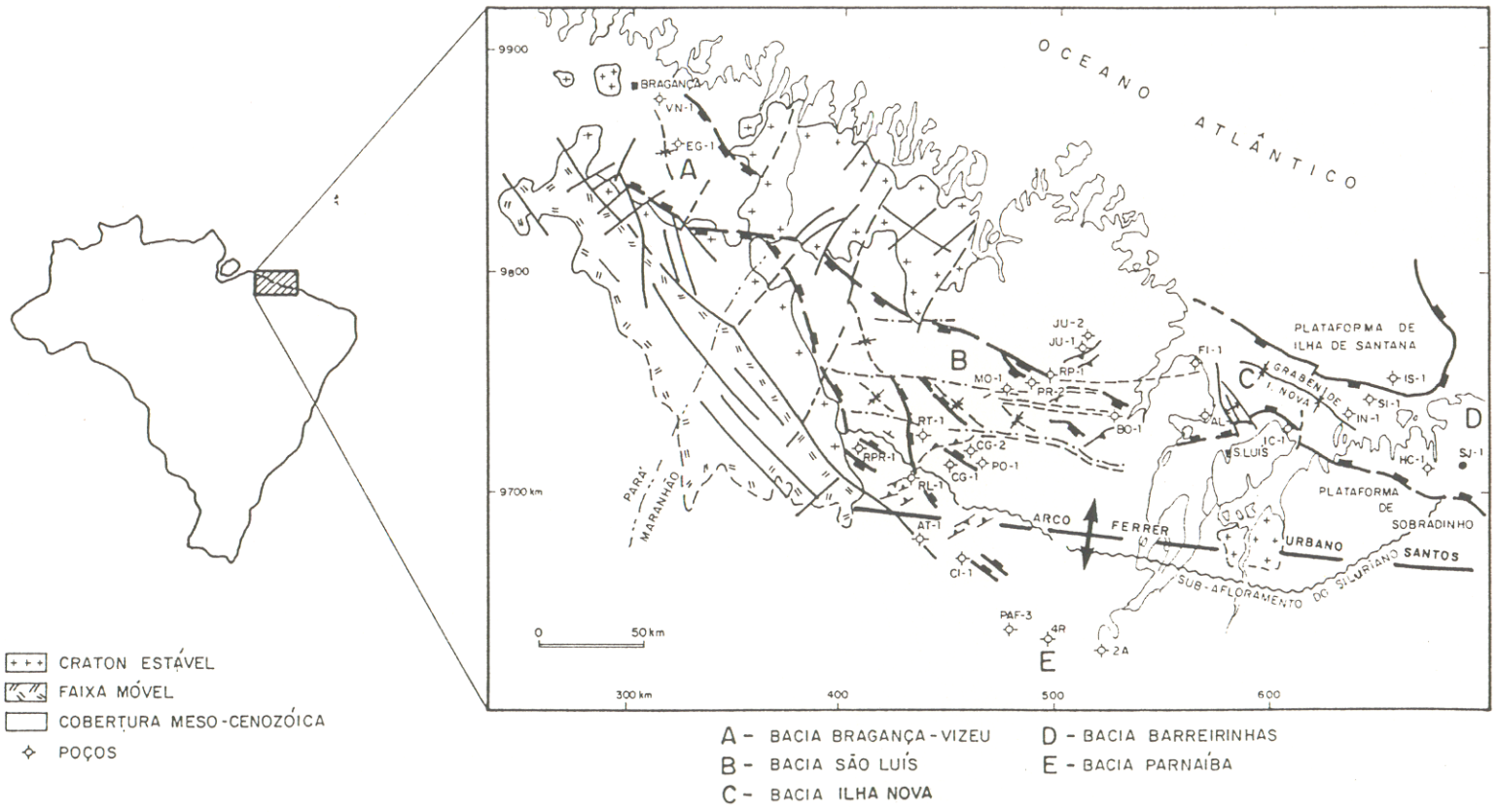

FIG.6-Arcabouço tectônico generalizado das bacias de Bragança-Viseu, São Luis, Ilha Nova, Barreirinhas e Parnaíba. Segundo ARANHA et al. (1988).

A estratigrafia proposta para essas bacias refere-se aos trabalhos realizados por ARANHA et al. (op cit), onde mencionaram que o preenchimento sedimentar é representado por ciclos clásticos, depositados entre o Aptiano (K-inferior) e o Terciário (Figura 7). O pacote sedimentar mesozóico sobrepõe-se às rochas do embasamento pré-cambriano, a sedimentos supostamente cambro-ordovicianos (Formação Bequimão) e a unidades eo-paleozóicas. As principais características desse quadro são apresentados a seguir:

1. Pré-cambriano: representado por complexos litológicos, que variam desde o Transamazônico, pelo menos, até movimentos tardios do ciclo Brasiliano;

2. Formação Bequimão: constituída por metapelitos cinza-escuros a avermelhados, intercalados com arenitos, conglomerados e diamictitos (porção basal). Sua ocorrência está restrita às feições abatidas na porção central da Bacia de São Luís;

3. Formações Codó e Grajaú: a Formação Codó é representada por folhelhos escuros, localmente betuminosos, intercalados com lentes de calcários, gipsita/anhidrita e arenitos finos esbranquiçados. A Formação Grajaú é composta essencialmente de arenitos médios, correlatos aos folhelhos da Formação Codó;

4. Sistemas Itapecurú Inferior-Canárias: composto por clásticos, com frações mais grossas nas bacias de Bragança-Viseu e São Luís. Em direção ao leste (Bacia de Ilha Nova) a razão arenito/folhelho diminui substancialmente;

5. Sistema Superior-Cajú: formado durante a fase inicial do basculamento, que caracterizou a grande transgressão marinha cenomaniana (K-superior). Este sistema é composto por interdigitações cíclicas de carbonatos e folhelhos marinhos, originados por variações eustáticas do nível do mar.

6. Grupo Humberto Campos: sua deposição iniciou no Neocretáceo (Turoniano), prolongando-se até o Terciário (Mioceno). É composto por arenitos e folhelhos característicos de leques costeiros, encontrados somente na Bacia de Ilha Nova.

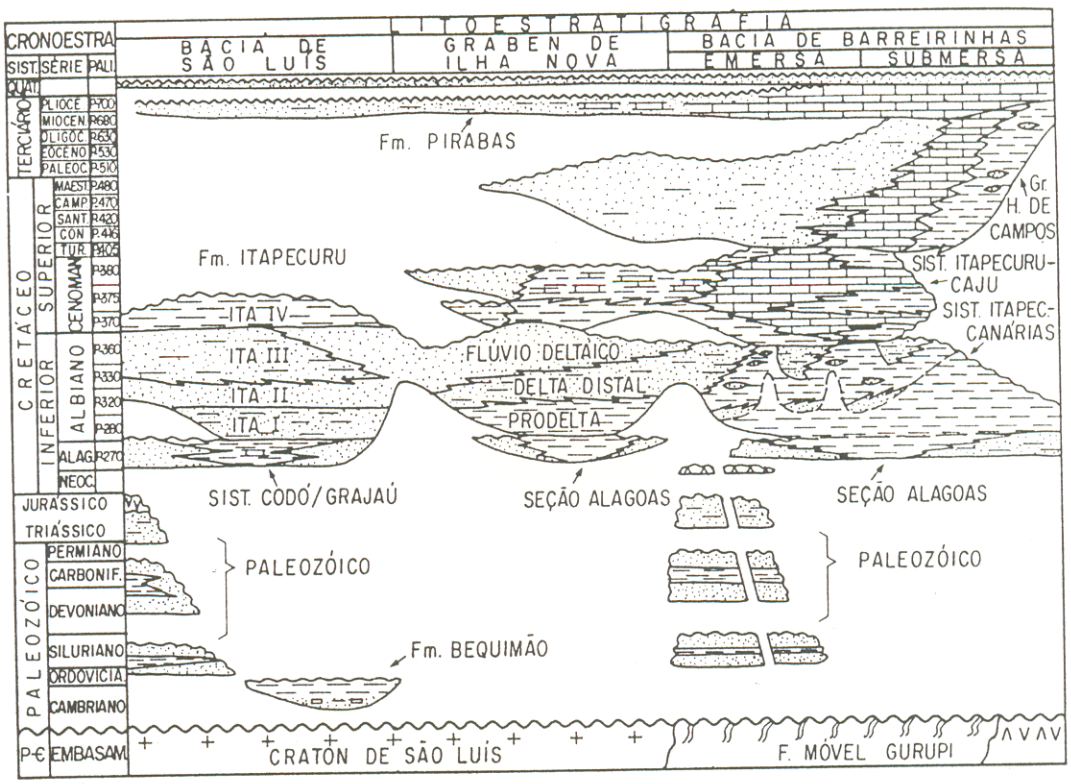

FIG.7-Coluna litoestratigráfica das bacias de São Luis, Ilha Nova e Barreirinhas. Segundo ARANHA et al. (1988).

A evolução tectônica das bacias foi discutida nos trabalhos realizados por ARANHA et al. (1988), que mencionaram quatro fases para o desenvolvimento da arquitetura das principais bacias. A primeira fase, corresponde ao estiramento crustal que ocorreu no Aptiano, formando uma ampla depressão, preenchida por sedimentos lacustrinos e flúvio-deltáicos do Sistema Codó-Grajaú. A segunda fase relaciona-se a um tectonismo mais efetivo que gera pequenos riftes, através de esforços transtensivos, originados por um movimento dextrógiro entre as placas tectônicas da América do Sul e África. A terceira fase, ocorreu durante o Neo-Cretáceo, devida a esforços compressívos ligados a zonas de cisalhamento. A quarta fase, relaciona-se a um basculamento generalizado, ocorrendo transgressão marinha (Itapecurú Superior-Cajú) e processos de erosão nas regiões de Bragança-Viseu e São Luís.

IGREJA et al. (1992) mencionaram que a evolução dessas bacias está relacionada a um evento extensional oblíquo que se inicia no Juro-Cretáceo e alcança o Mioceno. As estruturas desenvolvidas são decorrentes de uma deformação progressiva caracterizada pela alternância de pulsos transtensivos e direcionais, acompanhados por movimentações ligadas a falhas transferentes e compartimentais.

AZEVEDO (1992) mencionou que a estruturação do Sistema de Grábens de Gurupí desenvolveu-se a partir de estruturas preexistentes (Faixa Gurupí) reativadas distensionalmente no Mesozóico.

3 - ESTRATIGRAFIA DE SEQÜÊNCIAS DA BACIA DE MARAJÓ

A estratigrafia da Bacia de Marajó compreende um pacote de rochas sedimentares depositado desde o Cretáceo Inferior até o recente, atingindo espessuras máximas da ordem de 11 km. Grande parte desse pacote foi definido através da integração dos dados de vários poços perfurados nas décadas de 50, 60 e 80, que apesar de estarem espalhados, dão a melhor definição da estratigrafia da bacia. Adiciona-se também que as espessuras máximas somente puderam ser determinadas através de interpretação sísmo-estratigráfica. Através dessas correlações e análises das colunas estratigráficas de LIMA (1987) e TEBCO (1988a) foi possível definir um quadro crono-litoestratigráfico para a bacia, que embora seja muito genérico, é consistente. Nesse sentido conseguiu-se descrever as seqüências pré, sin e pós-rifte (Figura 8). Tais seqüências serão descritas resumidamente a seguir:

3.1 - SEQÜÊNCIA PRÉ-RIFTE

Essa seqüência está ligada a processos geológicos anteriores à instalação da Bacia de Marajó, e compreende dois grupos de rochas que constituem o embasamento da região. O primeiro grupo é representado por rochas similares às dos cinturões pré-cambrianos adjacentes à bacia (Tumucumaque, Gurupí e Araguaia), expressos possivelmente por faixas de gnaisses granulíticos alternados com supracrustais, gnaísses migmatizados e corpos de granitóides. A identificação desse grupo foi alcançado através da interpretação de dados magnéticos, gravimétricos e sísmicos profundos.

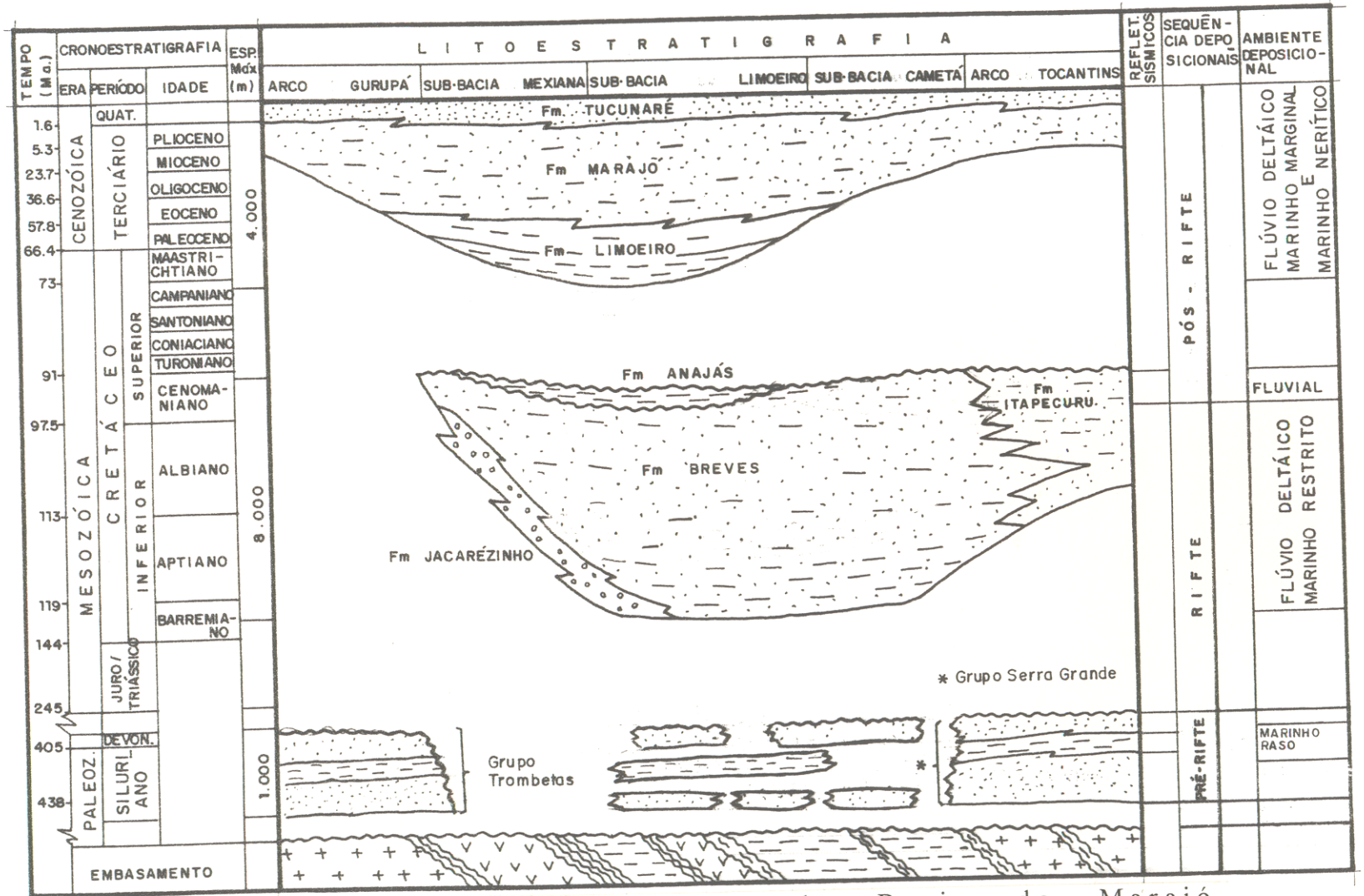

FIG. 8 - Quadro crono-litoestratigráfico da Bacia de Marajó. Modificado de LIMA (1987).

O segundo grupo compreende rochas sedimentares que foram depositadas através do Paleozóico e receberam investigações por dois métodos. Um se refere a amostragem em poços localizados na região dos arcos de Tocantins e Gurupá, onde ocorrem sedimentos correlacionáveis com os do Grupo Serra Grande (formações Ipu, Tianguá e Jaícos) e Grupo Trombetas (formações Autás-Mirim, Pitínga e Manacapurú) das bacias do Parnaíba e Baixo Amazonas, respectivamente. O outro corresponde a interpretação sismo-estratigráfica de fácies, na qual LIMA (1987) indica que os estratos paleozóicos também estão presentes nas porções basais da bacia. CARVAJAL et al. (1989) por sua vez comentaram, que este último grupo representa um pacote argiloso uniforme (observado por amplitude versus offset - AVO), provavelmente depositado em ambiente marinho. Indicaram ainda, que esse pacote não foi observado nas porções oriental da sub-bacia de Mexiana, centro-axial da sub-bacia de Limoeiro e parte sudeste da sub-bacia de Cametá

3.2 - SEQÜÊNCIA RIFTE

Essa seqüência é formada por dois pacotes sedimentares (MILLER & AVENIUS, 1986; CARNES et al., 1989; CARVAJAL et al., 1989). O mais antigo está ligado aos estágios precoces de abertura da bacia, cuja origem é pouco conhecida, sendo reconhecida apenas através de estudos sismo-estratigráficos. O pacote sedimentar mais novo relaciona-se ao estágio de ampliação da bacia, e é definido através de perfis e amostragem de poços. CARVAJAL et al. (op cit), com base em interpretação sísmica, afirmaram que os estratos mais antigos passam concordantemente, na grande maioria, para os estratos mais novos, ocorrendo às vezes truncamentos erosivos nas laterais das fácies sísmicas. CARNES et al. (op cit) acreditam que os sedimentos antigos da seção basal sejam de idade neocomiana (Pré-Barremiana).

Os estratos mais novos, na observação sísmica, são mais homogêneos e caracterizam-se por inúmeros refletores descontínuos. Através de amostragem de poços, sabe-se que se tratam de sedimentos clásticos-arenosos (Formação Breves) depositados em ambientes continental e transicional, e, em grande parte, fluvial e flúvio-deltáico. Parte dessa deposição inclui os fanglomerados da Formação Jacarezinho, compostos essencialmente por clásticos grossos e seixos, formados por talus e leques aluviais e instalados no lado oeste das sub-bacias de Mexiana e Limoeiro. AVENIUS (1988) mencionou a presença de estratos argilo-sílticos uniformes (Formação Anajás) sobrepostos à Formação Breves, depositados provavelmente em grandes lagos rasos ou através de curtas transgressões marinhas, sendo por sua vez, restritos às sub-bacias de Mexiana e Limoeiro

Na década de 80, a TEBCO fez várias análises paleontológicas em amostras de cinco (05) poços, e acrescentou idades Aptiano/Barremiano para os estratos novos do rifte, indicando ainda, que o final da sedimentação do rifte ocorreu durante o Cenomaniano (95 Ma.).

Embora parte dessas interpretações esteja calcada em dados sísmicos, entende-se que os dois pacotes sedimentares são produtos de processos contínuos de sedimentação ligados a um único evento que se expressa através de movimentos ou pulsos extensionais ao longo das falhas mestras, as quais provocaram subsidência de zonas restritas, preenchidas pelos sedimentos antigos, e zonas extensas favoráveis a deposição dos sedimentos mais novos. Até o final dessa deposição, houve intenso tectonismo.

3.3 - SEQÜÊNCIA PÓS-RIFTE

Essa seqüência se sobrepõe à da fase rifte, sendo caracterizada, na base, por uma discordância bem definida, provavelmente decorrente de processos de erosão e/ou não deposição de sedimentos. AVENIUS (1988) menciona que a discordância é mais proeminente na parte sul da bacia, principalmente nas sub-bacias de Cametá e Limoeiro. Pela interpretação sísmica, a seqüência contém refletores contínuos de correlação regional, expressas por camadas alternadas de argila e silte, atestadas em poços perfurados nas sub-bacias de Mexiana e Limoeiro (CARVAJAL et al., 1989).

Estratigraficamente a seqüência comporta duas unidades principais (SCHALLER et al., 1971). A inferior corresponde aos sedimentos da Formação Limoeiro (Paleoceno), composta por arenitos friáveis, finos a grossos, com freqüentes níveis conglomeráticos e intercalações de argilitos, instalados sobre a seqüência rifte. A unidade superior compreende dois pacotes sedimentares, sobrepostos concordantemente à da inferior (Limoeiro), depositados em ambientes fluvio-deltáicos e fluviais. O primeiro pacote refere-se a Formação Marajó, constituído por arenitos finos, argilitos e folhelhos, depositados entre o Eoceno e o Plioceno. O segundo pacote comprende os sedimentos da Formação Tucunaré (arenitos finos a medios), depositados após o Mioceno. A deposição contínua dessa seqüência reflete processos passivos de sedimentação, ligados a uma grande estabilidade tectônica.

4 - GEOLOGIA ESTRUTURAL

4.1 - INTRODUÇÃO

O objetivo principal deste capítulo é descrever e interpretar todos os elementos estruturais reconhecidos através da análise de dados geofísicos disponíveis para a Bacia de Marajó. A caracterização geométrico-cinemática da bacia foi calcada principalmente na interpretação de várias linhas sísmicas transversais à estruturação principal (Figura 9), possibilitando, desse modo, a definição das descontinuídades mestras que compõem a arquitetura mesozóica. Distinguem-se, portanto, na sua estruturação principal, falhas normais de direção NW-SE e falhas transcorrentes voltadas para NE-SW e ENE-WSW, as quais limitam dois grandes compartimentos tectônicos denominados de sub-bacias de Limoeiro e Cametá. O quadro se completa com a sub-bacia de Mocajuba, separada da sub-bacia de Cametá por um alto do embasamento, e com a sub-bacia de Mexiana desenvolvida ao longo de um feixe de falhas transcorrentes de direção NE-SW (Figura 10).

Com a intenção de compreender melhor o desenvolvimento desse segmento extensional, buscou-se a relação dos elementos estruturais principais com aqueles descritos nas áreas adjacentes, bem como seus ajustes geométricos com as estruturas que compõem as províncias geotectônicas do Pré-Cambriano (Figura 11). Nesse sentido, buscou-se apoio na literatura disponível, visando sobretudo a compreensão dos segmentos extensionais vizinhos e a natureza do embasamento cristalino.

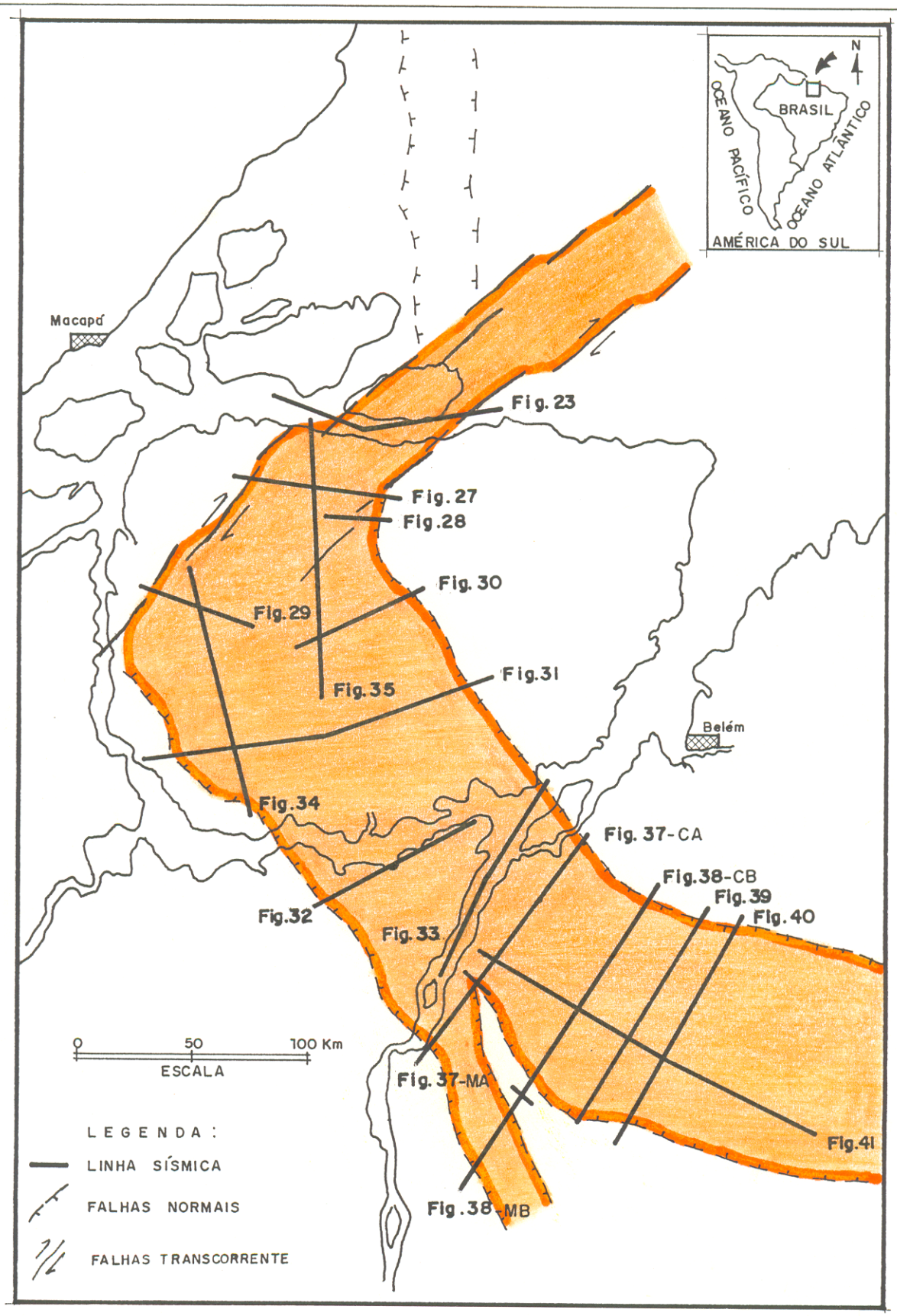

FIG. 9 - Mapa de localização das linhas sísmicas, utilizadas para o entendimento da estruturação da Bacia de Marajó

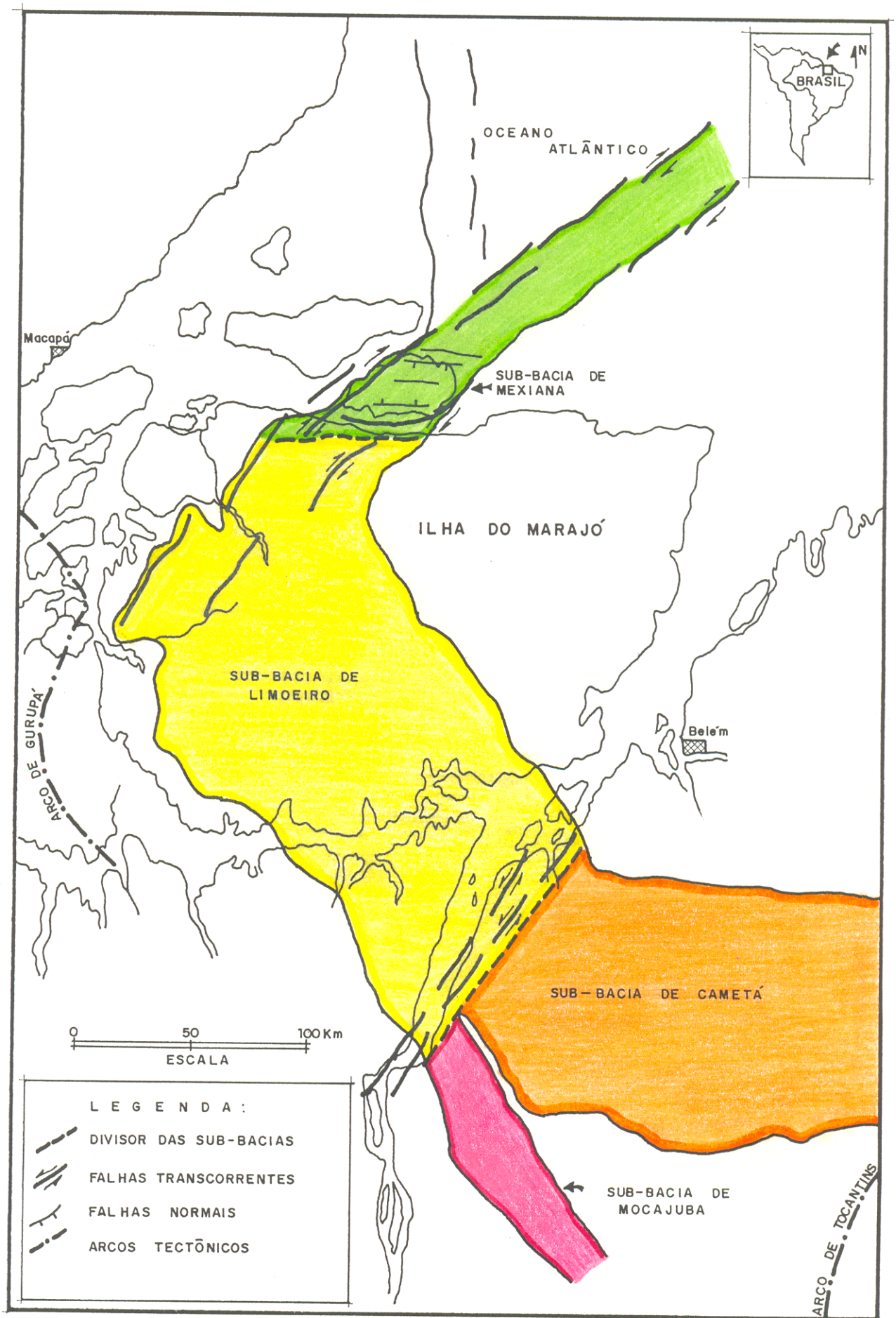

FIG. 10 - Mapa de localização das sub-bacias de Mexiana, Limoeiro, Cametá e Mocajuba. Adaptado de PETROBRÁS (1986b).

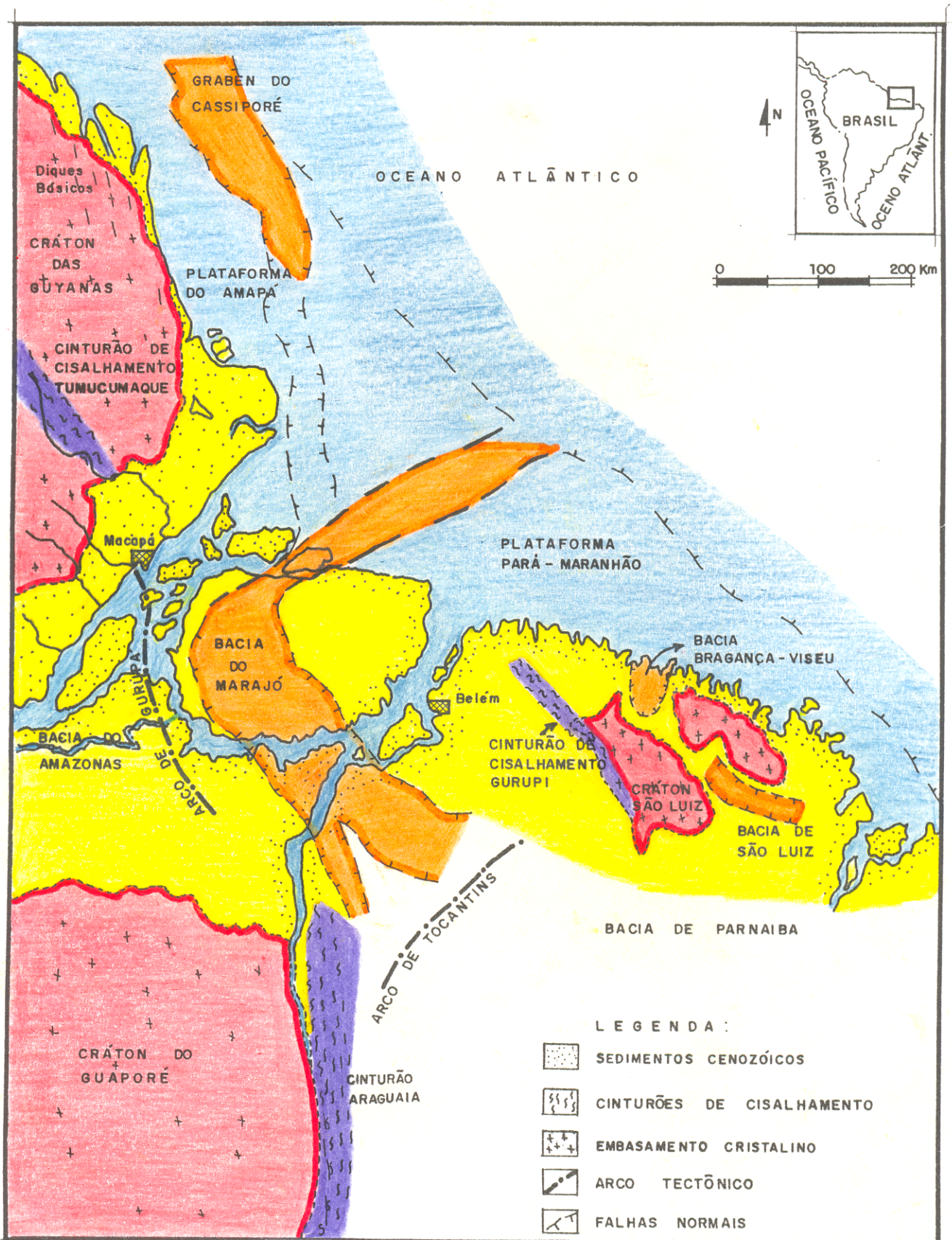

FIG. 11 - Elementos estruturais adjacentes a Bacia de Marajó. Segundo ENCAL (1985).

Conforme será discutido adiante, a integração das informações proporcionou a caracterização de um modelo tectono-estrutural que explica satisfatoriamente os elementos estruturais maiores da arquitetura da Bacia de Marajó (Figura 12), com destaque para os seguintes aspectos: a propagação do rifteamento avançou de SW para NE nas sub-bacias de Limoeiro, Cametá e parte norte de Mocajuba, e no sentido inverso na região sul da sub-bacia de Mocajuba; dois pulsos extensionais são identificados nas sub-bacias de Limoeiro e Cametá; a sub-bacia de Mexiana se relaciona com a interação de um feixe "en-echélon" de falhas transcorrentes NE-SW, que funcionaram ininterruptamente durante a deformação extensional; o Arco de Tocantins, que limita as bacias de Marajó e Parnaíba, corresponde a um feixe de transcorrência com evolução semelhante ao da região de Mexiana; e as descontinuidades mestras do Mesozóico seguem rigorosamente a orientação geral da arquitetura principal do embasamento cristalino.

4.2 - SUB-BACIA DE MEXIANA

4.2.1 - **Introdução**

A sub-bacia de Mexiana situa-se na parte norte da Bacia de Marajó, entre os paralelos 0°30' N e 1°00' N, tem forma alongada, estende-se por mais de 150 km na direção NE-SW e sua largura varia de 20 a 40 km (Figura 10). Suas bordas noroeste e sudeste são definidas por falhas transcorrentes vinculadas a um sistema estrutural tipo "en-echélon", que se projeta desde o extremo noroeste da sub-bacia de Limoeiro até a plataforma continental profunda. Os lineamentos das bordas NW e SE da sub-bacia foram denominados de Chaves e Arari respectivamente, por CARVAJAL et al. (1989).

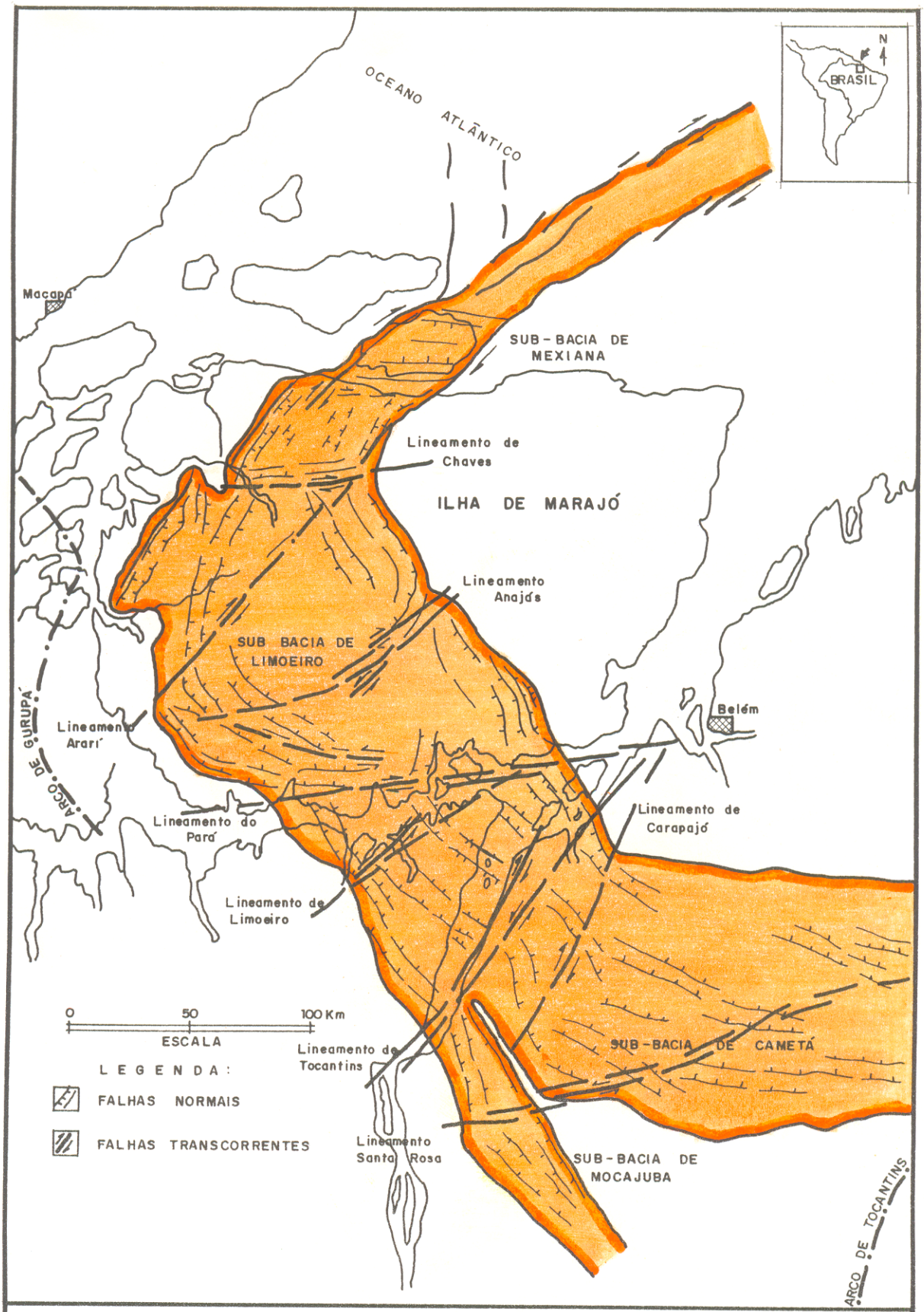

FIG. 12 - Mapa tectono-estrutural da Bacia de Marajó, delineado a partir da interpretação de linhas sísmicas e mapas magnetométricos e gravimétricos.

Devido à falta de dados sísmicos de resolução profunda e de informações de sondagens, não foi possível avançar na determinação do comportamento estrutural do embasamento cristalino. Por outro lado, a interpretação dos dados gravimétricos e magnetométricos ajudaram na definição do arranjo estrutural e proporcionaram subsídios para o entendimento da geometria e da cinemática da sub-bacia.

4.2.2 - **Apresentação dos elementos estruturais**

A existência de estruturas transcorrentes dextrais na Sub-bacia de Mexiana foi sugerida inicialmente por SNYDER (1988), que, na oportunidade, indicou que o desenvolvimento do Rifte de Marajó estaria ligado a uma rotação horária da plataforma Pará-Maranhão em relação a plataforma do Amapá, sugerindo assim, um importante deslocamento entre tais blocos continentais.

Com base nos levantamentos magnetométricos, gravimétricos e de sísmica de reflexão, RABINOWITZ & LABREQUE (1979), e BRYAN & GORINI (1976) reconheceram na margem equatorial brasileira uma zona de cisalhamento transcorrente, que teria evoluido a partir da ruptura do Continente Gondwana no Cretáceo Inferior. A direção desse movimento foi demonstrada através da reconstituição dos pólos de rotação das placas da América do Sul e da África, e orientação da zona de fratura de Saint Paul e da configuração atual das margens equatoriais (Figura 13).

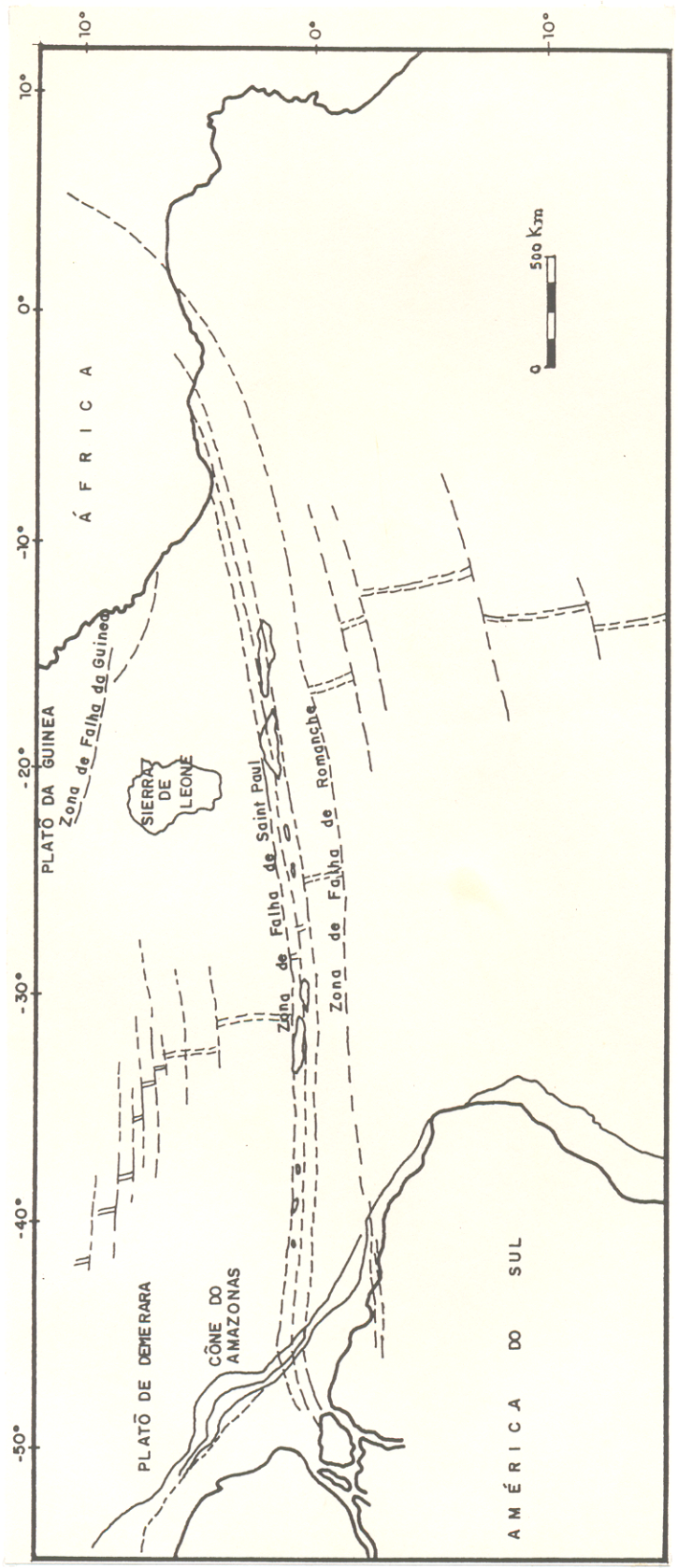

FIG. 13 - Configuração atual das margens continentais da América do Sul e África, que através de anomalias magnéticas foi evidênciada a zona de falha de Saint Paul relacionada ao processo de Deriva Continental. Modificado de MASCLE (1978).

As evidências mais expressivas que sugerem a presença de zonas transcorrentes na região do Mexiana estão registradas no mapa de intensidade magnética, cuja interpretação indica a presença de um baixo magnético alongado na direção NE-SW e limitado por várias descontinuídades paralelas a sua maior dimensão (Figura 14). O mapa estrutural, obtido a partir de linhas sísmicas (Figura 15), mostra que as principais zonas transcorrentes definem um arranjo "en-echélon", cuja interação gerou estruturas romboédricas limitadas a NE e a SW por falhas normais orientadas na direção E-W. Vê-se, portanto, através da modelagem das estruturas de forma esquemática (Figura 16), que o domínio da sub-bacia de Mexiana corresponde a uma estrutura tipo "pull-apart" relacionada a falhas transcorrentes dextrais.

4.2.3 - **Descrição das estruturas**

As principais estruturas observadas na sub-bacia referem-se as falhas transcorrentes mestras e as falhas normais secundárias, que são descritas a seguir:

4.2.3.1 - Falhas transcorrentes

Através da interpretação de dados magnéticos, gravimétricos e sísmicos, foi possível delinear um feixe de falhas transcorrentes, orientado na direção NE-SW, formando um sistema estrutural "en-echélon" complexo e ligado a uma movimentação dextral (Figura 17). As principais zonas transcorrentes reconhecidas pela interpretação estão identificadas no mapa da Figura 17-A, através das letras A, B, C, D e E.



FIG.14-Configuração magnética da sub-bacia de Mexiana. Modificado de ENCAL (1985).

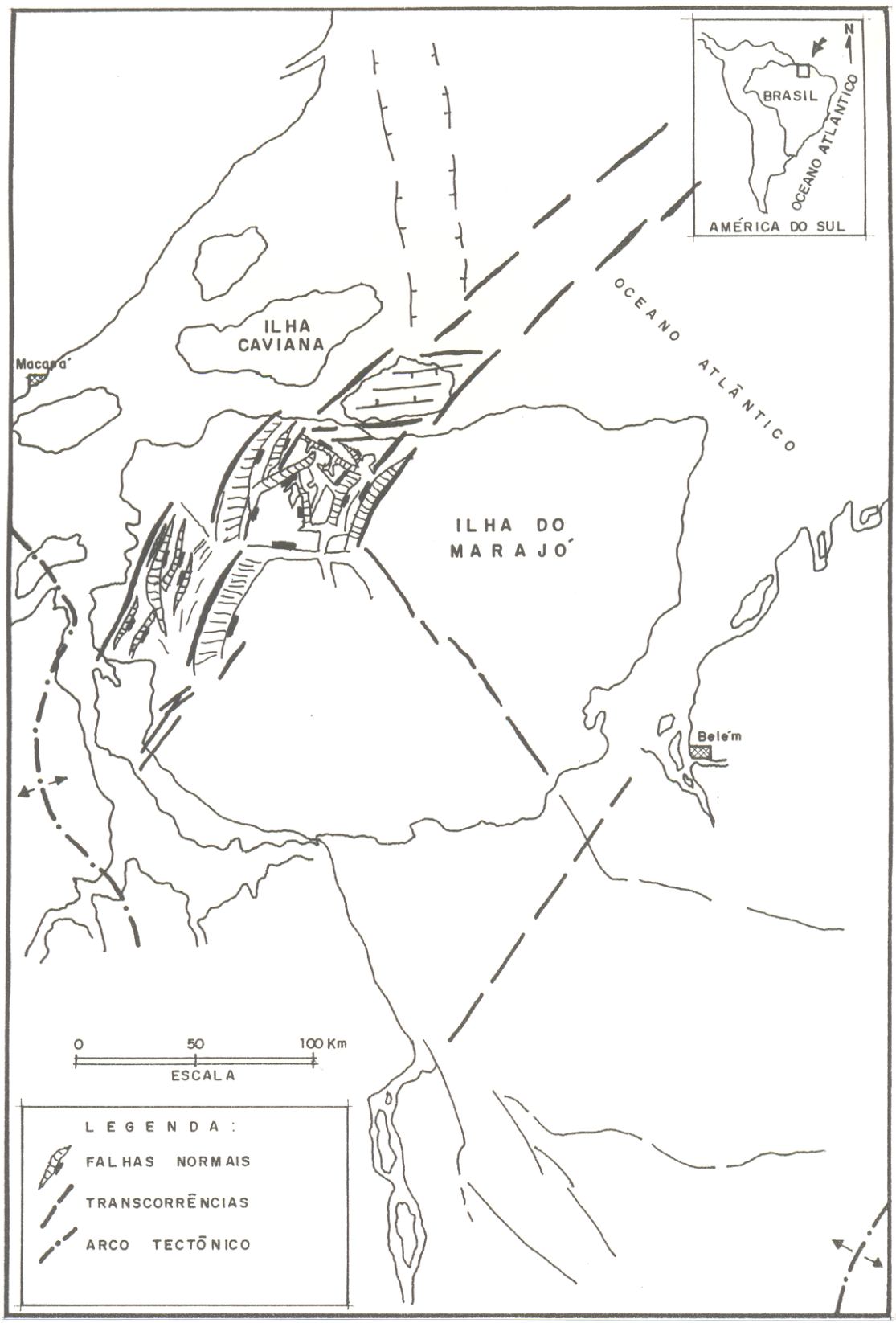

FIG.15-Mapa estrutural da sub-bacia de Mexiana, obtido através da interpretação de linhas sísmicas. Modificado de TEBCO (1988b).

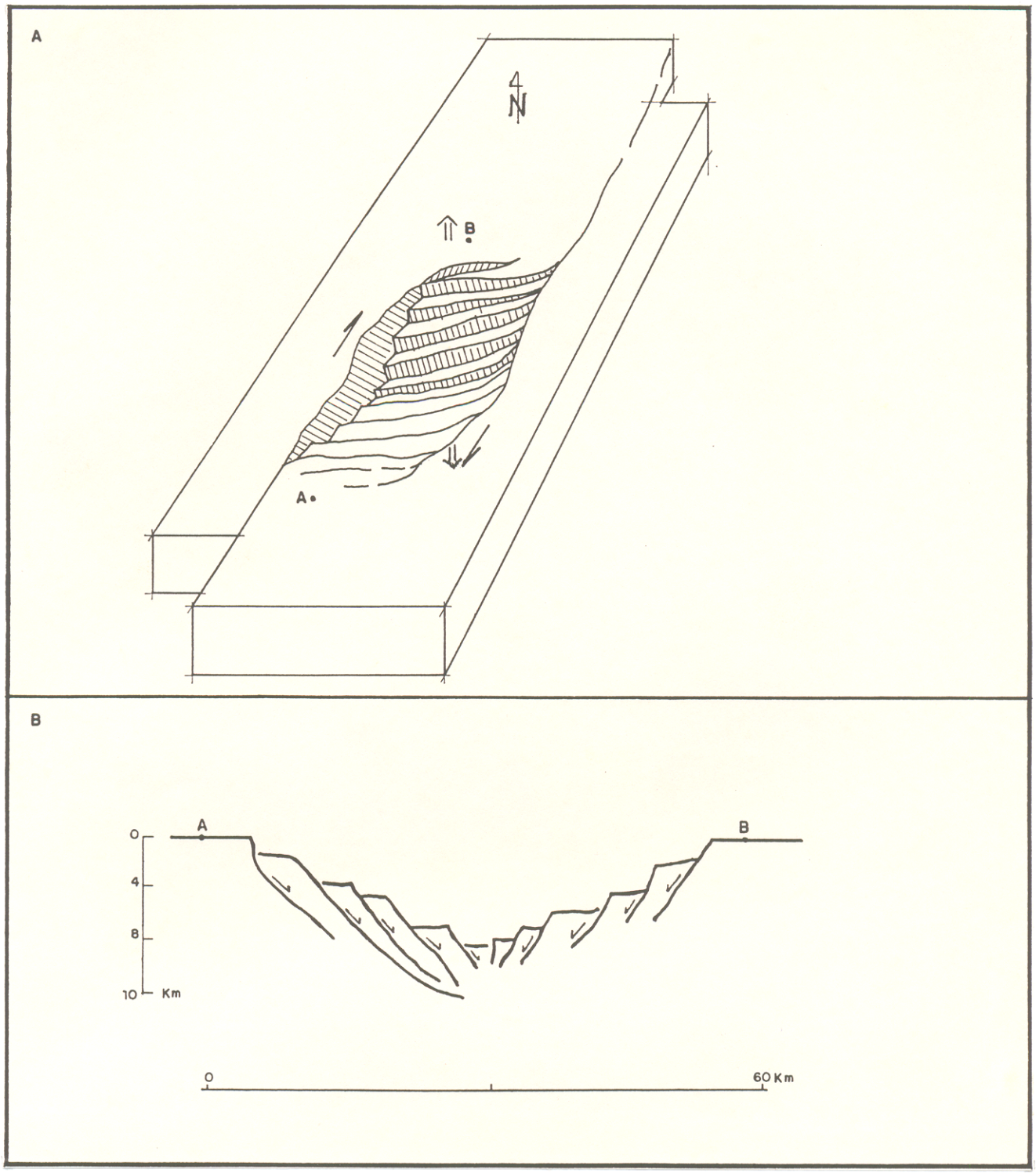

FIG. 16-Representação esquemática da geometria da sub-bacia de Mexiana. A-Modelo geométrico de uma bacia "pull-apart". Adaptado de ROYDEN (1985) sem escala. B-Perfil da bacia mostrando o arranjo estrutural.

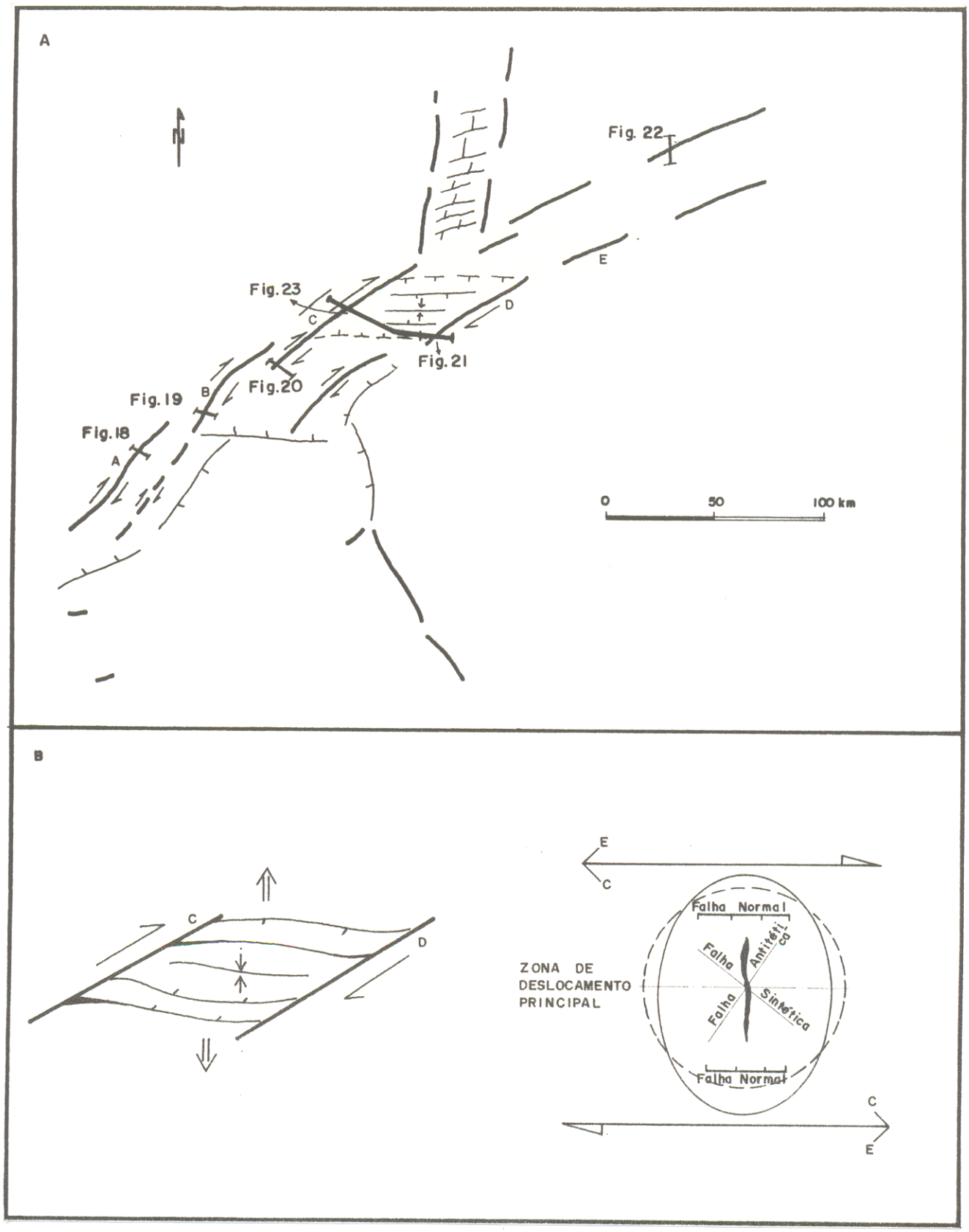

FIG. 17 - Configuração estrutural da sub-bacia de Mexiana. A - Principais elementos estruturais da sub-bacia de Mexiana, arranjados num sistema de transcorrências tipo "en-echélon". B - Esboço esquemático do binário responsável pelas transcorrências C e D, e apresentação do elipsóide deformacional mostrando as estruturas principais.

O segmento transcorrente A coincide, em parte, com a borda NW da sub-bacia de Limoeiro. Verifica-se através da linha sísmica mostrada na Figura 18, que a zona transcorrente é caracterizada por uma estrutura em flor simétrica no âmbito do preenchimento sedimentar, que se propaga em profundidade ao longo de uma falha normal relacionada ao desenvolvimento da sub-bacia de Limoeiro. O segmento B (Figura 17-A), conforme mostrado na Figura 19, corresponde a uma estrutura em flor negativa assimétrica, cujo plano principal de movimentação, no lado direito da seção, se ajusta a uma falha normal lístrica no contexto do embasamento. A seção da Figura 20 é um corte na extremidade SW do segmento C (Figura 17-A), onde há registros de várias estruturas em flor, afetando o embasamento cristalino e o preenchimento sedimentar mais antigo. O segmento D (Figuras 21 e 17-A), também é caracterizado pela presença de estruturas em flor, mas ha indicações de fortes movimentações de mergulho ligadas ao desenvolvimento do depocentro principal da sub-bacia de Mexiana. A Figura 22 é uma seção referente a plataforma continental (parte submersa), a qual sugere o prolongamento das zonas transcorrentes em direção a NE. É oportuno destacar que, em quase todas as seções sísmicas analisadas, há indicações de que as zonas transcorrentes mantiveram-se ativas através do Terciário.

4.2.3.2 - Falhas normais secundárias

As falhas normais secundárias têm orientação geral E-W, ajustam-se aos segmentos transcorrentes NE-SW e definem dois conjuntos de estruturas inclinadas para N e para S, caracterizando uma megaestrutura em flor negativa (Figura 23). A Figura 23 é uma seção oblíqua às falhas normais que compõem a arquitetura do principal depocentro da sub-bacia de Mexiana, na qual se verifica que se tratam de falhas normais planares de alto ângulo, cuja história de movimentação alcançou no mínimo 4 km de rejeito vertical. É importante destacar que na parte central da seção há evidências de transpressão expressa através de dobras na seqüência cretácica (parte central inferior da seção).

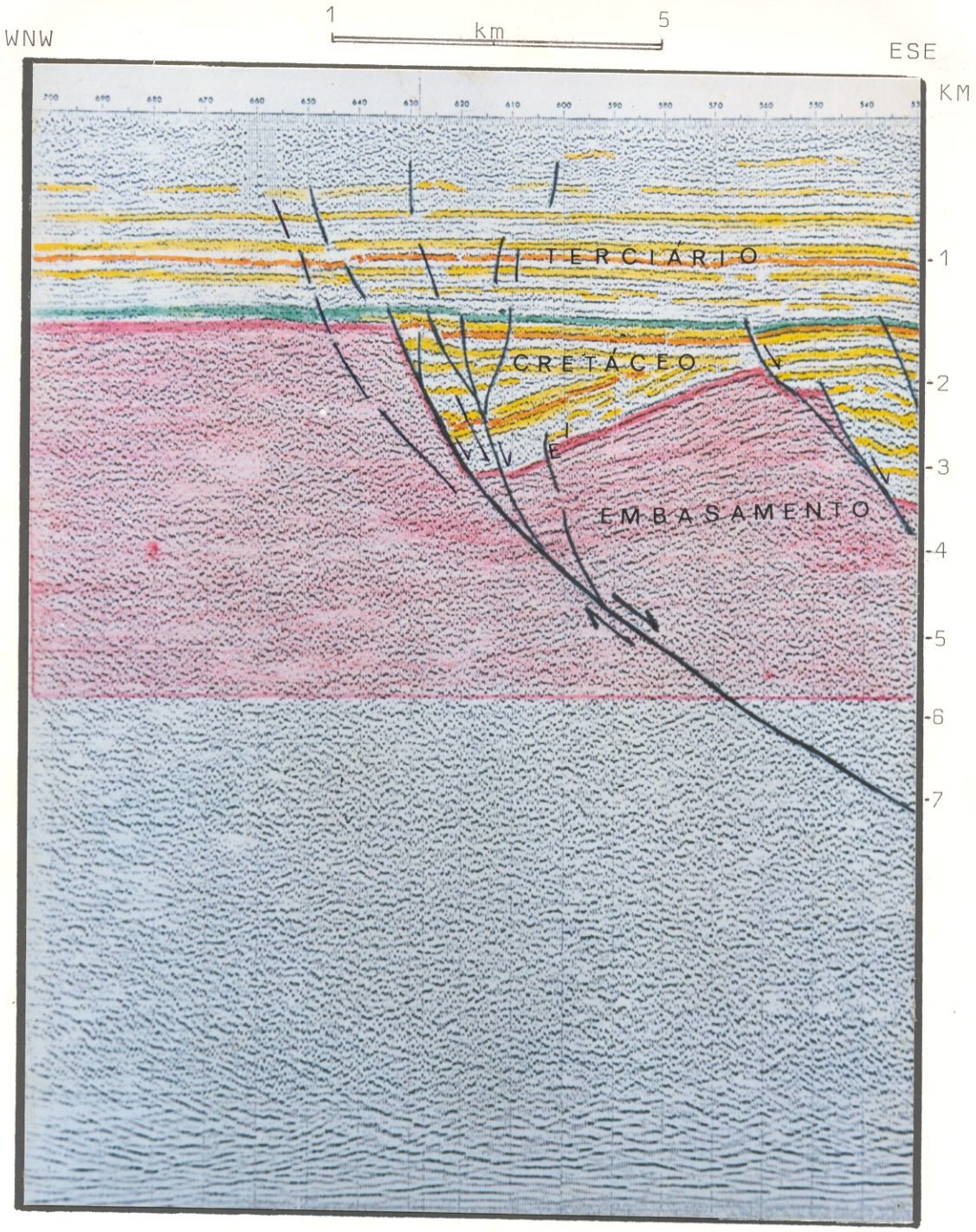

FIG.18-Seção sísmica da borda NW da sub-bacia de Limoeiro, mostrando algumas mudanças de espessuras nas fácies sísmicas, com movimentação lateral de blocos através de falhas transcorrentes. As estruturas em flor estão atreladas às transcorrências de direção NE-SW. Ver localização na Figura 17-A.

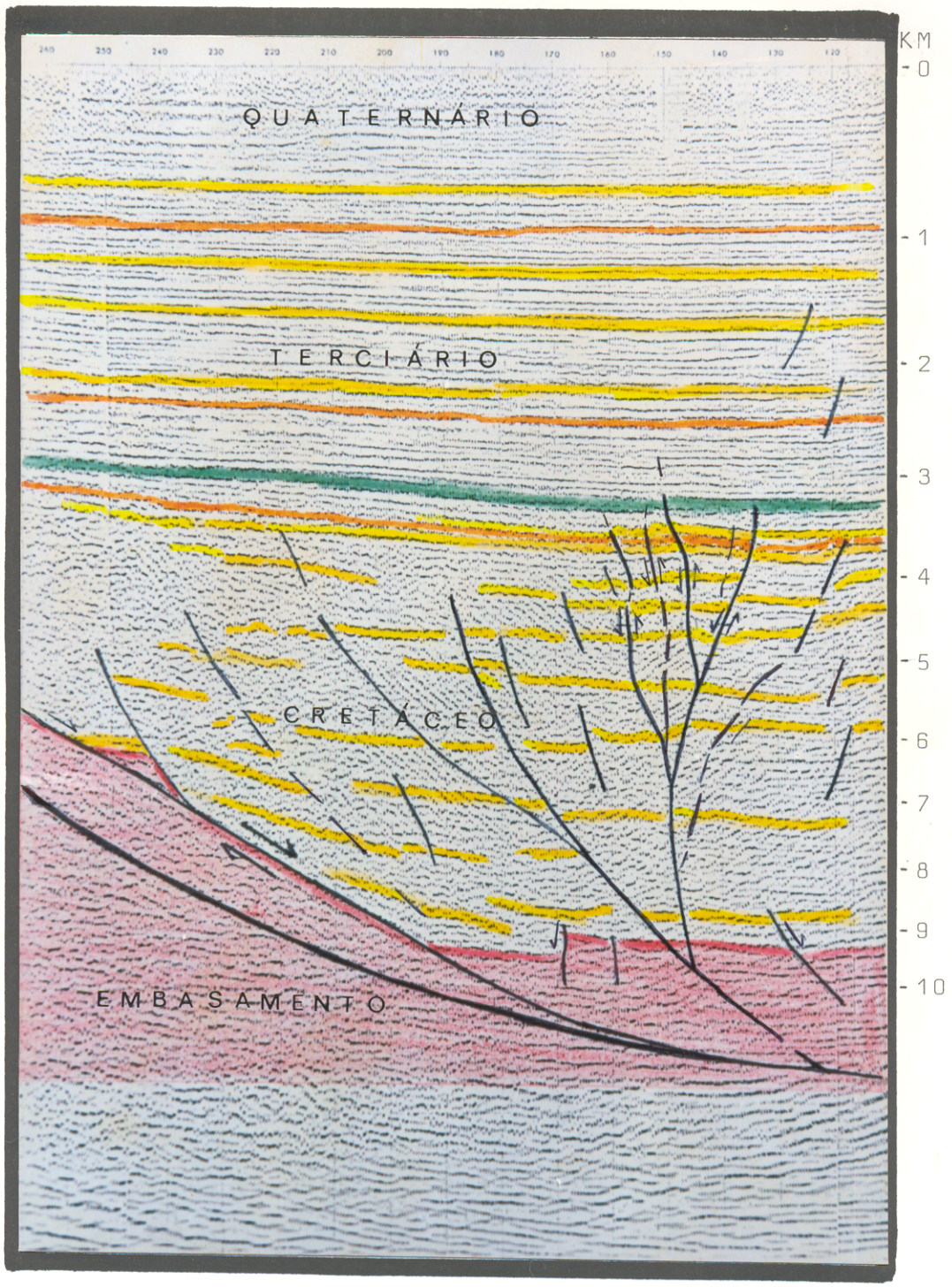

FIG. 19 - Seção sísmica da borda NW da sub-bacia de Limoeiro, mostrando uma zona de falhas transcorrentes com estruturas em "flor positiva" associadas. Ver localização na Figura 17-A.

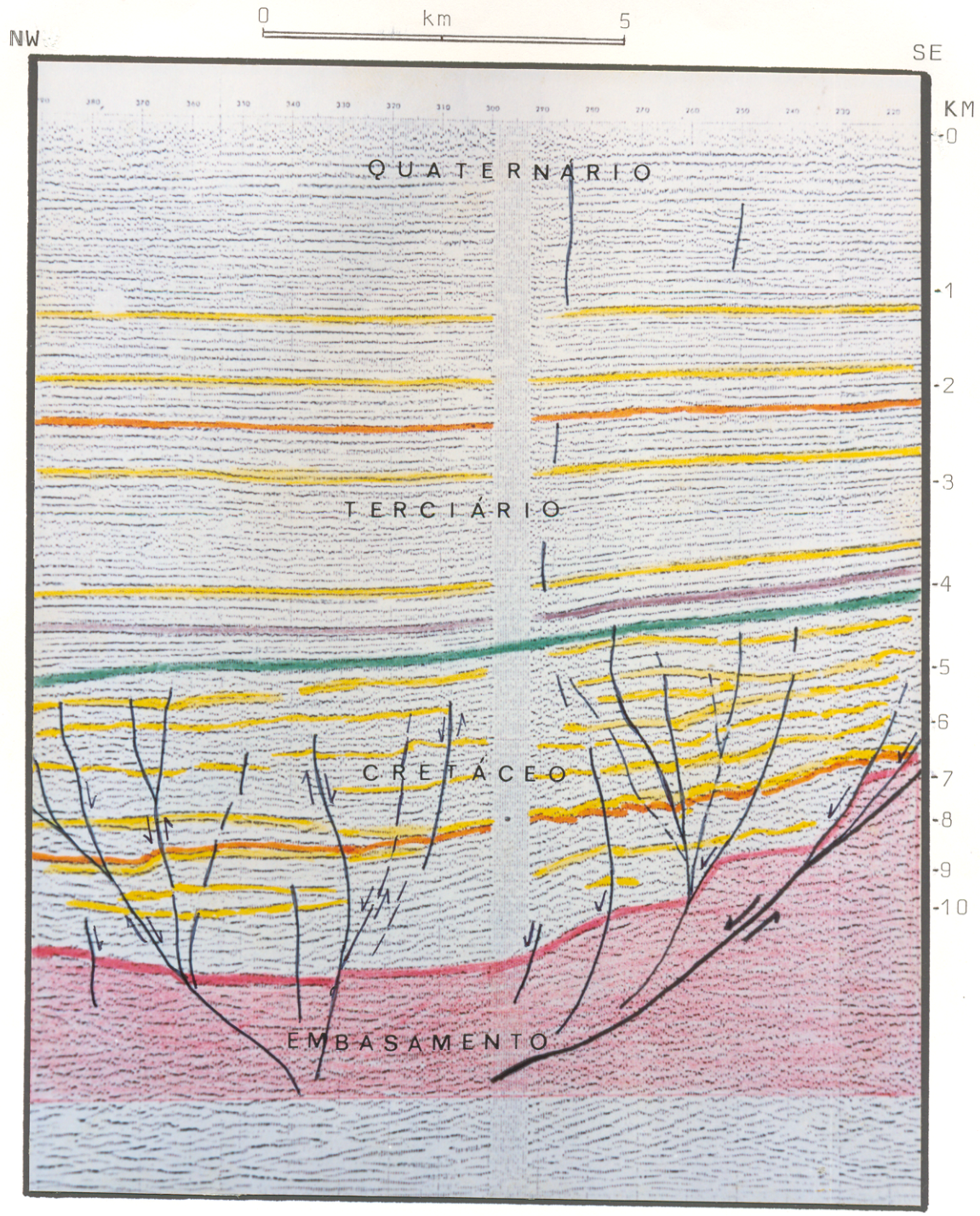

FIG.20-Seção sísmica da parte SW (central) da sub-bacia de Mexiana, mostrando algumas zonas de transcorrência, evidênciadas por estruturas em "flor negativa". Ver localização na Figura 17-A.

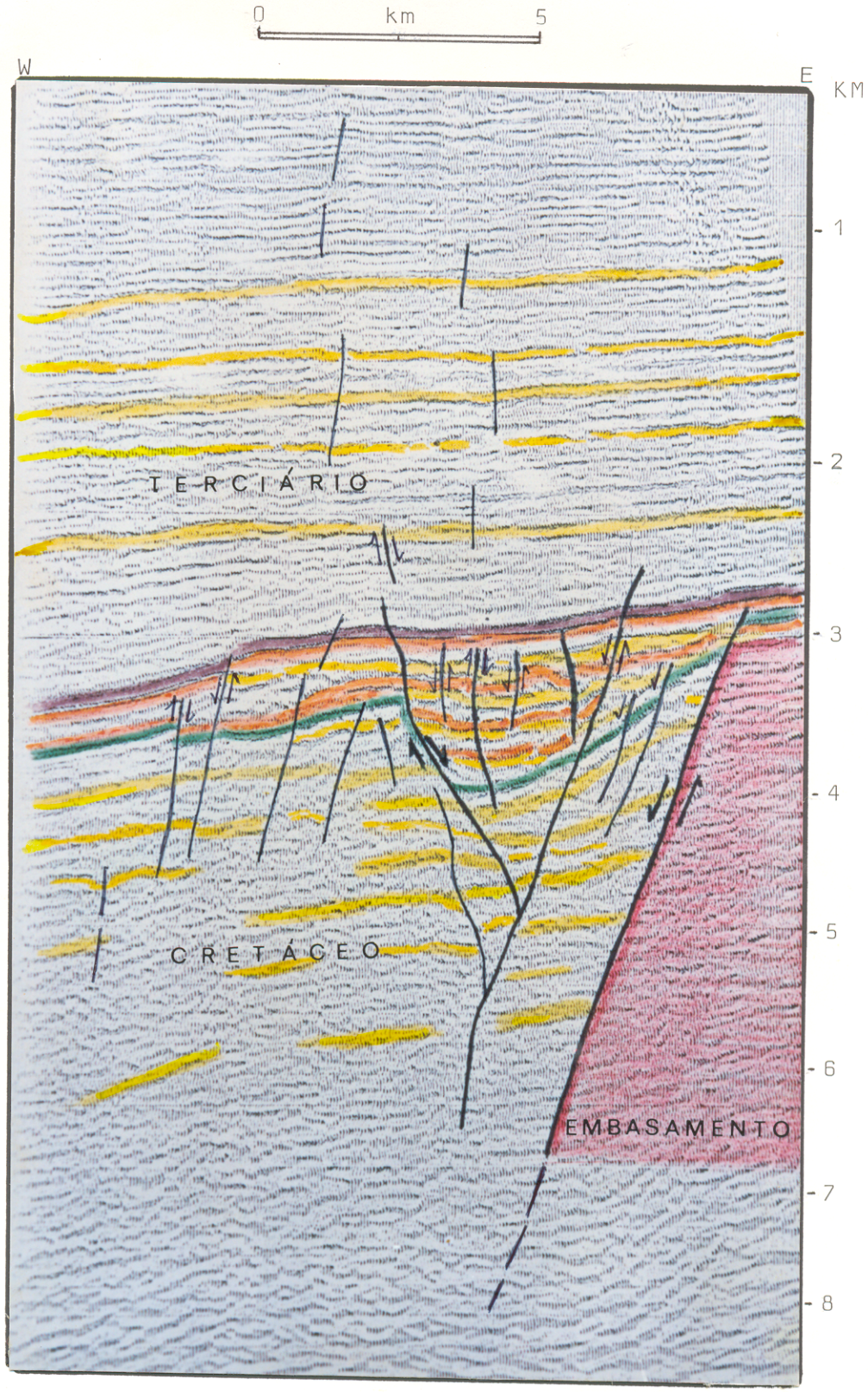

FIG.21-Seção sísmica da borda SE da sub-bacia de Mexiana, cuja geometria é caracterizada por estruturas em "flor negativa". Ver localização na Figura 17-A.

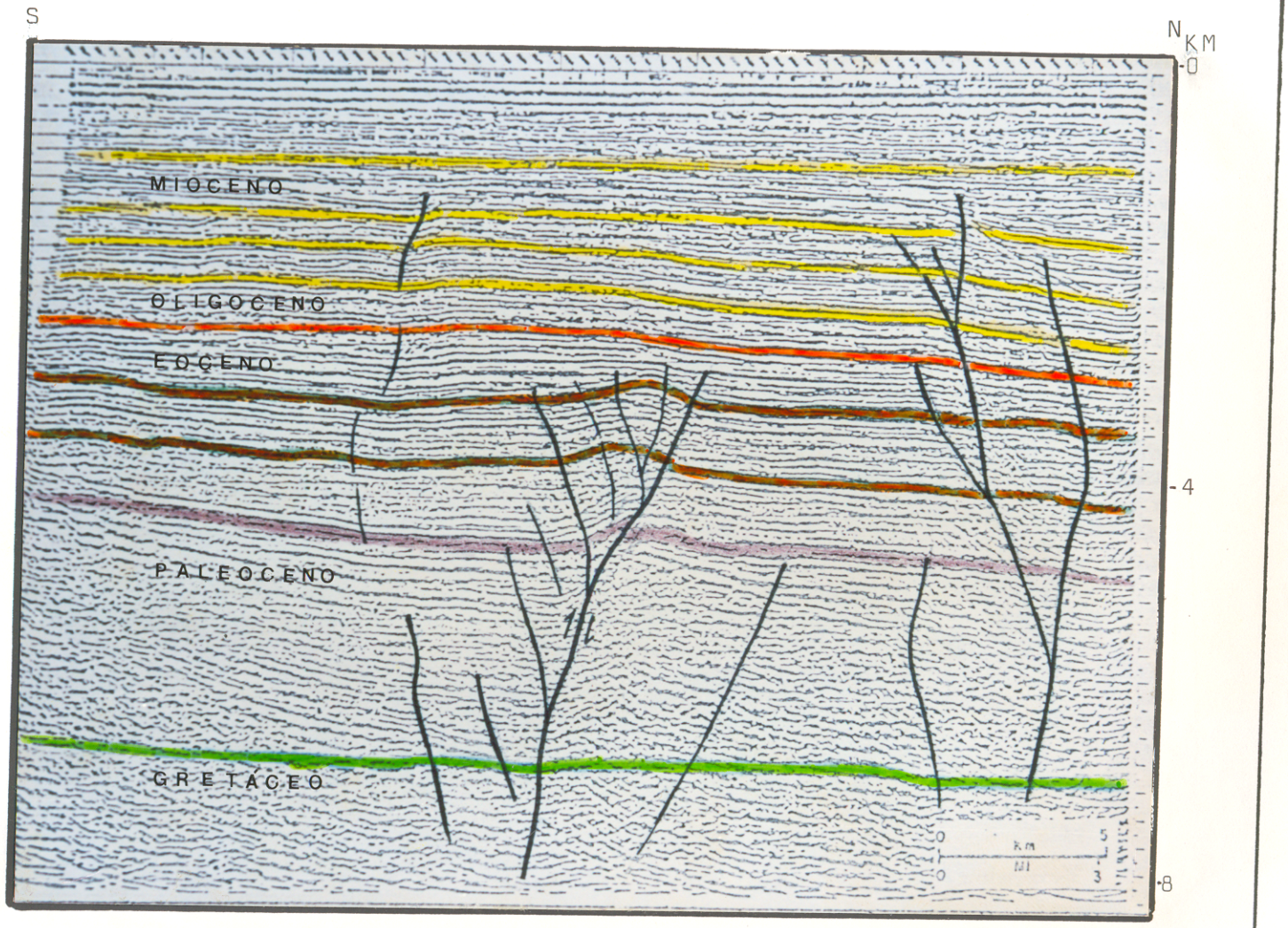

FIG.22-Seção sísmica transversal ao sistema de falhas transcorrentes que compõem o quadro tectônico da sub-bacia de Mexiana. Essas falhas transcorrentes foram ativas também no terciário. Ver localização na Figura 17-A.

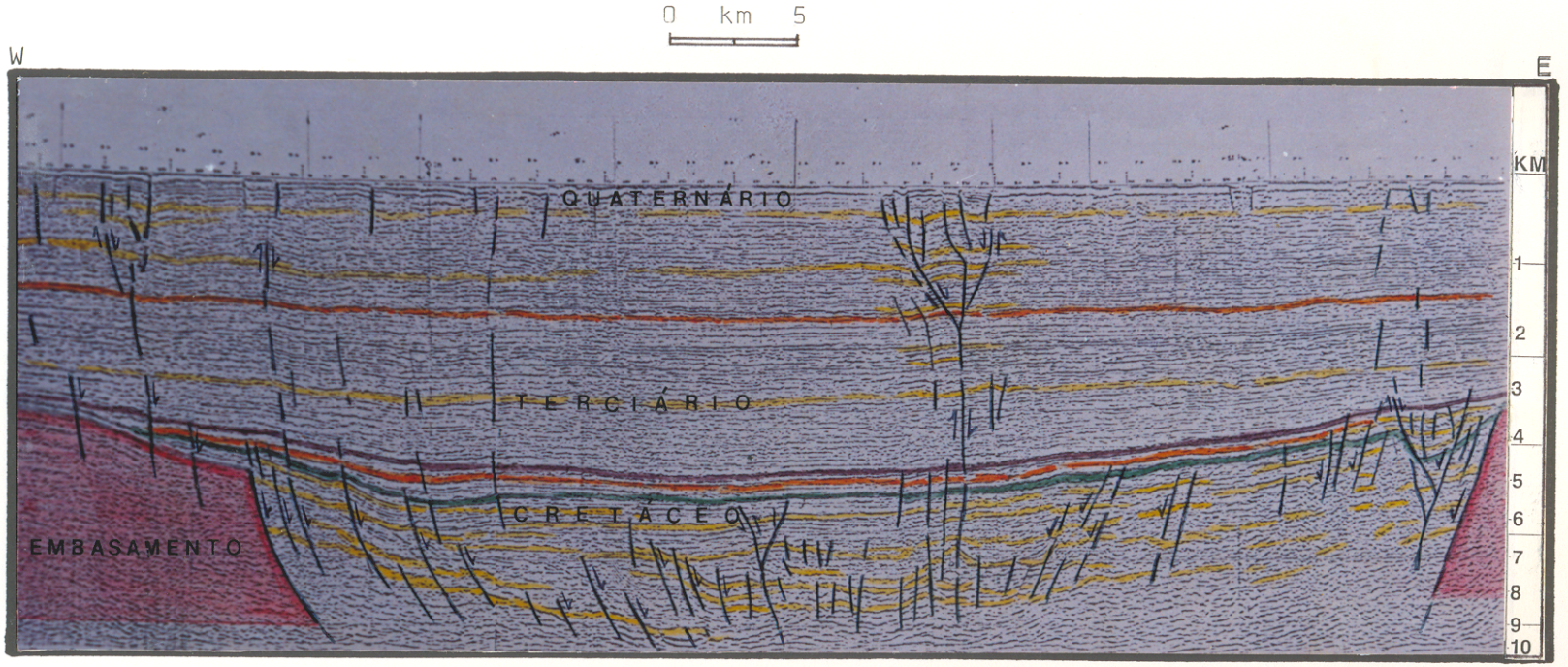

FIG.23-Seção sísmica transversal a sub-bacia de Mexiana, mostrando que as suas bordas possuem inclinações de alto ângulo relacionada aos movimentos direcionais. Na parte central observa-se uma melhor concentração de falhas normais, além de dobras correlacionadas a uma fase transpressiva. Algumas falhas formadas no Cretáceo permaneceram ativas através do Cenozóico, tanto nas bordas como no centro. Ver localização na Figura 9.

Embora as linhas sísmicas disponíveis (Figuras 22 e 23) não permitam uma resolução do embasamento, admite-se que as falhas normais se ajustam em profundidade às zonas transcorrentes principais.

4.2.4 - **Arranjo geométrico-cinemático**

Através da análise dos mapas geofísicos (Bouguer, magnético e sísmo-estrutural), constata-se que a sub-bacia de Mexiana é produto da interação entre os segmentos transcorrentes C e D (Figuras 17-A, 20 e 21). A organização geométrico-cinemática é descrita em termos de uma sub-bacia romboédrica simétrica, com as falhas normais secundárias intimamente relacionadas à atuação de um binário dextral de direção NE-SW, conforme mostrado nas Figuras 16 e 17-B. Embora os dados sejam poucos, admite-se que a geometria geral da sub-bacia corresponda a uma estruturação divergente de falhas normais, semelhante a uma megaestrutura em flor negativa (Figura 16-B).

Nesse sentido, a análise integrada desses elementos geométricos permite aplicar o modelo de bacia tipo "pull-apart", para explicar a evolução geométrico-cinemática da região de Mexiana. Essa interpretação é respaldada pelos seguintes argumentos:

1- o depocentro principal tem forma alongada na direção NE-SW (80 a 100 Km), e é limitado por dois segmentos transcorrentes dextrais;

2- a forte inclinação e a geometria planar das falhas normais;

3- alternância de transtensão com transpressão durante a evolução da sub-bacia;

4- alta taxa de sedimentação na sub-bacia, chegando a espessuras da ordem de 9.000 m;

5- presença de fortes anomalias magnéticas negativas, condicionadas ao padrão estrutural do binário dextral (Figura 24);

6- presença de estruturas tectógenas nos sedimentos instalados durante o Terciário.

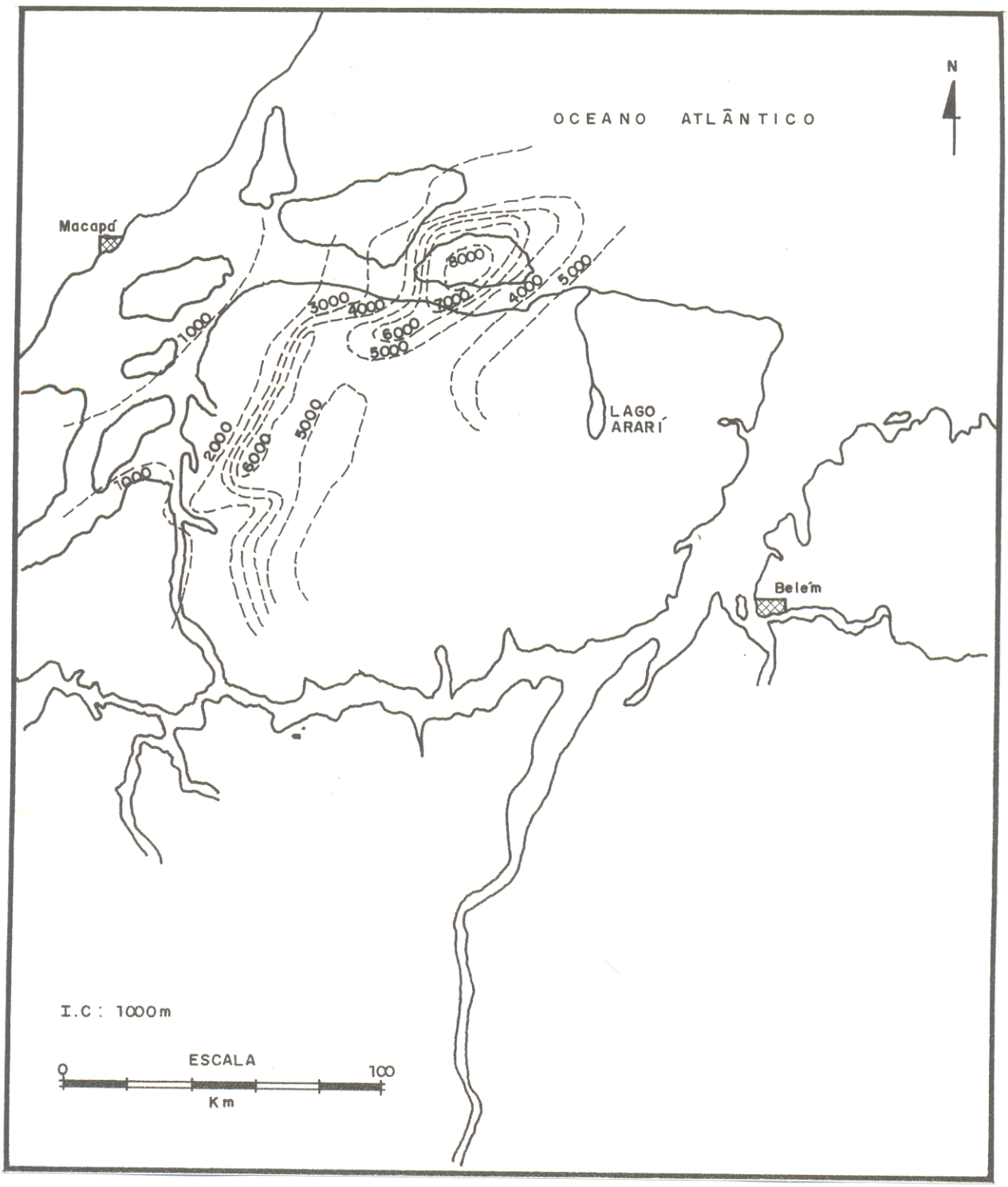

FIG.24-Mapa aeromagnético com isópacas de profundidade, relacionado com o comportamento estrutural do embasamento da sub-bacia de Mexiana. Segundo ENCAL (1985).

4.2.5 - **Tectônica da sub-bacia**

A integração dos dados permite que se discuta o desenvolvimento da sub-bacia de Mexiana através de três fases de movimentação principais. A fase de transtensão inicial foi responsável pela geração da arquitetura principal da sub-bacia, a qual foi seguida por uma fase de transpressão. A última movimentação é dominantemente transtensiva e está ligada à evolução da sub-bacia no Cenozóico.

4.2.5.1 - Fase transtensiva inicial

A movimentação ao longo dos segmentos transcorrentes C e D (Figuras 17-A, 20 e 21), orientados na direção NE-SW, proporcionou o desenvolvimento de falhas normais E-W e a instalação de um depocentro que acolheu os sedimentos do Cretáceo.

Admite-se que o abatimento dos blocos do embasamento pode ter sido da ordem de alguns quilômetros ao longo das falhas normais planares. Os poucos dados disponíveis não permitem estabelecer se a sub-bacia evoluiu a partir do colapso do piso ou do teto, mas sabe-se que o modelo geométrico corresponde a uma estrutura fortemente simétrica.

É possível também que outras sub-bacias menores tenham se formado a partir da interação dos outros segmentos transcorrentes nessa época, tal como se interpreta no mapa de intensidade magnética (Figura 14), entretanto, não foi possível avançar no sentido de melhor caracterizá-las.

4.2.5.2 - Fase compressiva

Após a instalação do preenchimento do Cretáceo, a sub-bacia de Mexiana experimentou transpressão, expressa através de falhas reversas com amplas dobras associadas. É possível que parte das falhas normais tenha sido reativada como cavalgamento em diversos setores da sub-bacia, mas os dados disponíveis não permitem confirmá-la.

AGUIAR et al. (1986) também registraram, na plataforma continental, estruturas transpressivas ligadas ao mesmo sistema transcorrente "en-echélon" NE-SW. Tais feições são vistas nos pacotes sedimentares do Eoceno (Figura 22).

Entende-se que essa deformação transpressiva pode ter sido resultante da mudança do sentido da movimentação ao longo das zonas transcorrentes. Por outro lado, não deve ser esquecido que as zonas transcorrentes correspondem a zonas de transferência, cuja cinemática é controlada pela taxa de movimentação das falhas normais adjacentes. Nesse caso, é previsível a mudança de movimentação dextral por sinístral na propagação da deformação.

4.2.5.3 - Fase transtensiva final

Esta fase final de movimentação na sub-bacia instala-se no Terciário, através de falhas de crescimento, resultantes da movimentação transcorrente NE-SW. Essas estruturas são bastante localizadas e seus reflexos em linha sísmica nos mostram com clareza as estruturas distensivas, porém em escalas maiores, vê-se que os estratos sedimentares estão ondulados, mostrando certa plasticidade e deformação incipiente. Como exemplo as Figuras 22 e 23 mostram esse tipo de estruturação final que comporta a sub-bacia de Mexiana.

4.3. SUB-BACIA DE LIMOEIRO

4.3.1- **Introdução**

A sub-bacia de Limoeiro situa-se na parte central da Bacia de Marajó, possuindo forma alongada nas direções NE-SW e N-S na parte norte, e NW-SE na parte sul (Figura 10). Limita-se a norte com as falhas transcorrentes que compõem a sub-bacia de Mexiana, a sul com as sub-bacias de Cametá e Mocajuba, através do Lineamento Tocantins (CARVAJAL et al., 1989), a leste com a porção leste da Ilha do Marajó, e a oeste com o Arco de Gurupá. Possui um comprimento aproximado de 210 km na direção NW-SE e uma largura de 100 km.

A geometria da sub-bacia de Limoeiro foi investigada através de várias linhas sísmicas transversais ao depocentro, que se encontram indicadas na Figura 9.

4.3.2- **Apresentação dos elementos estruturais**

A descrição da estruturação da sub-bacia começou a ser entendida melhor na década de 80, quando LANA & MILANI (1987) descreveram-na como uma fossa profunda, alongada, assimétrica, composta por semigrábens interligados e atingindo grandes espessuras, principalmente na borda sudoeste. TEIXEIRA (1987) assinalaram que a borda sudoeste da sub-bacia foi formada por falhas lístricas com mergulhos de baixo ângulo para NE, caracterizando um forte estiramento crustal. CARVAJAL et al. (1989) fizeram uma análise sobre a estruturação da sub-bacia, mencionando que as bordas sudoeste e nordeste possuem as maiores taxas de subsidência (Breves e Muaná) , sendo desenvolvidas por colapso na fase final da abertura da Bacia de Marajó.

Com base nas informações dos elementos estruturais levantados pela sísmica, a arquitetura principal da sub-bacia é definida por falhas normais lístricas sintéticas e antitéticas inclinadas para NE e SW, respectivamente (Figura 25). O desenvolvimento dessa arquitetura compreende inicialmente a instalação de falhas lístricas inclinadas para NE, acompanhadas pela formação de estruturas do tipo "roll-over" e seguidas pelo sistema lístrico antitético. A interação das falhas normais com as falhas transcorrentes NE-SW e ENE-WSW permitem a caracterização de cinco blocos denominados I, II, III, IV e V (Figura 26). Nos blocos II, III, IV e V as falhas normais têm orientação geral NW-SE, mas no bloco I ganham direção NE-SW. Os blocos são diferenciados pela geometria das falhas lístricas, pelo comportamento do "roll-over", pela presença de altos e baixos estruturais e pelas inflexões dos estratos sedimentares ligados a movimentos transcorrentes posteriores à formação da Bacia de Marajó.

4.3.2.1- Bloco I

Este bloco posiciona-se na parte norte da sub-bacia, entre os limites da sub-bacia de Mexiana e o Lineamento de Chaves (Figura 26), e é caracterizado por estruturas extensionais na parte oeste e falhas transcorrentes na parte leste. As estruturas extensionais formam um sistema de falhas lístricas suavemente inclinadas para E e SE, projetando-se inclusive nos sedimentos da seqüência cretácica. A falha principal do sistema situa-se no extremo oeste do bloco (Figura 27), e projeta-se para profundidades máximas de 18 km no embasamento, onde deve adquirir postura sub-horizontalizada. O pacote sedimentar cretácico, imediatamente acima da falha principal, desenha uma antiforma de teto (roll-over), a qual é seccionada pelas demais falhas em direção a leste, sugerindo que a evolução deste sistema estrutural pode ser entendida a partir do colapso do teto.

Destaca-se também que o rejeito total ao longo da falha principal é da ordem de 4.5 km e diminui nas falhas menores da parte central do bloco.

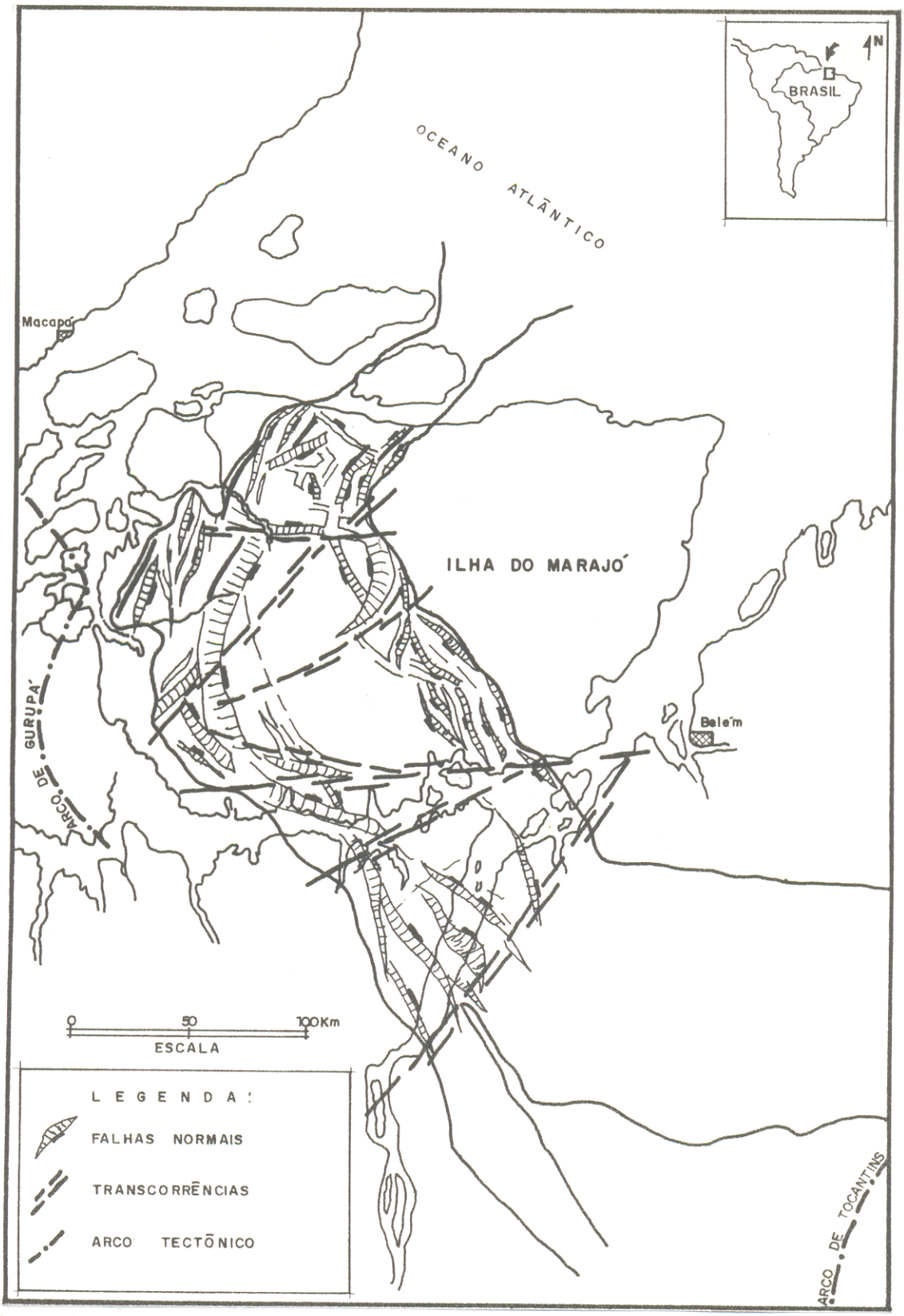

FIG.25-Mapa estrutural da sub-bacia de Limoeiro, obtido através da interpretação de linhas sísmicas. Modificado de TEBCO (1988b).

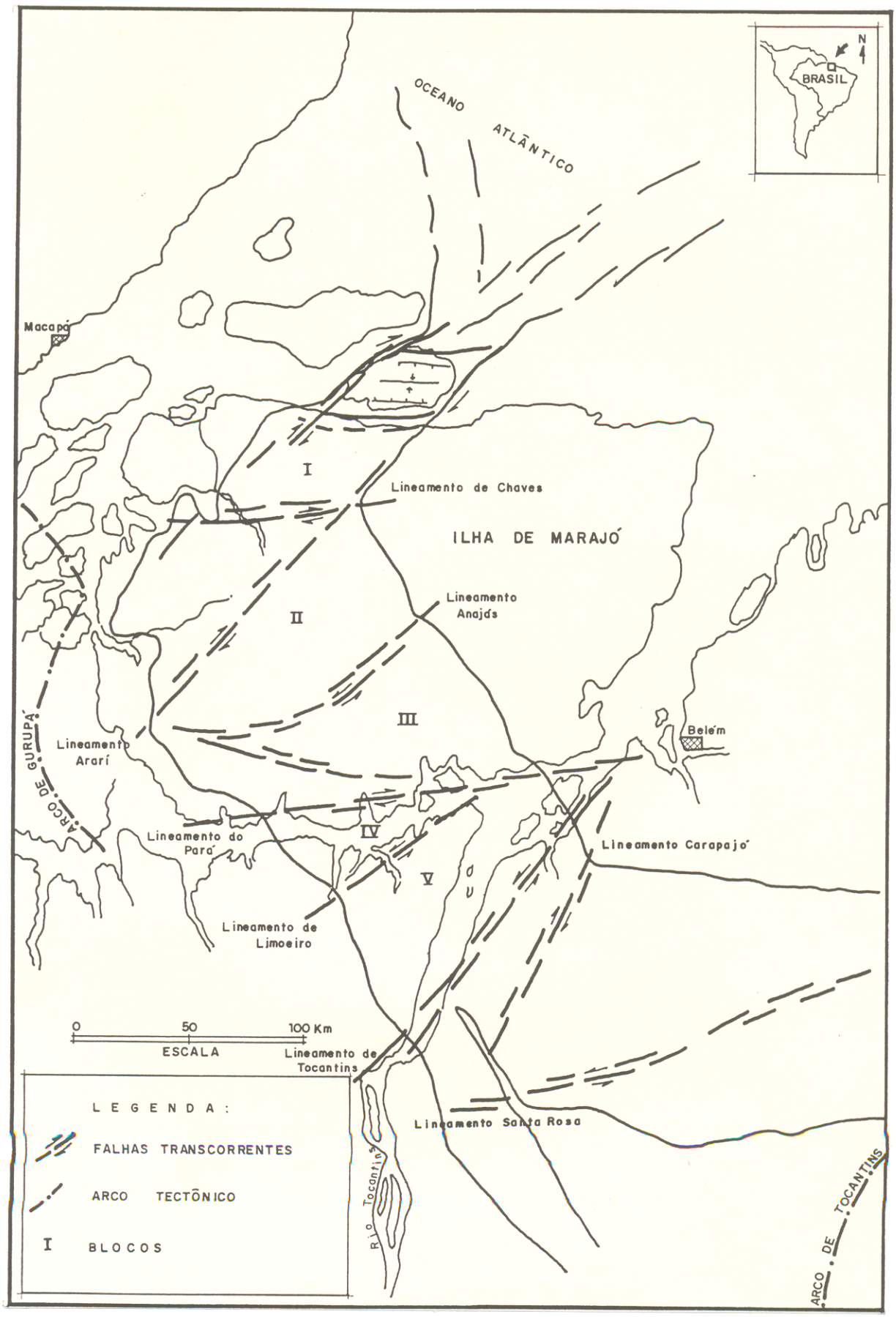

FIG.26-Mapa tectônico da sub-bacia de Limoeiro, esboçando os blocos I, II, III, IV e V. Modificado de PETROBRÁS (1986b).

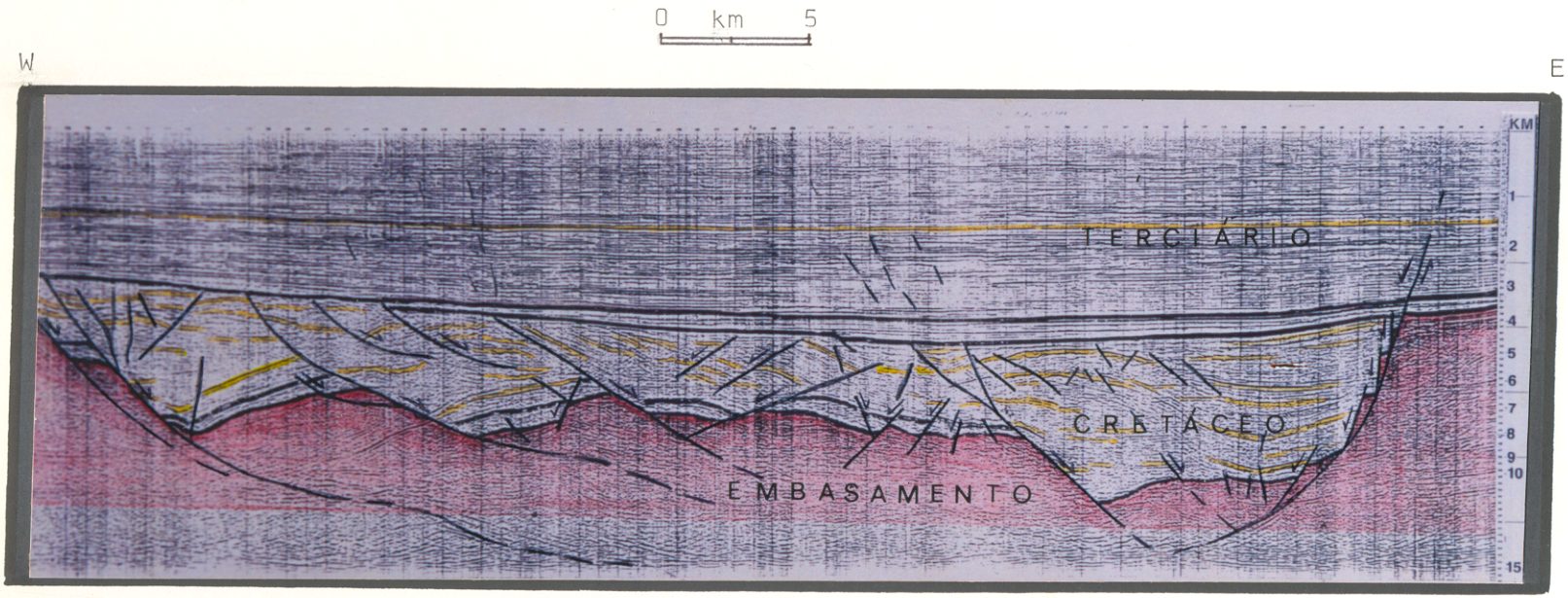

FIG.27-Linha sísmica transversal ao bloco I da sub-bacia de Limoeiro. Trata-se de um exemplo caracterizado por estruturas extensionais (lado oeste) e direcionais (lado leste). Ver localização na Figura 9.

O lado leste do bloco é caracterizado por um feixe de falhas de alto ângulo que se ajustam geometricamente aos feixes transcorrentes NE-SW da sub-bacia de Mexiana. Por esta razão, entende-se que as falhas inclinadas para SW devem ter acomodado e assimilado importante movimentação direcional, porém a movimentação extensional foi mais expressiva segundo atestam os deslocamentos dos prismas do embasamento na ordem de 3 km e a grande espessura dos sedimentos associados. Nesta região existem também falhas menores (Figura 27) com mergulhos fortes a moderados para leste, que se juntam a falha principal de alto ângulo sugerindo a existência de uma estrutura em "flor negativa". Este mesmo arranjo geométrico tipo 'flor negativa", pode ser visualizado com mais detalhes na Figura 28, onde se vê inclusive que a falha principal se propaga também na seqüência terciária. Verifica-se ainda, que imediatamente acima do segmento mais suave da falha principal (parte central do embasamento), a uma profundidade de 11 km, a seqüência cretácica desenha uma estrutura antiformal, porém, à medida que se caminha em direção ao topo da seqüência, ou seja, no segmento mais empinado da falha, a estruturação dominante no preenchimento sedimentar é uma sinforma. As falhas menores de alto ângulo, que ajudam a definir a estrutura em flor, são vistas com maior clareza nesta Figura.

Entende-se, portanto, que este bloco inclui estruturas extensionais na parte oeste e estruturas direcionais na parte leste, que podem ter-se desenvolvido em pulsos de movimentação distintos. Como a estruturação transcorrente afeta também a seqüência terciária, ela pode ser um pouco mais nova do que o sistema extensional na evolução deste bloco.

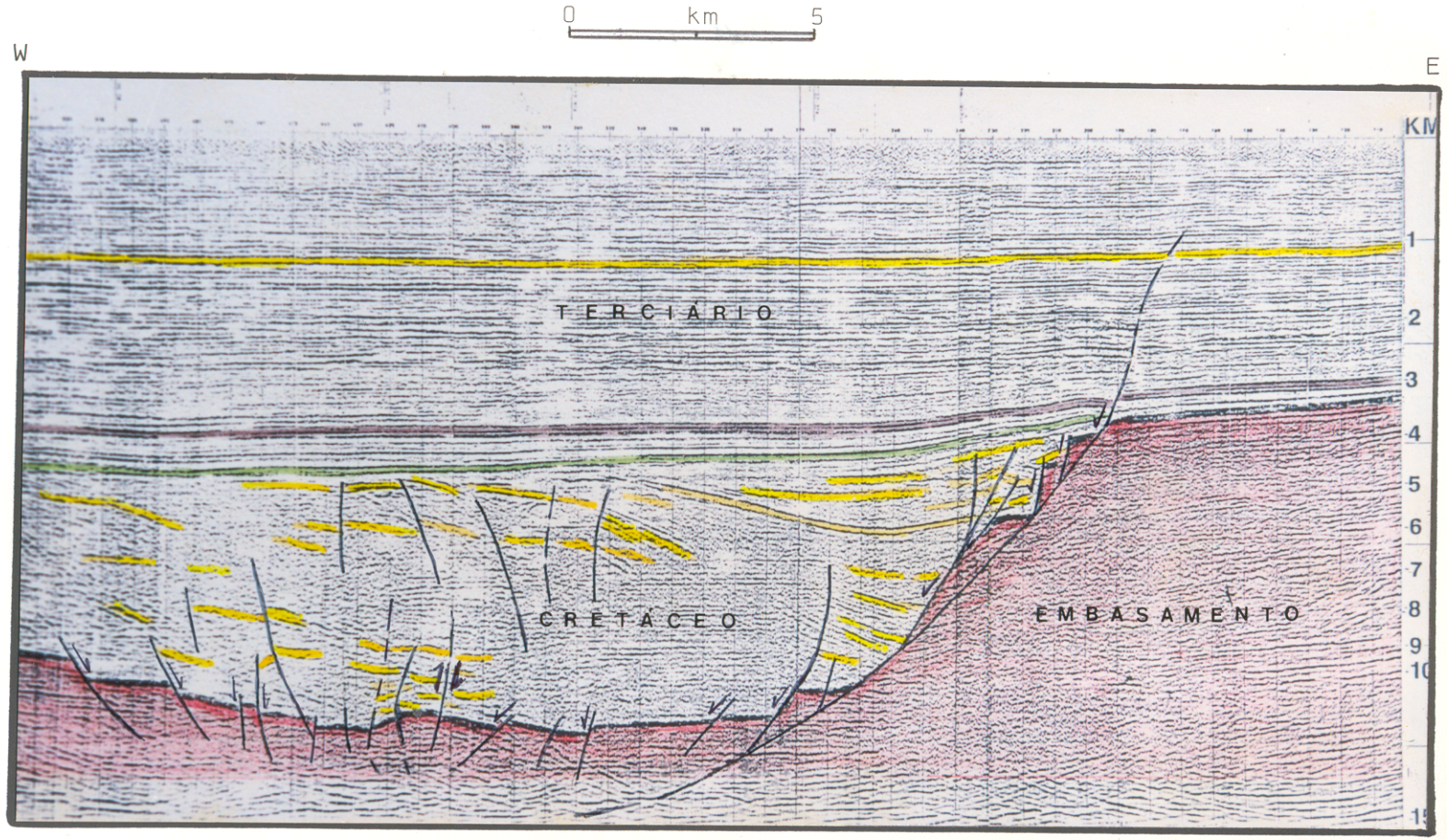

FIG.28-Seção sísmica transversal ao bloco I da sub-bacia de Limoeiro. O quadro estrutural da seção mostra estruturas transtensivas representadas por falhas normais de alto ângulo. Ver localização na Figura 9.

4.3.2.2- Bloco II

O bloco II situa-se imediatamente ao sul do bloco I, entre os lineamentos de Chaves e Anajás (Figura 26). A sua interpretação geométrica foi alcançada a partir de duas linhas sísmicas transversais à estruturação principal, passando nos lados oeste (Figura 29) e leste (Figura 30) da sub-bacia. O arranjo estrutural da parte oeste é definido sobretudo por três feixes de falhas lístricas que adquirem posição sub-horizontal a 14 km de profundidade, juntando-se provavelmente a um plano de descolamento. Considerando-se os deslocamentos do topo do embasamento, estima-se rejeitos variando de 1 a 3 km. As falhas antitéticas, inclinadas para oeste, não são expressivas e ocorrem associadas ao alto do embasamento na parte central da seção. A estruturação tipo "roll-over" está relativamente bem definida no feixe situado no extremo oeste do bloco e, no restante da seção, acha-se modificada pelas demais falhas indicando que a evolução desse sistema estrutural deve ter envolvido abatimento sistemático do teto, a exemplo do que se verifica na parte oeste do bloco I. A direção das falhas lístricas no extremo oeste é semelhante a das estruturas no bloco I, NE-SW. Porém, após a transcorrência do Arari, parte sul do bloco, as falhas lístricas voltam-se para a direção NW-SE (Figuras 12 e 25). A geometria do lado leste do bloco II é mostrada na Figura 30. No extremo oeste do perfil verifica-se ainda a presença de falhas lístricas sintéticas semelhantes às descritas na parte oeste do bloco (Figura 29). Porém, no restante da seção, em direção a leste, dominam falhas lístricas e planares inclinadas para SW, e são interpretadas como feições antitéticas. Destaca-se ainda o feixe de zonas lístricas no extremo leste do perfil ao qual se associam deslocamentos da ordem de 2.5 km. Essas zonas lístricas orientam-se na direção NW-SE, paralelas ao padrão geral das estruturas da sub-bacia de Limoeiro.

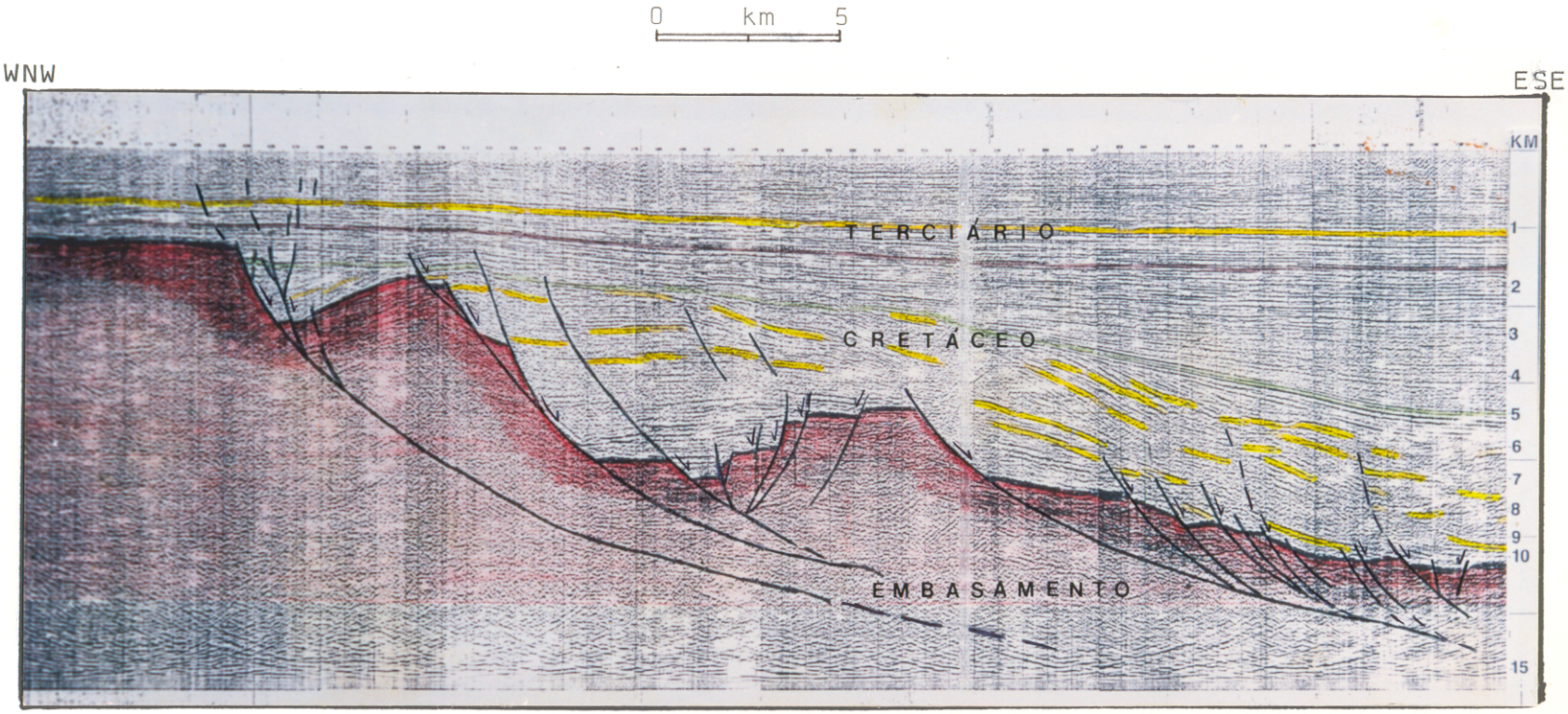

FIG.29-Seção sísmica transversal ao bolco II da sub-bacia de Limoeiro. O quadro geométrico é expresso por três feixes de falhas lístricas que atingem grandes profundidades. A evolução do sistema estrutural associam-se deslocamento de blocos e formação de estruturas tipo "roll-over". Ver localização na Figura 9.

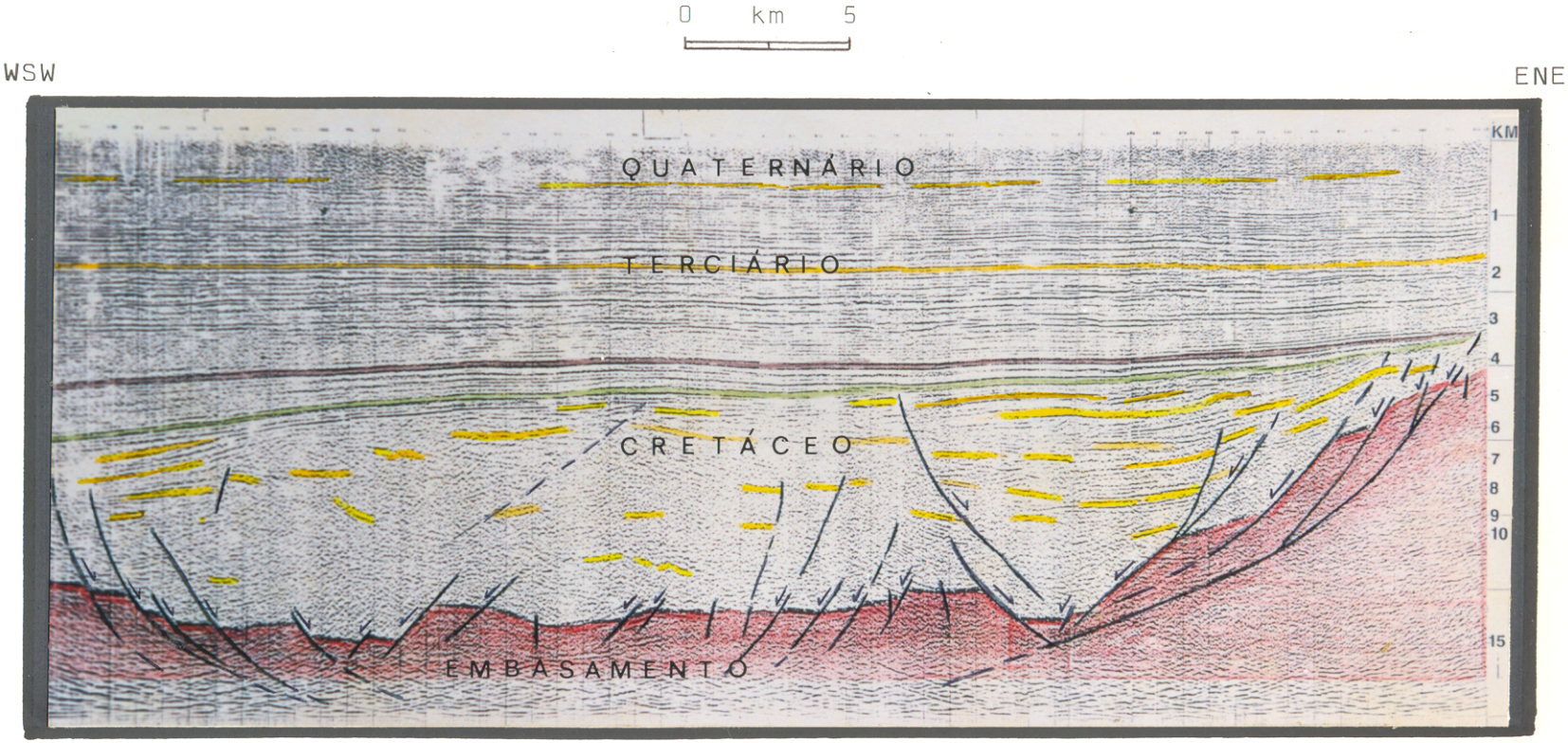

FIG.30-Seção sísmica transversal ao bloco II da sub-bacia de Limoeiro. A seção mostra evidências de estruturas extensionais, com falhas normais lístricas sintéticas no lado oeste e antitéticas no lado leste. Ver localização na Figura 9.

Quando se analisa em conjunto as duas secões (Figuras 29 e 30) pode-se deduzir que a geometria geral do bloco II inclui dominantemente um sistema lístrico sintético que interage com um sistema antitético no extremo leste. Como a movimentação ao longo das falhas do extremo leste é expressiva, a arquitetura geral do bloco II é de uma sub-bacia fortemente simétrica.

4.3.2.3- Bloco III

Este bloco situa-se na parte central da sub-bacia de Limoeiro, é limitado pelos lineamentos Anajás e Pará (Figura 26), e tem suas estruturas voltadas dominantemente para NW-SE. O arranjo estrutural é composto por três sistemas de estruturas (Figura 31). As partes oeste e central do bloco são definidas por vários conjuntos de falhas lístricas e planares inclinadas suavemente para leste. As falhas lístricas no extremo oeste se ajustam a descolamentos sub-horizontais, próximos a 14 km de profundidade e os rejeitos associados são da ordem de 1 a 3 km, e apresentam uma estrutura do tipo "roll-over" associada.

A parte centro-leste do bloco compreende um sistema de falhas lístricas e planares inclinadas para oeste, e são entendidas como pertencentes a um sistema antitético associado ao desenvolvimento das falhas sintéticas do lado oeste do bloco. Os rejeitos verificados não são expressivos, provavelmente porque tais falhas tornam-se sub-horizontais em profundidades relativamente pequenas no âmbito do embasamento.

O extremo leste do bloco é definido por falhas lístricas e planares inclinadas para leste e com pequenos deslocamentos associados, desaparecendo gradativamente em direção ao extremo leste.

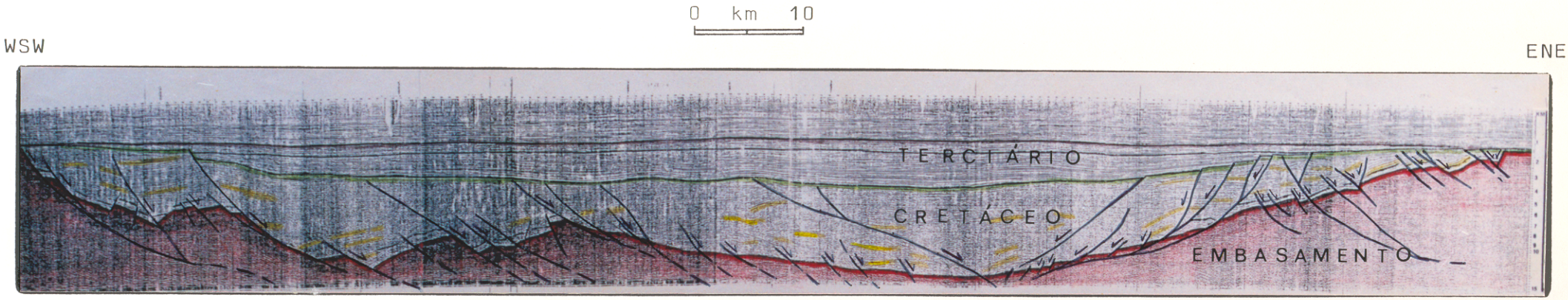

FIG.31-Seção sísmica transversal ao bloco III da sub-bacia de Limoeiro. O quadro estrutural da seção é formado por estruturas extensionais, caracterizado sobretudo por três sistemas diferentes de falhas que evoluiram de oeste para leste. Ver localização na Figura 9.

A análise integrada dos dados apresentados sugere que o desenvolvimento desse bloco inicia com a individualização do sistema lístrico da parte oeste e progride com o estabelecimento das zonas antitéticas em direção a leste. Como os sistemas adquirem rapidamente a posição sub-horizontal, implicando em alta resistência ao deslocamento, a movimentação foi acomodada no extremo leste do bloco através de um novo sistema sintético.

4.3.2.4- Bloco IV

Este bloco localiza-se a sul do bloco III, entre os lineamentos Pará e Limoeiro (Figura 26). A estruturação deste bloco é composta essencialmnente por falhas lístricas e planares suavemente inclinadas para leste e com pequenas zonas antitéticas associadas (Figura 32). Tais feixes de falhas devem se ajustar a um plano de descolamento sub-horizontal a 18 km de profundidade. A presença de um par sinformal-antiformal na parte central da seção (Figura 32) provavelmente está associado a presença de um lanço (rampa) no plano de descolamento em profundidade.

Verifica-se também que a estruturação interna do preenchimento encontra-se fortemente modificada pela propagação das zonas de falhas em direção a leste, sugerindo que a evolução desse sistema, a exemplo dos demais blocos, foi a partir do calapso do teto.

Trata-se, portanto, de uma arquitetura fortemente assimétrica devida à ausência dos sistemas antitéticos no lado leste.

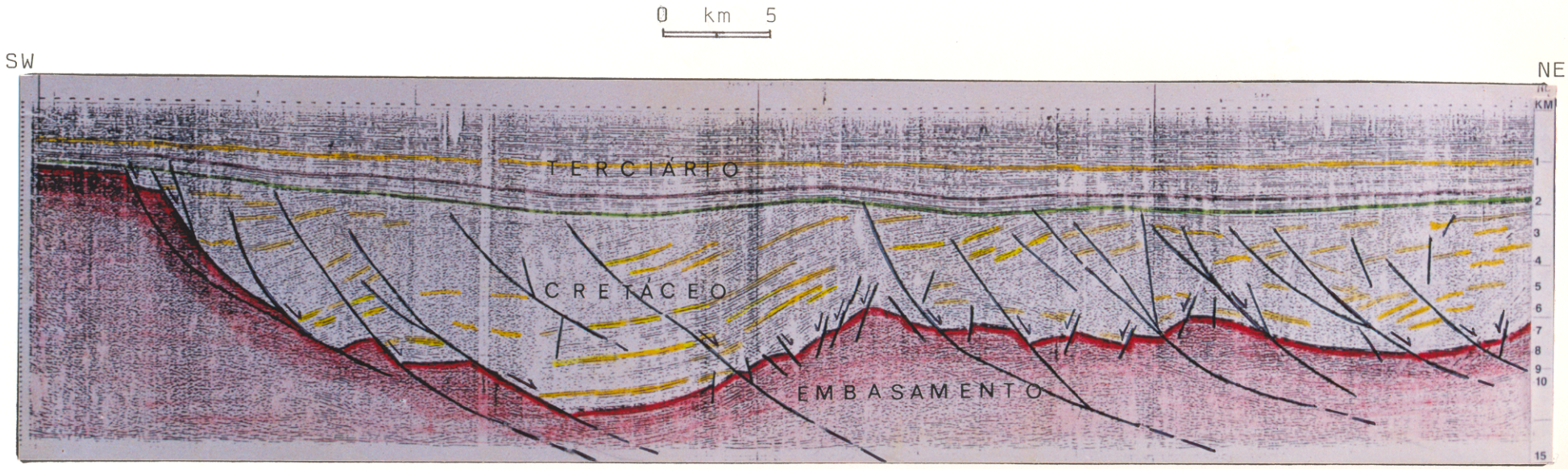

FIG.32-Seção sísmica transversal ao bloco IV da sub-bacia de Limoeiro. A estruturação do bloco mostra um arranjo geométrico bastante assimétrico, com falhas normais lístricas (sintéticas) inclinadas para NE. Ver localização na Figura 9.

4.3.2.5- Bloco V

Este bloco situa-se na parte sul da sub-bacia de Limoeiro, entre os lineamentos Limoeiro e Tocantins (Figura 26). A arquitetura estrutural geral do bloco é definida por dois feixes de falhas lístricas, observadas nas partes sudoeste e nordeste da seção (Figura 33). No extremo sudoeste, caracteriza-se um sistema sintético de falhas lístricas suavemente inclinadas para NE, com um sistema antitético de falhas lístricas, mergulhando para SW, associado. Esse quadro geométrico se repete na outra metade do bloco, com sistemas sintéticos e antitéticos. Portanto, definem-se nessa região dois depocentros separados por um alto do embasamento na região central do bloco. Nesse contexto, cada depocentro é desenvolvido pelos sistemas sintéticos e antitéticos das falhas lístricas, formando duas estruturas com arranjos simétricos.

A análise integrada dos dados estruturais, sugerem que os planos de deslocamentos das falhas principais inclinadas para NE, adquiriram rapidamente posições sub-horizontais a profundidades relativamente pequenas no embasamento. Nesse sentido, entende-se que a movimentação dos sistemas sintéticos foi mais ativo do que os antitéticos.

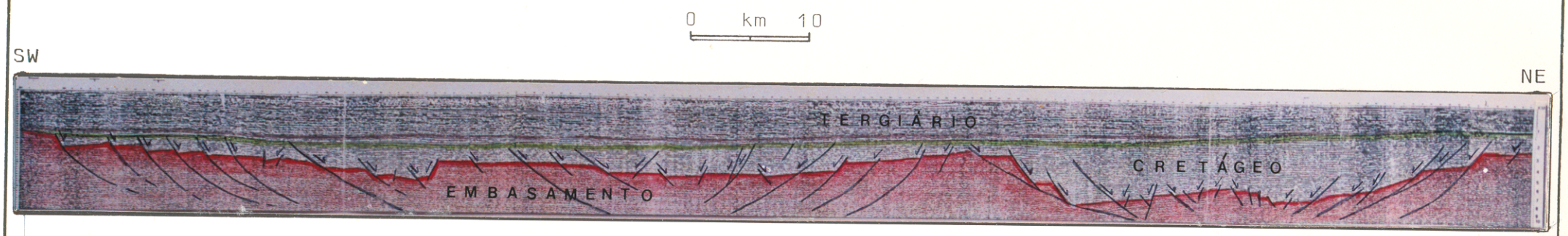

FIG.33-Seção sísmica transversal ao bloco V da sub-bacia de Limoeiro. O quadro estrutural mostra desenvolvimento de estruturas extensionais caracterizado por dois feixes de falhas normais lístricas com profundidades relativamente pequenas. O quadro geométrico é definido por dois depocentros simétricos separados por um alto de embasamento. Ver localização na Figura 9.

4.3.3- **Projeção das transcorrências nos blocos I, II e III.**

Com base nas informações de duas secões sísmicas perpendiculares às secões descritas nos blocos I e II (Figuras 9, 26, 27, 29, 30 e 31), verifica-se que a geometria das falhas transcorrentes que separam os diversos blocos apresentam um tipo particular de estruturação (Figuras 34 e 35). O perfil da Figura 34 é transversal a falha transcorrente de Ararí e Anajás projetando-se principalmente nos blocos II e III (Figura 26), onde se verificam sobretudo estruturas subverticais diferindo das estruturas que delineiam os arranjos geométricos dos blocos. O outro perfil (Figura 35) mostra a geometria das falhas transcorrentes de Chaves e Ararí, separando os blocos I e II respectivamente, no qual se apresentam falhas subverticais e estruturas secundárias associadas as falhas transcorrentes.

Tais falhas são interpretadas como zonas compartimentais (Anajás e Chaves) e de transferência (Ararí), as quais, devem ter tido vida longa, uma vez que elas também afetam a seqüência terciária.

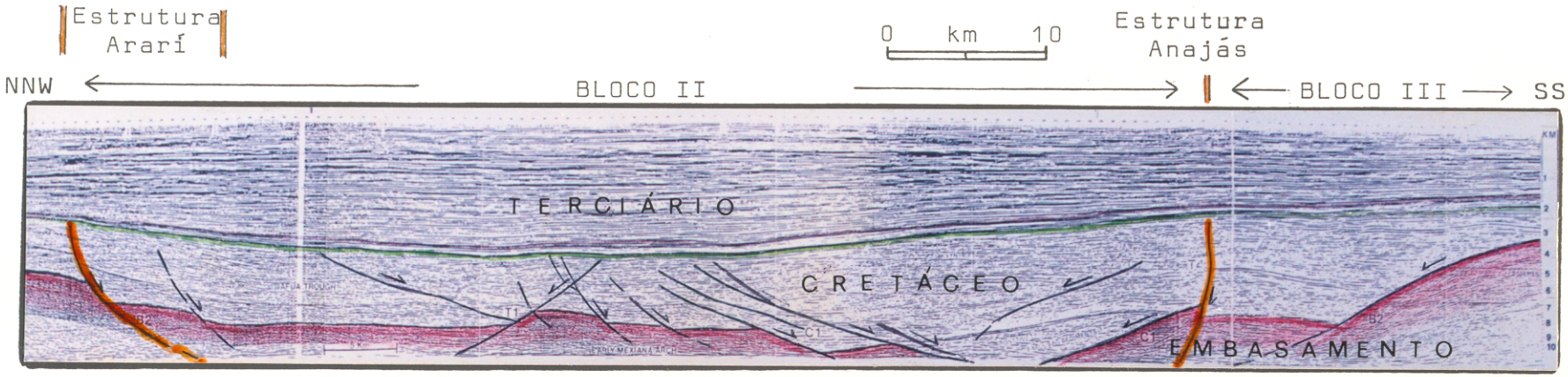

FIG.34-Seção sísmica perpendicular às seções transversais dos blocos II e III da sub-bacia de Limoeiro. O quadro estrutral define a geometria das falhas transcorrentes NE-SW de Araríi e Anajás. Ver localização na Figura 9.

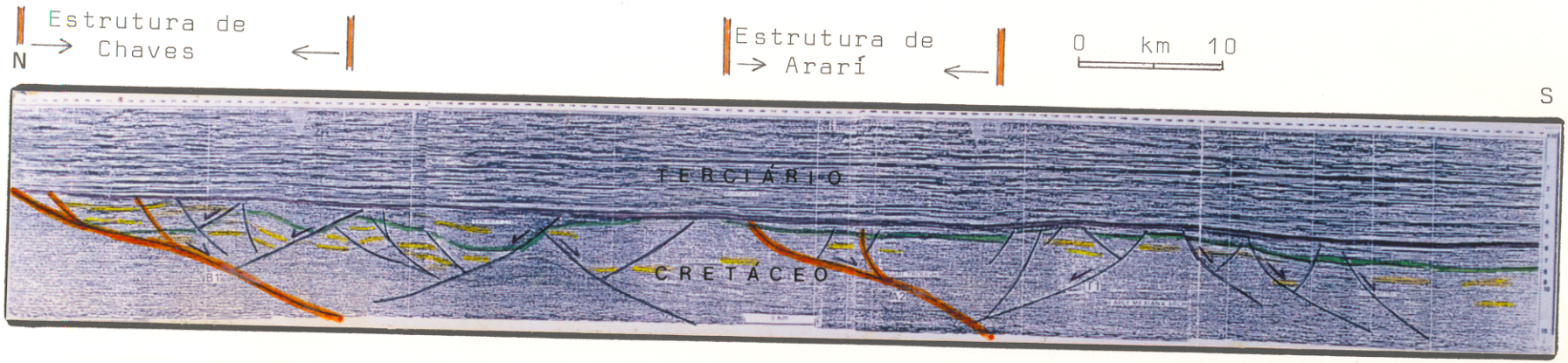

FIG.35-Seção sísmica perpendicular às seções transversais dos blocos I e II da sub-bacia de Limoeiro. O quadro estrutral refere-se à geometria das falhas transcorrentes de Chaves e Araripe. Ver localização na Figura 9.

4.4 - SUB-BACIA DE CAMETÁ

4.4.1 - **Introdução**

A sub-bacia de Cametá situa-se na parte sul da Bacia de Marajó, possui uma forma alongada nas direções NW-SE e WNW-ESE (Figura 10), limita-se a norte com a sub-bacia de Limoeiro através da falha transcorrente de Tocantins , a sul, com o Arco Tectônico de Tocantins , a leste , com a Plataforma Bragantina e a oeste com a sub-bacia de Mocajuba . Possui comprimento aproximado de 150 km e largura de 100 km entre as bordas WNW e ESE.

Com base nas informações obtidas, através de dados sísmicos, a direção das falhas lístricas se ajusta ao "trend" regional da estruturação principal NW-SE da Bacia de Marajó (Figura 36).

4.4.2 - **Principais elementos estruturais**

O arranjo estrutural da sub-bacia pode ser visualizado nos lados leste das Figuras 37-CA, 38-CB e plenamente nas Figuras 39 e 40. A observação conjunta dos principais elementos estruturais, falhas lístricas e falhas transcorrentes, permite a distinção de três blocos com geometrias similares. Essa diferenciação geométrica dos blocos é com base na presença de zonas compartimentais e de transferência na sub-bacia, as quais se expressam pelos lineamentos de Carapajó e Santa Rosa, respectivamente (Figura 12). Esses compartimentos apresentam, de modo geral, um arcabouço estrutural quase similar, com as falhas lístricas e planares inclinadas para NE e com rejeitos que variam de 1 a 3 km. Somente em uma linha sísmica observou-se a presença de falhas antitéticas (Figura 37-CA). Em todos os casos analisados da sub-bacia, constata-se que os sistemas de falhas evoluiram de SW para NE, decorrentes do abatimento dos tetos das falhas mestras e/ou maior movimentação dos prismas ao longo dos planos de descolamento das falhas principais.

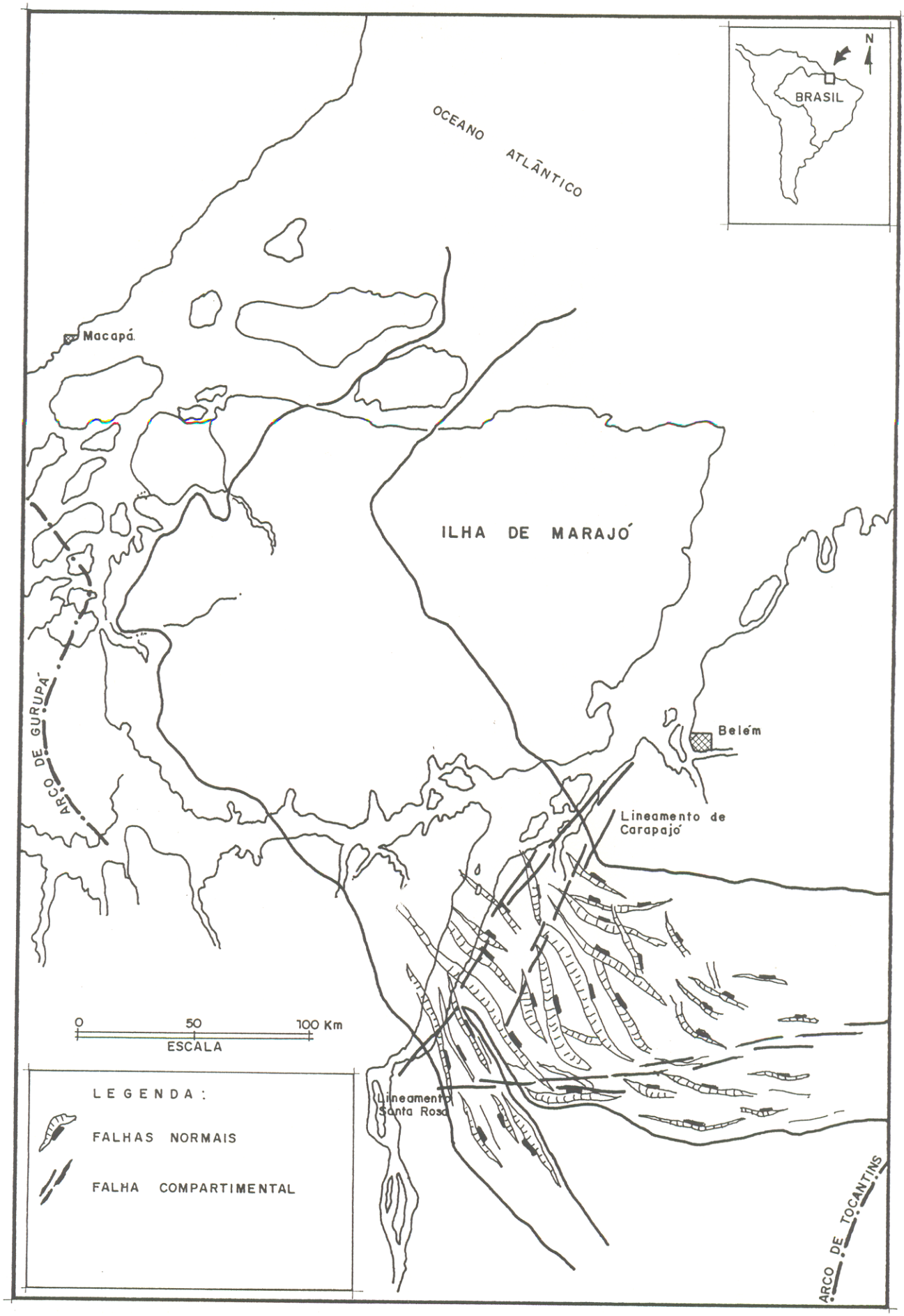

FIG:36-Mapa estrutural das sub-bacias de Cametá e Mocajuba, obtido por interpretação de linhas sísmicas. Modificado de TEBCO (1988b).



FIG.37-Seção sísmica transversal aos blocos norte das sub-bacias de Mocajuba e Cametá. O quadro estrutural da sub-bacia de Mocajuba é caracterizado por um arranjo geométrico assimétrico com falhas normais lístricas inclinadas para leste. A sub-bacia de Cametá apresenta uma geometria simétrica definida pela existência de falhas lístricas sintéticas e antitéticas. Ver localização na Figura 9.

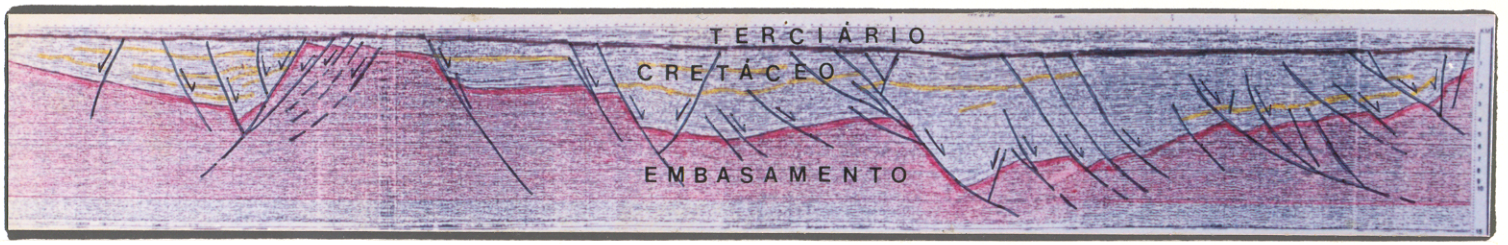

FIG.38-Seção sísmica transversal aos bocos sul e central das sub-bacias de Mocajuba e Cametá, respectivamente.A análise estrutural do bloco sul da sub-bacia de Mocajuba, indica a presença de estruturas do tipo extensional com arranjo geométrico moderadamente simétrico, com falhas normais lístricas evoluindo de NE para SW. No bloco central da sub-bacia de Cametá observa-se uma geometria assimétrica com falhas normais lístricas inclinadas para NE. Ver localização na Figura 9.

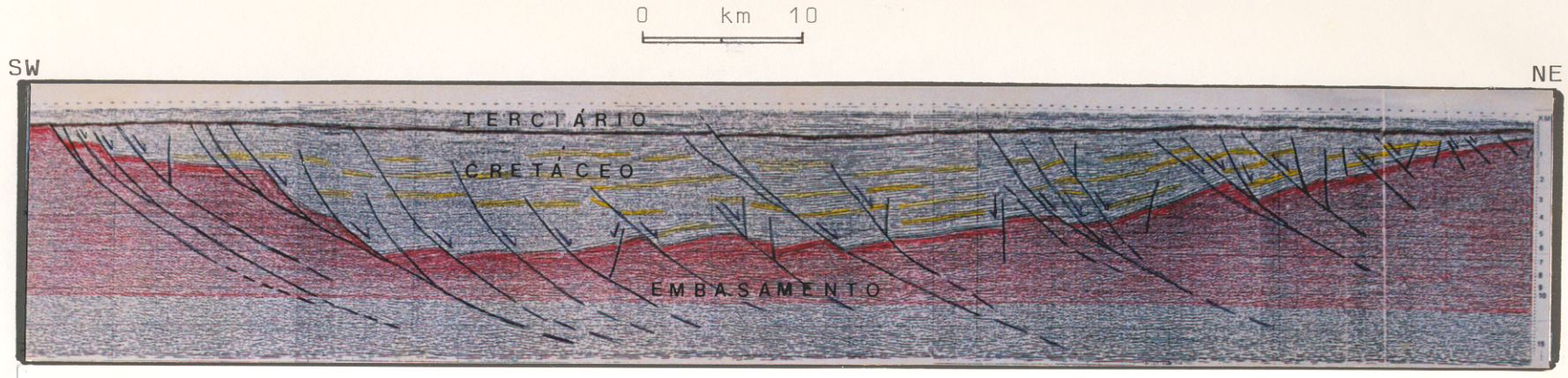

FIG.39-Seção sísmica transversal ao bloco central da sub-bacia de Cametá. O quadro estrutural é caracterizado por um arranjo geométrico fortemente assimétrico, na qual as falhas lístricas evoluiram de SW para NE. Ver localização na Figura 9.

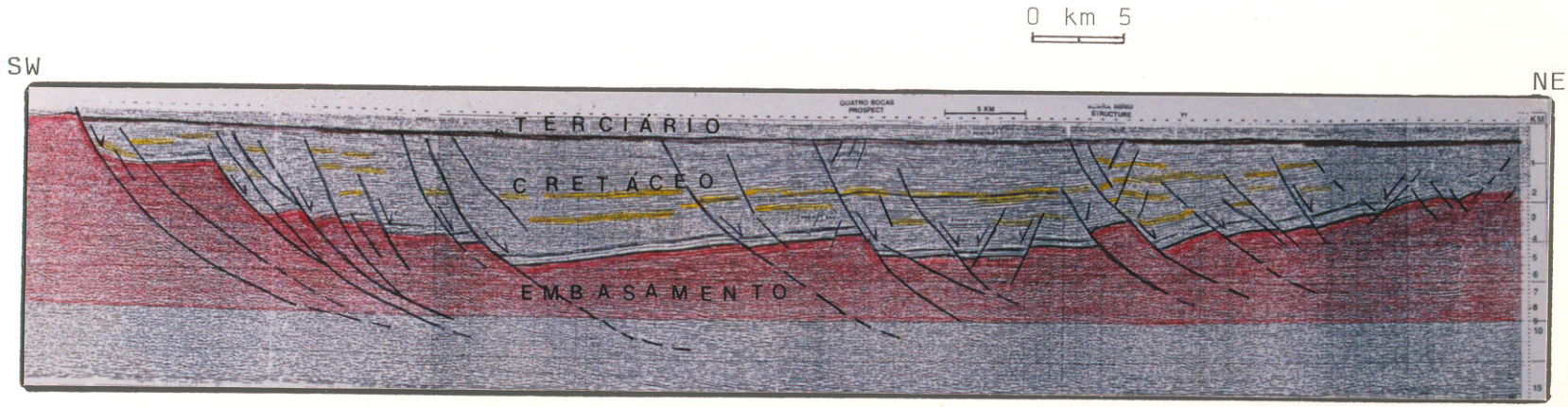

FIG.40-Seção sísmica transversal ao bloco sul da sub-bacia de Cametá. As estruturas desse bloco evidenciam uma arquitetura fortemente assimétrica, com falhas normais lístricas desenvolvidas de SW para NE. Ver localização na Figura 9.

A existência dos compartimentos ou blocos na sub-bacia se observa na linha sísmica (Figura 41) paralela ao eixo da sub-bacia, caracterizando-se a geometria das falhas compartimentais (Carapajó) e de transferência (Santa Rosa) , que possuem mergulhos verticais e subverticais, respectivamente. Na falha compartimental de Carapajó há desnivelamentos no embasamento cristalino e na parte das sequências rifte e pós-rifte. Na falha transferente de Santa Rosa, posicionada no centro da linha, os rejeitos subverticais são mais expressivos, impondo desnivelamentos superiores a 1 km do topo do embasamento.

4.5 - SUB-BACIA DE MOCAJUBA

4.5.1 - **Introdução**

A sub-bacia de Mocajuba localiza-se também na parte sul da Bacia de Marajó (Figura 10) , abrangendo uma faixa de 100 km de comprimento e 25 km de largura aproximadamente. Limita-se a norte com a sub-bacia de Limoeiro, a sul e a oeste com o Cinturão Araguaia, e a leste com a sub-bacia de Cametá.

A orientação geral da sub-bacia de Mocajuba se ajusta aos lineamentos submeridianos que compõem o Cinturão Araguaia.

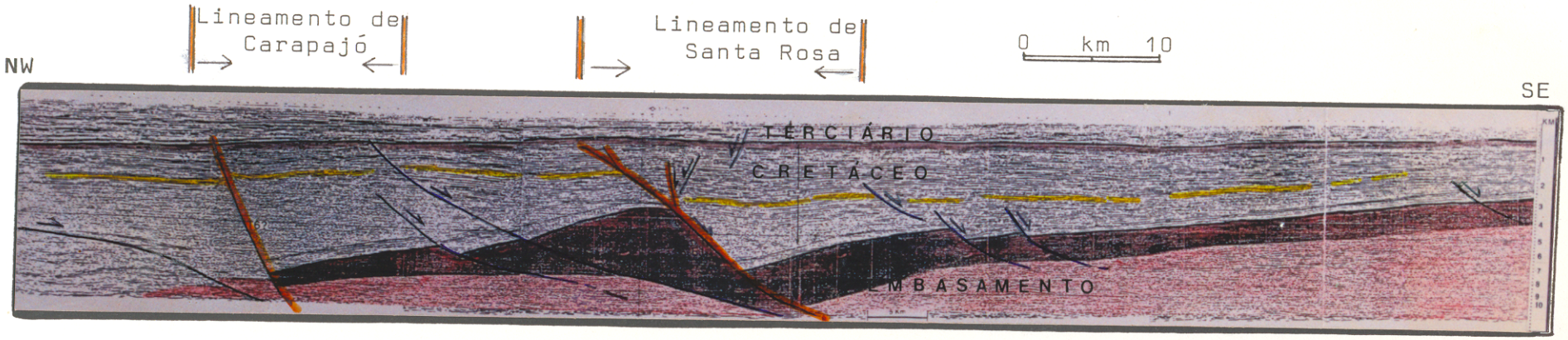

FIG.41-Seção sísmica perpendicular aos blocos norte e sul da sub-bacia de Cametá. Estruturalmente vê-se a geometria da falha compartimental de Carapajó (vertical) e a falha transferente de Santa Rosa (subvertical). Ver localização na Figura 9.

4.5.2 - **Principais elementos estruturais**

A área investigada através dos levantamentos sísmicos mostram que a sub-bacia é composta por dois blocos geometricamente distintos (Figuras 36, 37-MA e 38-MB). O bloco norte, visto através da parte sudoeste da linha sísmica apresentada na Figura 37-MA, é caracterizado estruturalmente por falhas planares e lístricas inclinadas para nordeste e com rejeitos da ordem de até 3 km, não havendo importantes falhas antitéticas associadas ao desenvolvimento do "roll-over". No bloco sul, as falhas mestras situam-se no lado nordeste da sub-bacia, mergulham para sudoeste, apresentam rejeitos de até 4 km e são planares. As falhas antitéticas planares relacionadas ao desenvolvimento desse setor, podem ser vistas na parte sudoeste da linha sísmica da Figura 38-MB. Vê-se, portanto, que os depocentros dos dois blocos acham-se espacialmente deslocados e devem ligar-se através de uma zona ou falha de transfrência ENE-WSW (Lineamento Santa Rosa), a qual pode ser vista na parte central da seção sísmica da Figura 41, perpendicular às seções descritas anteriormente, no âmbito da sub-bacia de Cametá.

A relação entre as sub-bacias de Mocajuba e Cametá é feita através de um alto do embasamento , no caso representado por rochas do Cinturão Araguaia, que adquirem orientação NNW-SSE nessa região. Nesse contexto, deduz-se que a sub-bacia de Mocajuba segue rigorosamente os traços gerais do Cinturão Araguaia, e a sub-bacia de Cametá segue a orientação geral NW-SE, associada aos lineamentos que se projetam da parte sudeste do Amapá, conforme será descrito adiante.

4.6 - DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS DIRECIONAIS NA BACIA DE MARAJÓ

Através da interpretação dos mapas estrutural, sísmico, de anomalia Bouguer, magnético e de isópacas foi possível reconhecer dois tipos de estruturas direcionais, denominadas de falhas compartimentais e de transferência, que seccionam e deslocam os depocentos dos diferentes blocos das sub-bacias de Limoerio, Cametá e Mocajuba (Figuras 12). Algumas dessas falhas permaneceram ativas até a época de instalação das unidades inferiores da sequência pós-rifte.

4.6.1 - **Falhas compartimentais**

Essas estruturas exerceram forte influência na evolução da Bacia de Marajó, possivelmente atuando como zonas de acomodação e subsidência durante a propagação das falhas normais. Tais falhas orientam-se nas direções NE-SW e ENE-WSW, destacando-se aquelas na parte central da bacia, as quais limitam os cinco blocos da sub-bacia de Limoeiro. A primeira falha é identificada como Lineamento de Chaves, com direção ENE-WSW (Figuras 12, 25, 26 e 35), e forma o limite entre os blocos I e II. Essa falha também caracteriza movimentação e desnivelamentos dos estratos da seqüência rifte. A segunda falha corresponde ao Lineamento de Anajás, que possui direção ENE-WSW na borda ocidental e NE-SW na borda oriental da Bacia de Marajó (Figuras 12, 25, 26 e 34), e forma o limite entre os blocos II e III da sub-bacia. A geometria dessa falha demostra forte movimentação horizontal, ocorrendo desnivelamento na seqüência rifte e no embasamento. A terceira falha é expressa pelo Lineamento do Pará, tem forte influência no desenvolvimento final da bacia, permanece ativa, em parte, até o inicio do Terciário na direção ENE-WSW (Figuras 12, 25 e 26), e atua como limite dos blocos III e IV. A quarta falha relaciona-se ao Lineamento de Limoeiro, tem direção NE-SW (Figuras 12, 25 e 26) e forma o limite dos blocos IV e V. Na parte sul da bacia, também existe uma falha compartimental, que delimita os blocos norte e sul da sub-bacia de Cametá. Essa falha

refere-se ao Lineamento de Carapajó, que possui direção NNE-SSW e mergulho subvertical (Figuras 12, 36 e 41).

4.6.2 - **Falhas transferentes**

Essas estruturas também acomodam parte da deformação na direção do estiramento máximo (GIBBS,1984) e na Bacia de Marajó são representadas pelos lineamentos Arari, Tocantins e Santa Rosa, ambos com direções NE-SW e ENE-WSW. Com base na observação sísmica e magnetométrica, deduz-se que essas falhas deslocam os depocentros das sub-bacias de Limoeiro, Cametá e Mocajuba (Figura 42). Geometricamente a falha transferente de Arari funciona como anteparo e impõe inflexão nas falhas normais da sub-bacia de Limoeiro. A importância dessa falha reside no fato de constituir um braço do sistema estrutural "en-echélon" da sub-bacia de Mexiana (Figura 17). A falha transferente de Tocantins projeta-se como um segmento direcional, constituindo um conjunto de falhas sub-paralelas na direção NE-SW, com movimentação sinistral (Figura 12). A falha transferente de Santa Rosa apresenta direção ENE-WSW e inclinação para SSE (figuras 12, 36, e 41), caracteriza forte movimentação direcional, impondo desnivelamento expressivo na seqüência rifte e no embasamento. Esta última, também se interliga à sub-bacia de Mocajuba, separando dois blocos, cujas estruturas principais estão espacialmente deslocados.

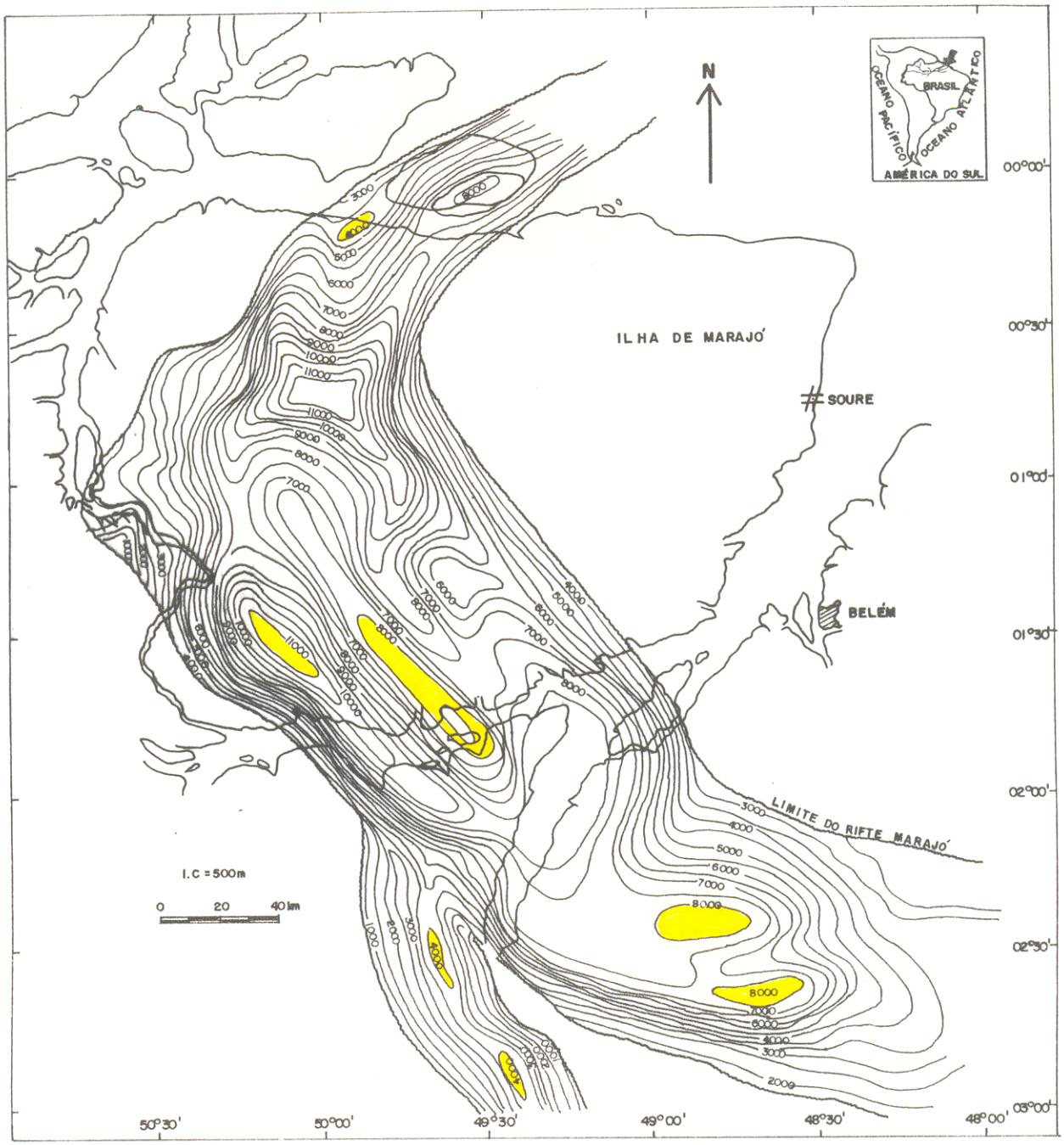

FIG.42-Mapa de isópacas, relacionada a profundidade da Bacia de Marajó, obtido por dados sísmicos e magnéticos, com intervalo de 1.000 m. Modificado de SANTOS (1988).

5 - RELAÇÃO DA BACIA DE MARAJÓ COM AS UNIDADES DO PRÉ-CAMBRIANO.

O quadro geológico do Pré-Cambriano da região centro-norte do Brasil, onde se encontra o conjunto de sub-bacias mesozóicas atribuídas a Bacia de Marajó, é caracterizado principalmente por unidades litológicas e estruturas pertencentes aos cinturões de cisalhamento Tumucumaque, Gurupí e Araguaia (Figura 43).

5.1 - CINTURÃO DE CISALHAMENTO TUMUCUMAQUE - CCT

O Cinturão de Cisalhamento Tumucumaque (LIMA et al., 1991), conhecido também como Cinturão Maroni-Itacaiunas (CORDANI et al., 1979), situa-se na região sudeste do Estado do Amapá e orienta-se preferencialmente na direção NW-SE.

Na constituição do CCT estão presentes faixas de rochas granulíticas alternadas com faixas de rochas supracrustais e gnaisses diversos migmatizados, além de corpos granitóides (Figura 44). As rochas granulíticas foram reconhecidas por SCARPELLI (1966) e VALE (1972) e receberam investigações sistemáticas através dos trabalhos de mapeamento geológico da CRPM (JOÃO et al., 1979), sendo incluidas nas Suítes Metamórficas Ananaí e Tartarugal Grande. Genericamente, as duas suítes incluem granulitos máficos, kinzigítos, enderbitos e charnockitos. Os gnaisses migmatizados, cujas composições variam de tonalítica a trondhjemítica, foram reunidos no Complexo Guianense (LIMA et al., 1974). As rochas supracrustais compõem o Grupo Vila Nova (LIMA et al., op cit), e expressam-se através de rochas meta-ultramáficas, meta-ácidas, formações ferríferas, quartzitos, micaxistos e metagrauvacas. Esse quadro litológico se repete em direção as regiões central e centro-norte do Estado do Amapá.

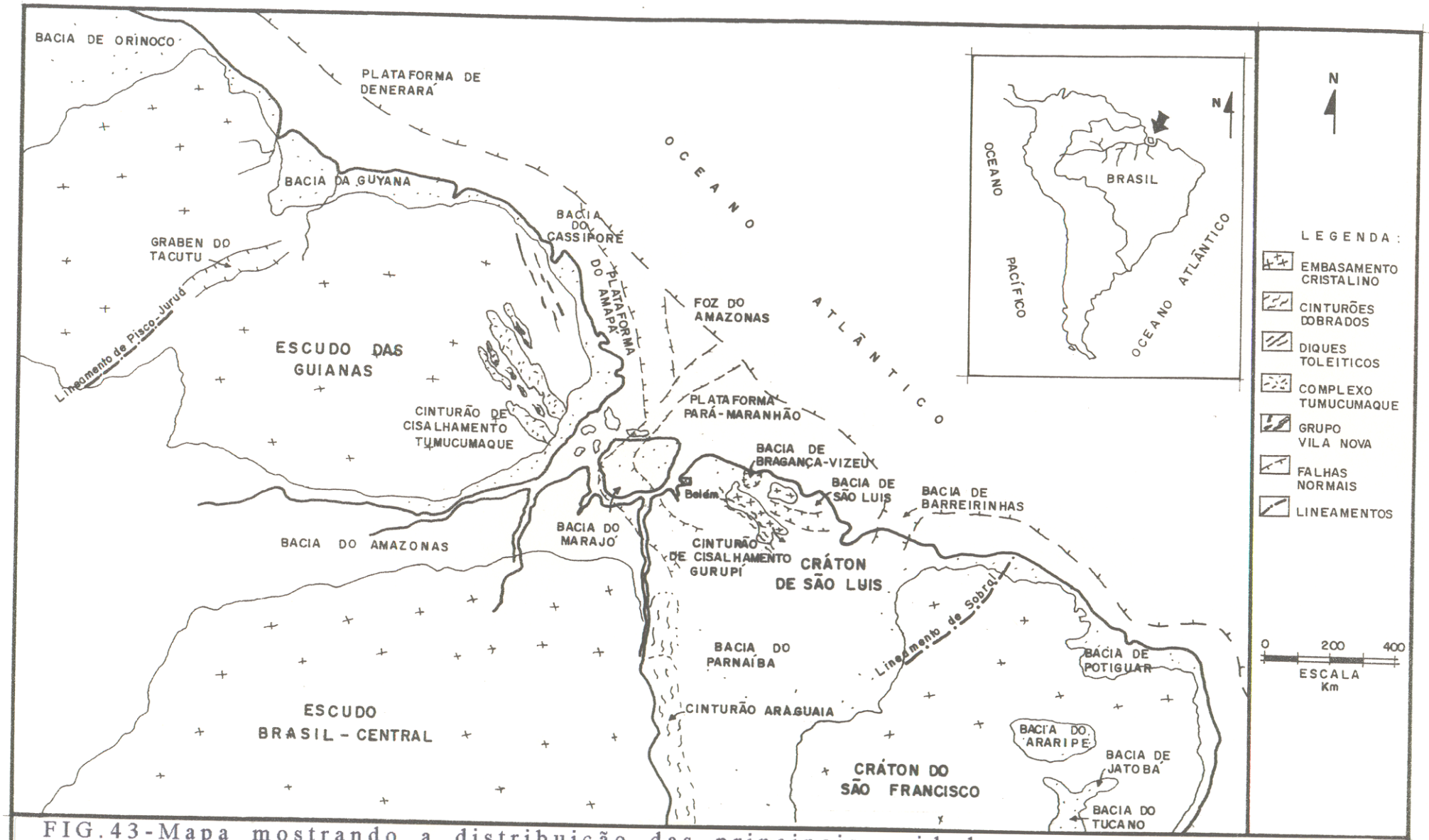

FIG.43-Mapa mostrando a distribuição das principais unidades tectono-estruturais do centro-norte do Brasil. Modificado de AVENIUS (1986)

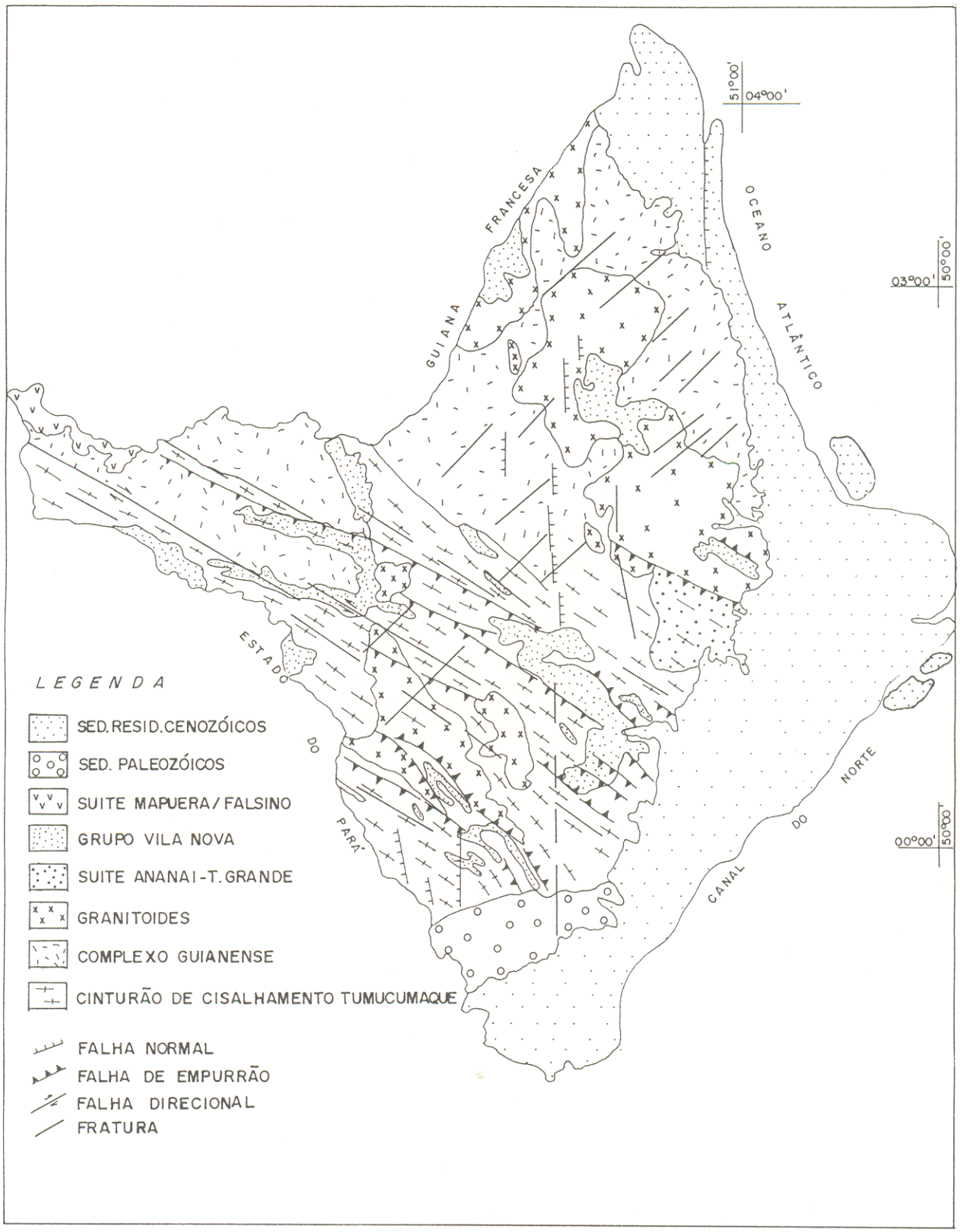

FIG. 44 - Mapa estrutural e litológico do Cinturão Tumucumaque. Modificado de RODRIGUES et al. (1989) e VEIGA et al. (1985).

Os dados estruturais ainda são precários no CCT, mas ja foi possível deduzir que o arranjo macroscópico é caracterizado por lentes e faixas de gnaisses de alto grau e de rochas supracrustais semelhantes ao padrão descrito em cinturões miloníticos de outras regiões do Brasil (COSTA, 1985; ARAÚJO et al., 1988). A estruturação interna das diversas unidades rochosas é caracterizada por uma foliação milonítica subvertical (JOÃO, informação verbal), cuja cinemática ainda não esta esclarecida. Por outro lado, na região do Cassiporé, sabe-se que o quadro estrutural compreende uma foliação milonítica NW-SE mergulhando para NE e uma lineação de estiramento com caimento para NE, sugerindo transporte de massas rochosas de NE para SW em um regime colisional (COSTA, informação verbal).

Em termos tectônicos, HASUI et al. (1984) e HASUI (1990) sugerem que o Cinturão Tumucumaque marca a região de articulação entre os blocos crustais Oiapoque e Maecurú e deve ser entendida como uma zona de colisão de massas continentais no final do Arqueano.

5.2 - CINTURÃO DE CISALHAMENTO GURUPI - CCG

O Cinturão de Cisalhamento do Gurupi orienta-se preferencialmente na direção NW-SE e é constituído por faixas de rochas supracrustrais incluidas no Grupo Gurupi (COSTA et al., 1977; ABREU et al., 1980; PASTANA & FARIA, no prelo), e de gnaisses tonalíticos migmatizados englobados no Complexo Maracaçume (C0STA et al., op cit; PASTANA & FARIA, op cit), por lentes de gnaisses granulíticos reunidos sob a denominação de Kinzigito Marijupema, além de granitóides deformados da suíte Tromaí (Figura 45). A estruturação do cinturão tem sido descrita nos ultimos anos (COSTA et al., 1988; BORGES et al., 1988; PASTANA & FARIA, no prelo) em termos de dois pulsos principais de movimentação. O primeiro pulso se expressa através de um sistema imbricado de zonas de cisalhamento tangenciais inclinadas para SW, as quais se associa uma lineação de estiramento com caimento para SW e WSW. A essa movimentação são relacionadas as zonas de cisalhamento transcorrentes NE-SW, interpretadas como rampas laterais. O pulso seguinte é materializado por um feixe de zonas de cisalhamento transcorrentes sinistrais e orientadas na direção NW-SE.

5.3 - CINTURÃO ARAGUAIA - CA

O Cinturão Araguaia é limitado a oeste e a leste pelas unidades litológicas do Cráton Amazônico e da Bacia do Parnaíba, respectivamente, orienta-se na direção N-S e engloba na sua constituição rochas metassedimentares reunidas no Supergrupo Baixo Araguaia (ABREU & HASUI, 1978), além de corpos máficos e ultramáficos (Figura 46). Em meio as rochas supracrustais, sobretudo na parte leste do cinturão, ocorrem porções de gnaisses migmatizados do Complexo Colmeia (COSTA, 1980).

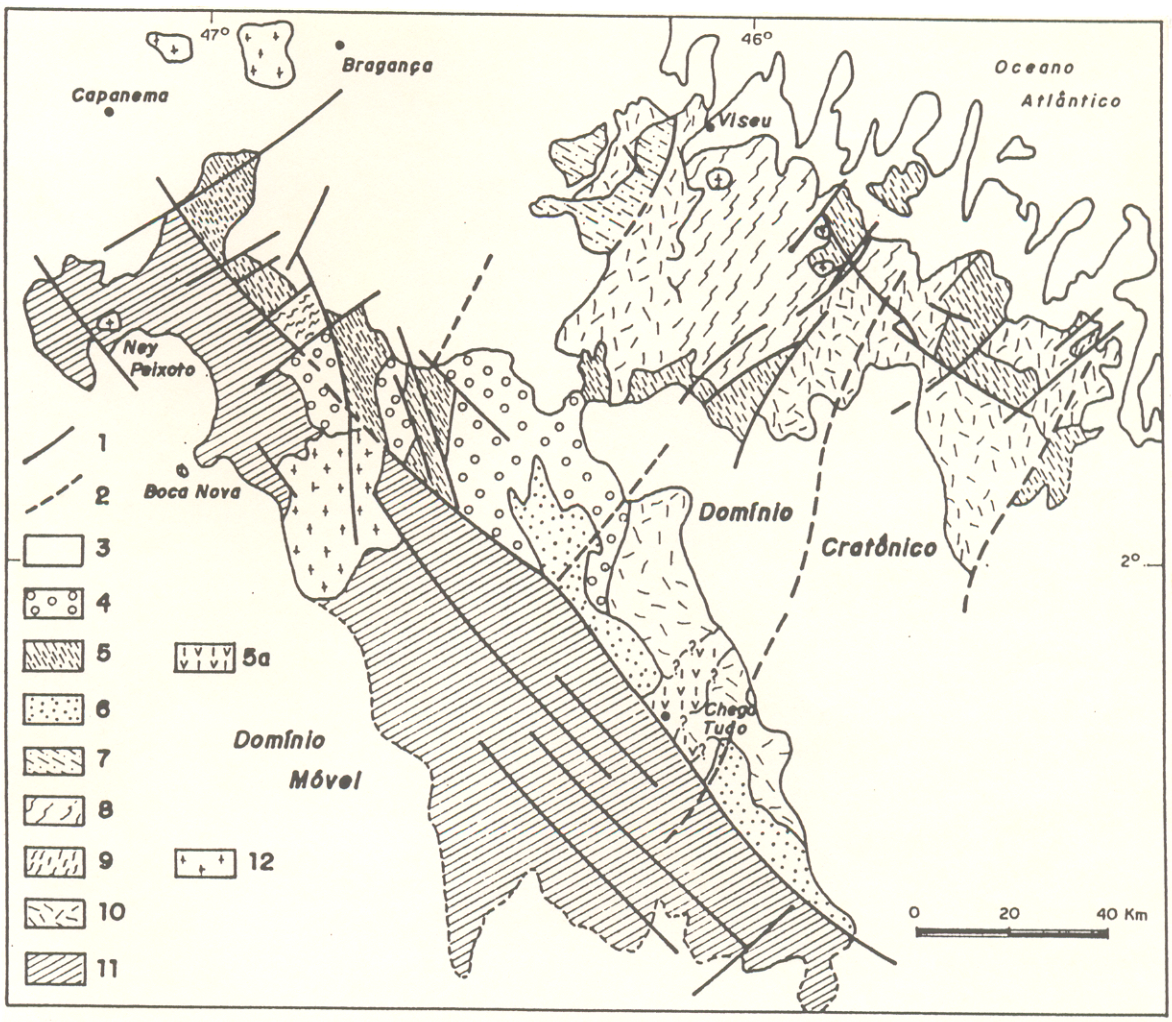

FIG. 45 - Esboço geológico da região do Gurupi. 1 - Zonas de cisalhamento e/ou falhas; 2 - Lineamentos importantes; 3 - Coberturas Fanerozóicas; 4 - Fm. Pirié - grauvacas, arenitos, folhelhos, conglomerados. Domínio Cratônico; 5 - Fm. Gurupi - filitos, ardósias, metatufos e raros quartzitos; 5a - Fm. Chega Tudo - conjunto vulcano-sedimentar; 6 - Fm. Igarapé de areia - arcóseos e arenitos grossos, leitos conglomeráticos; 7 - Fm. Vizeu - arenitos por vezes arcoseanos, metargilitos e ardósias; 8 - Fm. Tromaí - rochas intrusivas e extrusivas diversas - granitos; 9 - Fm. Santa Luzia - xistos diversos; 10 - Embasamento Pré-Transamazônico - Complexo Maracaçumé. Rochas graníticas e migmáticas s. l. Domínio Móvel; 11 - Rocha indiferenciadas retrabalhadas durante o Evento Brasiliano; 12 - Granitos transamazônicos. segundo ABREU et al. (1980) ABREU & LESQUER (1985)

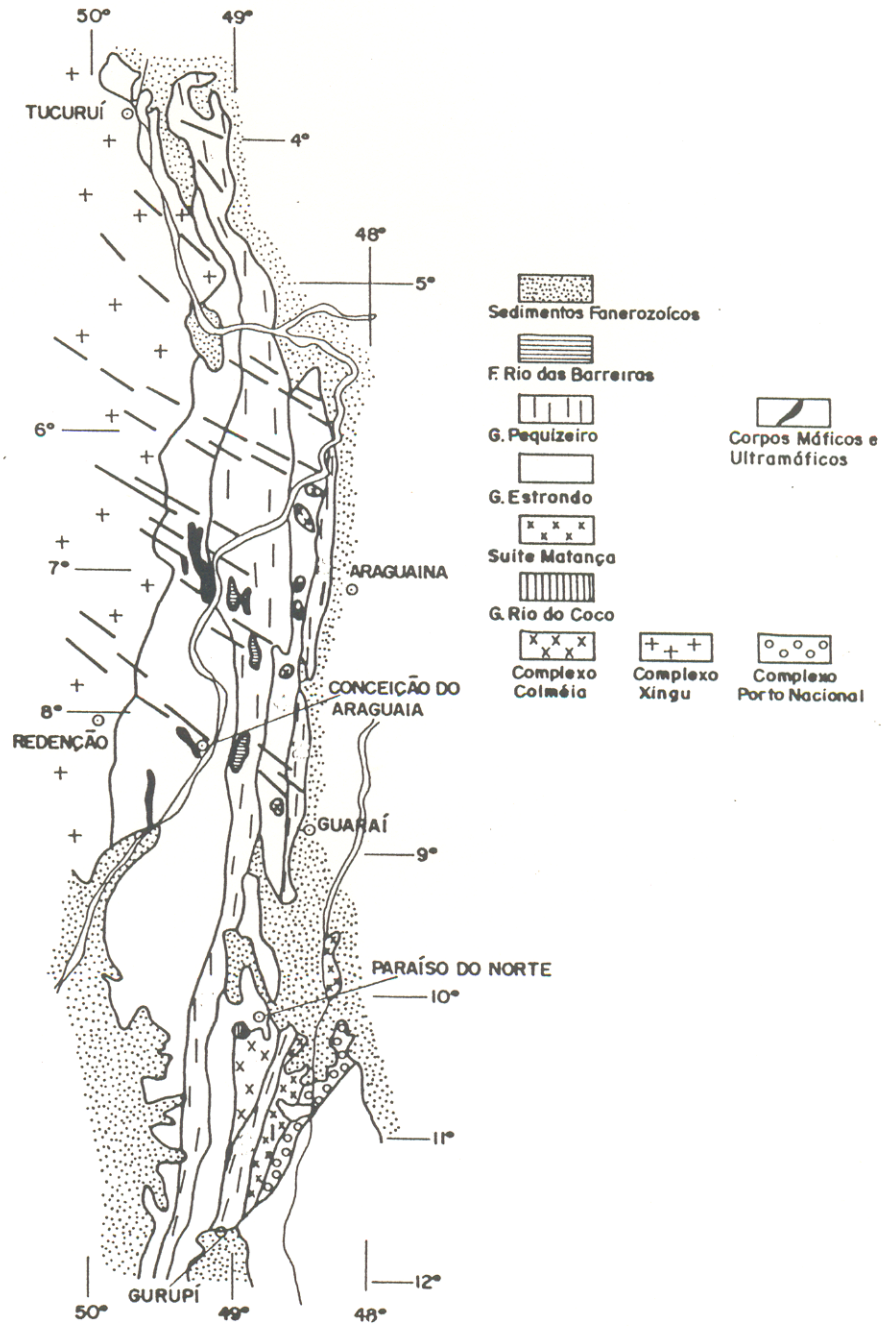

FIG.46-Mapa das principais unidades litológicas do Cinturão Araguaia. Segundo HASUI & COSTA (1990).

A evolução estrutural do CA é entendida através de dois movimentos principais (HASUI & COSTA, 1990). O primeiro movimento gerou zonas de cisalhamento tangenciais com mergulhos suaves para leste, as quais impuseram imbricação generalizada nos diversos conjuntos rochosos e forte transposição. Zonas de cisalhamento transcorrentes, orientadas na direção NW-SE e interpretadas como rampas laterais, acompanharam o desenvolvimento do sistema imbricado de zonas de cisalhamento tangenciais. A segunda movimentação formou novas zonas de cisalhamento tangenciais responsáveis pelo desenvolvimento de dobras no sistema imbricado inicial e soerguimento de rochas do embasamento na parte interna do cinturão. A esses movimentos associa-se uma lineação de estiramento inclinada para SE, indicando transporte de massas rochosas de SE para NW.

5.4 - RELAÇÃO DA BACIA DE MARAJÓ COM A ESTRUTURAÇÃO DO EMBASAMENTO

Sob o ponto de vista geofísico, os cinturões Tumucumaque, Gurupí e Araguaia são caracterizados por anomalias gravimétricas lineares e por um padrão magnético fortemente perturbado (HASUI et al., 1984; HASUI & COSTA, 1990). Tais assinaturas se repetem em diverssos cinturões no território brasileiro (HASUI et al., op cit). As anomalias gravimétricas lineares têm sido relacionadas à presença de rochas densas (rochas granulíticas) soerguidas da crosta inferior ao longo de zonas de cisalhamento tangenciais, e o padrão magnético fortemente perturbado reflete, em grande parte, a estruturação interna anastomótica dos corpos geológicos dentro dos cinturões de cisalhamento.

Quando se analisa o mapa de anomalia Bouguer da região da Bacia de Marajó e adjacências (Figura 47) verifica-se a existência de eixos de anomalias positivas alternadas com eixos de anomalias negativas, os quais, em alguns casos, não necessariamente coincidem com os depocentros das sub-bacias. Constata-se, portanto, que esse padrão de anomalias lineares NW-SE deve estar refletindo principalmente a organização estrutural dos corpos geológicos que compõem o embasamento das sub-bacias de Limoeiro e Cametá. A ausência de corpos geológicos magnéticos no contexto do preenchimento da Bacia de Marajó, também sugere que o padrão perturbado de anomalias magnéticas observado no mapa magnetométrico da Figura 48, é decorrente da estruturação e constituição do embasamento. Nessa concepção, entende-se que o embasamento das sub-bacias de Limoeiro e Cametá deve representar o prolongamento do CCT para sudeste, pelas seguintes razões:

1- É comum no CCT a alternância de faixas de rochas densas (rochas granulíticas) com rochas menos densas (gnaisses tonalíticos e rochas supracrustais), cuja assinatura gravimétrica corresponde a eixos alternados de anomalias positivas e negativas;

2- O arranjo estrutural macroscópico do CCT é definido por faixas irregulares e lentes de corpos geológicos de natureza distinta, o qual pode ser descrito no contexto do padrão anastomótico clássico dos cinturões de cisalhamento. Desse modo, a assinatura magnética fortemente perturbada deve estar refletindo o arranjo estrutural do CCT.

Nessa análise é importante destacar dois pontos:

1- No âmbito da sub-bacia de Mexiana, as assinaturas gravimétricas e magnetométricas do embassamento foram rotacionadas, em parte, para a direção NE-SW devido à atuação das transcorrências dextrais, sobretudo no Mesozóico.

2.Admite-se que as assinaturas gravimétricas e magnetométricas presentes na região, situadas a nordeste das sub-bacias de Cametá e Limoeiro poderiam representar, em parte, o prolongamento do CCG para noroeste.

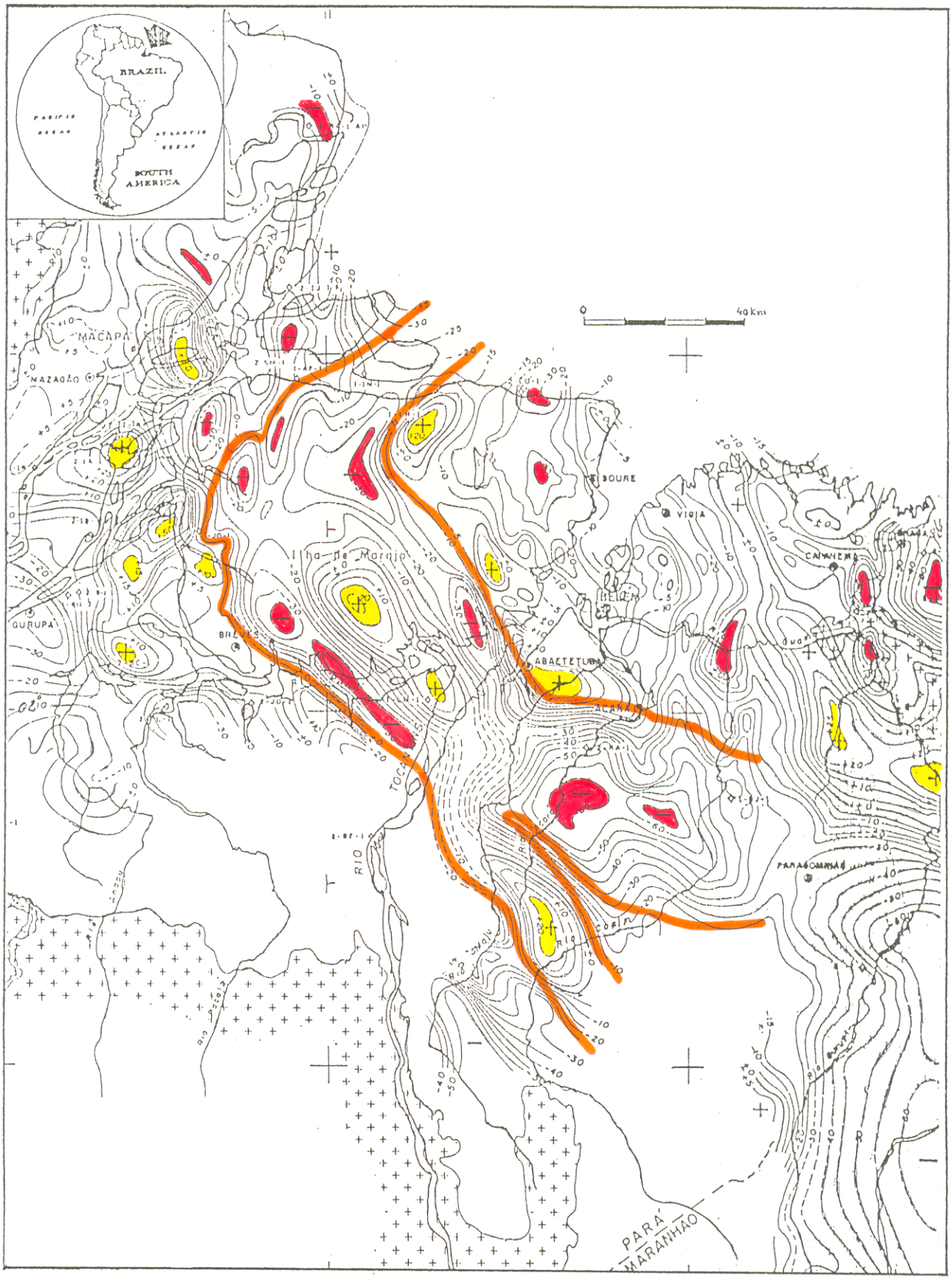

FIG.47-Mapa Bouguer simplificado da Bacia de Marajó, mostrando o reflexo da estruturação a nível de embasamento. Segundo PETROBRÁS (1986a)

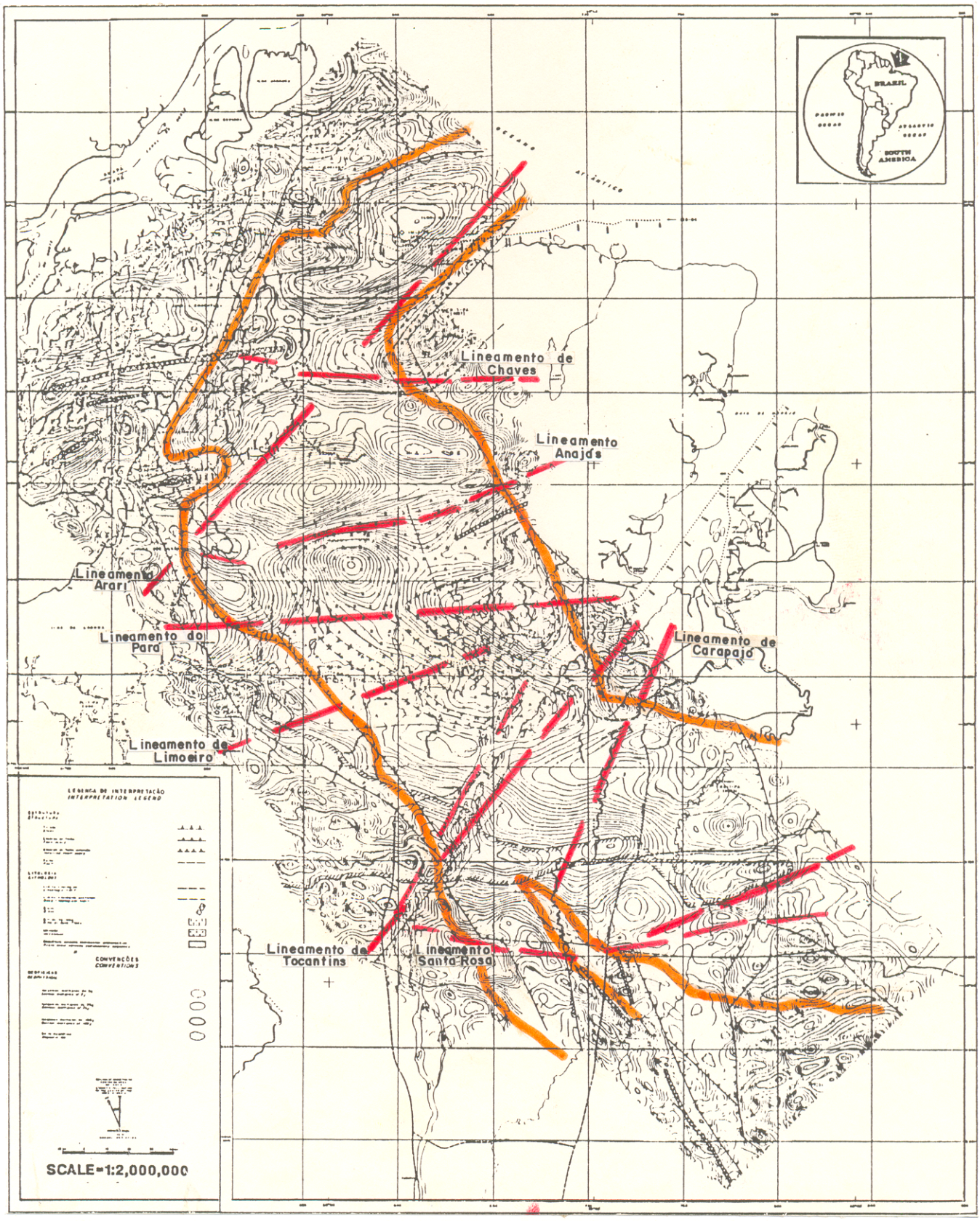

FIG.48-Mapa magnetométrico da Bacia de Marajó, mostrando diferentes níveis magnéticos relacionados ao comportamento estrutural da bacia. Segundo PETROBRÁS (1986a).

O mapa da Figura 46 mostra que as unidades litológicas e estruturais do CA, a partir do paralelo 5° S, adquirem orientação NNW-SSE e desaparecem, em direção a norte, sob os sedimentos da sub-bacia de Mocajuba.

Com base nos dados apresentados e discutidos no capitulo anterior e neste capitulo, pode-se concluir os seguintes aspectos sobre a relação entre o complexo de sub-bacias da Bacia de Marajó e as unidades geotectônicas que compõem o embasamento regional (figura 49):

1- As orientações das falhas normais sintéticas e antitéticas das sub-bacias de Limoeiro e Cametá devem ter sido controladas pelas estruturas miloníticas do CCT;

2- As falhas normais sintéticas das sub-bacias de Limoeiro e Cametá mergulham para NE, a exemplo de grande parte das zonas de cisalhamento do CCT. Nesse caso, a geometria das zonas de cisalhamento controlaram também a posição espacial dos sistemas de falhas sintéticas;

3- Os poucos dados estruturais disponíveis no CCT indicam transporte de massas rochosas de NE para SW (Sena Costa, informação verbal), de modo que é previsível a existência de zonas de cisalhamento transcorrentes NE-SW, as quais funcionaram como rampas laterais na evolução do embasamento. Nesse caso, as falhas transcorrentes NE-SW (compartimentais e de transferência), associadas ao desenvolvimento das sub-bacias de Limoeiro e Cametá, podem ter sido controladas pelas rampas laterais do CCT;

4- As variações geométricas dos arranjos estruturais ao longo da sub-bacia de Limoeiro, as quais permitiram a caracterização dos blocos I, II, III, IV e V, poderiam estar intimamente relacionadas a complexidade dos arranjos internos das zonas de cisalhamento tangenciais e transcorrentes do CCT;

5- As falhas transcorrentes mestras da sub-bacia de Mexiana podem ter evoluido a partir da reativação das rampas laterais do CCT.

6- As falhas normais que compõem parte da arquitetura da sub-bacia de Mocajuba se ajustam ao trende NNW-SSE da parte norte de CA;

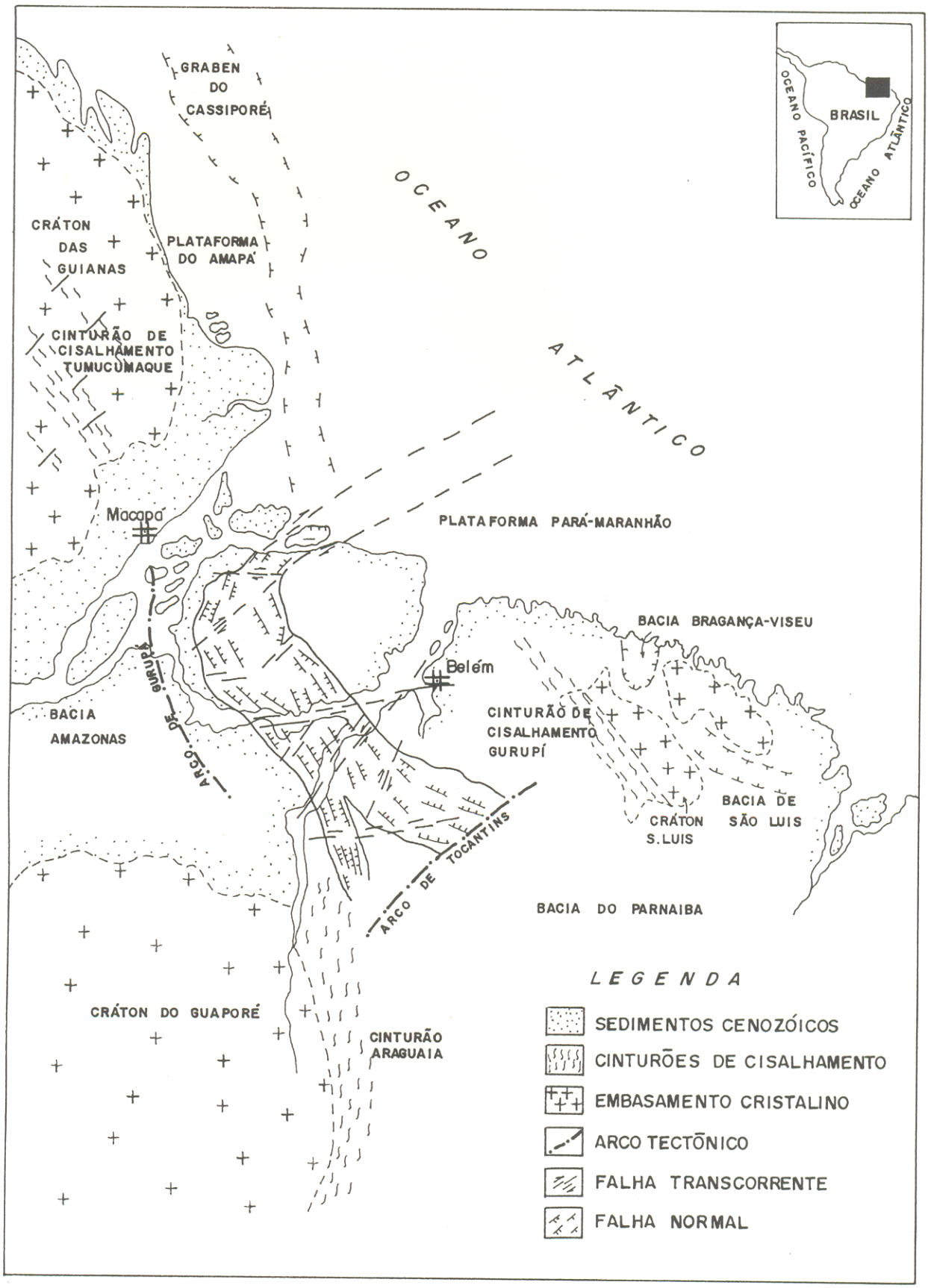

FIG.49-Mapa tectono-estrutural da Bacia de Marajó e áreas adjacentes que compõem o embasamento regional. Modificado de ENCAI (1985).

7- As diferenças estruturais verificadas entre os blocos norte e sul da sub-bacia de Mocajuba poderiam ser devidas também a variações geométricas ao longo das zonas de cisalhamento tangenciais do CA.

6 - EVOLUÇÃO TECTÔNICA DA BACIA DE MARAJÓ

A evolução tectônica da Bacia de Marajó pode ser entendida através de cinco fases cinemáticas.

PRIMEIRA FASE CINEMÁTICA

A primeira fase cinemática está ligada a um regime essencialmente extensional de carácter regional, responsável pela instalação das falhas normais de direções NW-SE e NNW-SSE (sintéticas), possivelmente desenvolvidas a partir da reativação das principais zonas de cisalhamento dos cinturões Tumucumaque, Gurupí e Araguaia, e provavelmente acompanhadas, em parte, pelas falhas transcorrentes de direções NE-SW e ENE-WSW (falhas de transferência e compartimentais).

Nesta primeira fase não há registros de grandes deslocamentos ao longo das falhas normais, expressos através da deposição de pacotes sedimentares delgados, em parte observados e definidos a partir da interpretação sísmo-estratigráfica, no lado esquerdo das Figuras 27 e 31. Por outro lado, admite-se que essas rochas sedimentares podem fazer parte da sequência paleozóica (Siluriano/Devoniano), pois estão restritas às porções basais da bacia (LIMA, 1987) e aos arcos de Tocantins e Gurupá, que, em parte, são correlacionáveis aos sedimentos dos grupos Serra Grande e Trombetas das bacias do Parnaíba e Baixo Amazonas, respectivamente.

Em termos globais essa primeira fase corresponde a separação inicial das placas Sul-americana e Africana.

SEGUNDA FASE CINEMÁTICA

Essa fase caracteriza o prosseguimento da movimentação extensional, desenvolvendo estruturas do tipo "roll-over" devido à progressiva propagação das falhas normais sintéticas para NE, com movimentos transcorrentes associados as falhas compartimentais e/ou de transferência.

Em termos gerais menciona-se que essa fase é a mais importante na abertura da bacia, ocorrendo o maior avanço dos sistemas lístricos para a direção NE, projetando-se as falhas mestras a profundidades máximas no embasamento.

Constata-se, por outro lado, que a progressão dos movimentos ao longo das falhas mestras, provocaram processos contínuos de sedimentação em zonas restritas que acolheram os sedimentos mais antigos de idade pré-barremiana (CARNES et al.,1989) e zonas extensas que favoreceram a instalação dos sedimentos de idade barremiano-aptiano (AVENIUS, 1988). Esse pacote sedimentar mais novo sugere um estágio transicional de deposição, com aporte sedimentar incipiente dos sedimentos clásticos da Formação Breves e fanglomerados da Formação Jacarezinho.

Nesse evento deduz-se que a evolução geométrica envolveu basicamente o colapso dos prismas do embasamento em direção a nordeste, ou seja, abatimento progressivo do teto.

TERCEIRA FASE CINEMÁTICA

Essa fase caracteriza a instalação de um sistema de falhas antitéticas, estabelecidas pela contínua propagação da abertura da bacia. Essas falhas desenvolveram-se principalmente nos blocos II, III e V da sub-bacia de Limoeiro, definidas no lado leste dos blocos, como sistemas de falhas lístricas e planares inclinadas para oeste, com rejeitos não expressivos e posturas sub-horizontais, alcançando profundidades rasas. A magnitude da movimentação do sistema antitético esta integrado ao desenvolvimento das falhas sintéticas do lado oeste do bloco, que ao atingir uma posição sub-horizontal, impõem uma certa resistência ao deslocamento dos prismas para leste.

Por outro lado, admite-se que o alto que separa as sub-bacias de Mocajuba e Cametá pode ter sido edificado nesse episódio, não se eliminando a possibilidade da sub-bacia de Mocajuba ter sido individualizada em pulsos anteriores. Contudo, caracteriza-se também, a presença de falhas antitéticas bem desenvolvidas nos blocos da sub-bacia de Mocajuba, principalmente no bloco sul, onde o rejeito é bastante expressivo, definindo assim, a edificação do alto que separa as duas sub-bacias.

Em termos gerais, aceita-se que a Bacia de Marajó adquiriu um estágio de ampliação total, com aporte expressivo de sedimentos que provém do leste e sul da bacia, instalando completamente as formações de Jacarezinho e Breves, no Aptiano-Albiano.

QUARTA FASE CINEMÁTICA

Nessa fase predomina a diminuição da magnitude dos movimentos que atuaram nos setores extensionais, cessando os deslocamentos nas falhas normais (sintéticas e antitéticas) e intensificação do jogo de blocos ou compartimentos ao longo das transcorrências NE-SW.

Grande parte da evolução da sub-bacia de Mexiana está vinculada a este epsódio deformacional, definido pela atuação de processos transtrativos, ao longo de segmentos transcorrentes orientados na direção NE-SW.

Constata-se também, que durante esta fase a bacia experimentou dois pulsos de deformação progressiva. O primeiro, refere-se aos estágios finais da movimentação distensional na sub-bacia de Limoeiro caracterizados por pequena taxa de subsidência. O segundo, corresponde a pequenas depressões decorrentes das transcorrências que atuaram na sub-bacia de Mexiana. Em geral, essa fase é responsável por um aporte sedimentar restrito às sub-bacias de Limoeiro e Mexiana, com registros de sedimentos pelíticos (argilitos e siltitos), pertencentes à Formação Anajás (Cenomaniano).

QUINTA FASE CINEMÁTICA

Essa fase corresponde a última movimentação na Bacia de Marajó, expressa através da deformação transtensiva, relacionada a sistemas transcorrentes NE-SW, ENE-WSW e E-W do Terciário e Quaternário. O contínuo processo de movimentação no Cenozóico, refere-se a abatimentos menos expressivos ao longo de novas falhas normais NW-SE e/ou reativação das falhas normais anteriores, propiciando a instalação de algumas estruturas nos sedimentos pertencentes ao Terciário (Figura 21).

Essa movimentação é interpretada como reflexo da rotação contínua da placa Sul-americana para oeste, e afastamento gradual para leste da placa Africana.

Admite-se também, que essa fase foi favorável a uma deposição contínua, ligada a uma grande estabilidade tectônica. Esses processos deposicionais começaram basicamente no Terciário (Avenius, 1988), depositando-se inicialmente a Formação Limoeiro (Paleoceno) sobre a sequência rifte, passando concordantemente para as formações Marajó (Eoceno-Plioceno) e Tucunaré (Pós-Mioceno).

7.- CONCLUSÕES

1.-A Bacia de Marajó, instalada no Mesozóico (Aptiano-Albiano), tem orientações gerais NW-SE (sub-bacias de Limoeiro e Cametá), NNW-SSE (sub-bacia de Mocajuba), NE-SW (sub-bacia de Mexiana) e é segmentada por duas grandes falhas transferentes de direção NE-SW (lineamentos de Ararí e Tocantins). As direções NW-SE e NNW-SSE refletem a orientação dos eixos dos depocentros das sub-bacias de Limoeiro, Cametá e Mocajuba.

2.-As sub-bacias de Limoeiro, Cametá e Mocajuba desenvolveram-se sobre um segmento crustal espessado, estruturado e orientado nas direções NW-SE e N-S, resultante da evolução estrutural dos cinturões de cisalhamento Tumucumaque e Araguaia, respectivamente. A sub-bacia de Mexiana instalou-se ao longo de um feixe de falhas transcorrentes de direção NE-SW, atrelado aos movimentos da falha transferente de Ararí.

3.-A arquitetura da Bacia de Marajó (sub-bacias Limoeiro, Cametá e Mocajuba) foi desenvolvida inicialmente de SW para NE, instalando-se um feixe de falhas normais lístricas, suavemente inclinadas para NE e interpretadas como sintéticas. O desenvolvimento dessa arquitetura foi acompanhada pela formação de estruturas do tipo "roll-over" e instalação de novas falhas lístricas inclinadas para SW e denomidadas de antitéticas. O modelo geométrico evolutivo das sub-bacias envolveu basicamente colapso dos prismas do embasamento em direção a nordeste, ocorrendo abatimento progressivo do teto.

4.- Os Lineamentos com direções NE-SW e ENE-WSW (falhas transferentes e compartimentais) evoluiram durante o desenvolvimento da bacia, comportando-se

como zonas compartimentais, segmentando a bacia em blocos estruturais simétricos e assimétricos.

5.- A zona compartimental onde se localiza a sub-bacia de Mexiana corresponde a um feixe de falhas transcorrentes "en-echélon" de direção NE-SW, cuja interação gerou estruturas do tipo "pull-apart". Sua organização estrutural é definida em termos de um sistema "en-echélon" complexo, com movimentação dextral e formação de falhas normais secundárias que desenham um romboedro alongado na direção aproximada E-W. Os estudos sísmicos nessa zona indicam que a evolução da sub-bacia de Mexiana envolveu três etapas deformacionais, denominadas transtensão inicial, transpressão e transtensão final que avançou no Cenozóico.

6.- Tectonicamente, a Bacia de Marajó começou a desenvolver-se a partir de tensões ligadas a separação da América do Norte e Africa. De modo geral, as estruturas distensionais foram controlados pela orientação das estruturas pré-cambrianas vinculadas aos cinturões de cisalhamento Tumucumaque e Araguaia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F. A. M. de. & HASUI, Y. 1978. Evolução estrutural do Supergrupo Baixo Araguaia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. **Anais**. Recife, SBG. v.1, p.257-269.

ABREU, F. A. M. de. & LESQUER, A. 1985. Considerações sobre o Pré-Cambriano da região sul-sudoeste do Cráton São Luis. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., Belém, 1985. **Anais.** Belém, SBG. v.1, p.7-21.

ABREU, F. A. M. de; VILLAS, R. N. N. ; HASUI, Y. 1980. Esboço estratigráfico do Pré-cambriano da região do Gurupí, Estados do Pará e Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. **Anais.** Camboriú , SBG. v.2, p. 647-698.

AGUIAR,G. A. 1971. Revisão Geológica da Bacia do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo, 1971. **Anais.** São Paulo, SBG. v.3, p. 113-122.

AGUIAR, G. A. ; BAHIA, R. R. ; REZENDE, W. M. 1966. **Prospecções geológicas e geofísicas executadas pela Petrobrás, na Foz do Amazonas**. Belém, PETROBRÁS/RENOR. 15p. Relatório Interno, 584 A.

AGUIAR, L. A. M. ; JINNO, K. ;MATOS NETO, J. B. 1986. **Tectonismo transpressional na Foz do Amazonas**. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/SUPEX. 10p. Relatório Interno

AIRES, J. R. 1985. **Evolução tectônica da Bacia do Baixo Amazonas.** Minas Gerais, Universidade Federal de Ouro Preto. 116p. Tese (Mestrado em Geologia) Escola de Minas, Departamento de Geologia.

ALMEIDA., F. F. M. de. 1967. **Origem e evolução da plataforma brasileira**. Rio de Janeiro, DGM/DNPM. 38p. (Boletim, 241).

ALMEIDA, F. F. M. de. & HASUI, Y. 1984. **O Pré-Cambriano do Brasil.** São Paulo, Ed. Edgard Blücher. 378 p.

AMARAL, S. E. 1955. **Sedimentologia e geologia das camadas perfuradas na região da Foz do Rio Amazonas**. São Paulo, Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras. 93p. (Boletim de Geologia, 12).

ARANHA, L. G. F. De. ; LIMA, H. P. ; SOUZA, J. M. P. ; MAKINO, R.K.; FIGUEIRAS, A. J. M. 1988. Evolução tectônica e sedimentar das bacias de Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais.** Belém, SBG. v.6, p. 2487-2490.

ARAÚJO, O. J. B. de ; MAIA, R. G. N. ; JOÃO, X. S. da J. ;COSTA, J. B. S. 1988. A Megaestrutura arqueana da folha Serra dos Carajás. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7., Belém, 1988. **Anais.** Belém, SBG. p.324-338.

AVENIUS, C. G. 1987. **Summary report of recent geologic studies in the Marajó.** Brazil, TEXACO/CANADA. 36p. Report.

AVENIUS, C. G. 1988. **Chronostratigraphic study of the postrift/synrift unconformity, Marajó rift system**. Brazil, TEXACO/CANADA. 6p. Report.

AZEVEDO, R. P. 1992. Controle de estruturas do embasamento sobre o desenvolvimento do Sistema de Grabens do Gurupí. In: SIMPÓSIO SOBRE AS BACIAS CRETÁCICAS BRASILEIRAS, 2., Rio Claro, 1992. **Resumos Expandidos**. Rio Claro, UNESP. p.49-50.

AZEVEDO, R. P. ; ROSSETTI, E. L. ; NEPOMUCENO, F. F. ; CAPUTO, M. V. 1985. Modelagem tectônica, origem e evolução da Bacia de Barreirinhas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., Belém, 1985. **Anais.** Belém, SBG. v.1, p. 7-21.

BAHIA, R. R. & ABREU, F. A. M. de. 1985. O Rift do Amazonas: sistema aulacogênico na Plataforma Amazônica. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA 2., Belém, 1985. **Anais.** Belém, SBG. v.1, p.222-241.

BEEN, C.E. 1987 Some important consequences of lithospheric extension. In: Continental Extensional Tectonics. **Geological Society of America Bulletin**. p.67-73. Special Publication, 28.

BORGES, M. S. ; ANGELICA, R. S. ; COSTA, M. L. 1988. Contribuição à geologia dos arrededores da Vila de Santa Luzia - Ourém, Pa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais.** Belém, SBG. v.6, p.2689-2698.

BOTT, M. H. P. 1971. Evolution of young continental margins and formation of shelf basins. **Tectonophysics**, 11 (2): 319-327.

BRYAN, G. M. & GORINI, M. A. 1976. The Tectonic fabric of the equatorial atlantic and adjoining continental margins: Gulf of Guinea to Northeastern Brazil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AS MARGENS CONTINENTAIS DE TIPO ATLANTICO, São Paulo, 1975. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, São Paulo, 48:101-119. Suplemento.

BURKE, K. C. 1976. Development of graben association with the initial ruptures of the Atlantic Ocean. **Tectonophysics**, 36 (1): 93-112.

BURKE, K. C. ; COOPER, C. ; DEWEY, J. F. ; MANN, P. ; PINDELL, J. L. 1984. Caribbean tectonics and relative plate motions. In: The Caribbean South American Plate Boundary and Regional Tectonics. **Geological Society of America**. Memoir, 162:31-63.

CAMPOS, J. N. P. 1985. **Hidrodinâmica da Bacia do Parnaíba: plays alternativos na pesquisa de hidrocarbonetos**. Belém, PETROBRÁS/DENOR/DINTER. 25p. Relatório Interno, 567.

CAMPOS, J. N. P. & LIMA, H. P. 1987. Evolução tectono-sedimentar dos Arcos Ferrer-Urbano Santos e Tocantins. In: SEMINÁRIO DE TECTÔNICA DA PETROBRÁS, 1., Rio de Janeiro, 1985. **PETROBRÁS**. Rio de Janeiro, CEMPES/DEPEX. p.109-117.

CAPUTO, M. V. 1984. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basin of Brasil.** Santa Barbara, Universidade de California. 586p. Tese (Doutorado em Geologia).

CAPUTO, M. V. 1988. Análises do modelo geotectônico de Rabinowitz e Labreque. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais.** Belém, SBG. v.6, p.2292-2307.

CAPUTO, M. V. & LIMA, E. C. 1984. Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais.** Rio de janeiro, SBG. v.2, p. 740-759.

CAPUTO, M. V. ; MARQUES, L. F. P. ; CARVALHO, L. C. A. 1983. **Desenvolvimento tectônico das bacias do Amazônas e Parnaíba.** Belém, PETROBRÁS/DENOR/DINTER. 28p. Relatorio Interno.

CARNES, J. B. ; CHOU, G. T. ; KATZ, B. J. ; LORENZETTI, E. ; SHIH, T. C. 1989. **Exploration analysis of synrift section Marajó Basin.** Brazil, TEXACO/CANADA. 61p. Report, 89/109.

CAROZZI, A. V. ; ALVES, R. J. ; CASTRO, J. C. 1972. Controle tectônico sinsedimentar dos carbonatos Permo-carboníferos das Formações Itaituba e Nova Olinda da Bacia do Amazônas, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26.,Belém, 1972. **Anais.** Belém, SBG. v.3, p. 47-64.

CAROZZI, A. V. ;FALKENHEIN, F. M. ; CARNEIRO, R. G. ; ESTEVES, F. R. ; CONTREIRAS, C. J. 1975. Análises ambiental e evolução tectônica sinsedimentar da seção Siluro-eocarbonífera da Bacia do Maranhão. Rio de Janeiro, **Ciência Técnica. Petróleo**. PETROBRÁS/CENPES/DINTEP. 48p. (Seção Exploração de Petróleo, 7).

CARVAJAL, D. A. ; DORMAN, J. T. ; KENCK, A. R. ; KEY, C. F. ; MILLER, C. J. ; SPECHT, T. D. 1989. **Final report of the third exploration phase - Marajó.** Brazil, TEXACO/CANADA. 61p. Report.

CARVALHO, J. S. 1988. Influência gravimétrica e magnetométrica das braquianticlinais, no contexto da Faixa de Dobramentos Araguaia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais.** Belém, SBG. v.4, p.1625-1632.

CASTRO, J. C. & VASCONCELOS, D. N. 1970. **Estudo sedimentológico integrado da Bacia de Marajó.** Belém, PETROBRÁS/DIREX/RENOR. 16p. Relatório Interno.

CHANG, H. K. ; KOWSMANN, R. O.; BENDER, A. A. ; MELLO, U. T. 1990. Origem e evolução termomecânica de bacias sedimentares. In: GABAGLIA, G. P. R. & MILANI, E. J. **Origem e evolução de bacias sedimentares**. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. p.49-71.

COCHRAN, J. R. 1973. Gravity and magnetic investigations in the Guiana basin, Western equatorial Atlantic. **Geological Society of America Bulletin**, 84 (10):3249-3268.

CONCEIÇÃO, J. C. ; ZALAN, P. V. ; WOLFF, S. 1988. Mecanismo, evolução e cronologia do rift Sul-Atlântico. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 2(2/4):255-265.

CORDANI, U. G. ; NEVES, B. B. B.; FUCK, R. A. ; PORTO, R. ; THOMAZ, FILHO, A.; CUNHA, F. M. 1984. Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Rio de Janeiro, **Ciência. Técnica. Petróleo.** PETROBRÁS/CEMPES/DIVEX. 70p. (Seção Exploração de Petróleo, 15).

CORDANI, U. G. ; TASSINARI, C. C. G. ; TEIXEIRA, W. ; BASEI, M. A. S. ; KAWASHITA, K. 1979. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. In: CONGRESSO GEOLÓGICO CHILENO, 2., Chile, 1979. **Actas.** Arica. v.4, p.137-148.

COSTA, J. B. S. 1980. Estratigrafia da região de Colméia - Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. **Anais.** Porto Alegre, SBG. v.2, p. 720-728.

COSTA, J. B. S. 1985. **Aspectos litoestruturais e evolução crustal da região centro-norte de Goiás.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 208p. Tese (Doutorado em Geologia) Curso de Pós-graduação em Geologia, Centro de Geociências, UFPa, 1990.

COSTA, J. B. S. & HASUI, Y. 1991. O Quadro geral da evolução tectônica da Amazônia. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 3., Rio Claro, 1991. **Boletim.** Rio Claro, UNESP, SBG. v.1, p. 142-143.

COSTA, J. B. S. ; IGREJA, H. L. S. ; BORGES, M. S. HASUI, Y. 1991a. O Quadro tectônico regional do Mesozóico na região norte do Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., Belém, 1991. **Anais.** Belém, SBG. v.1, p.166-178.

COSTA, J. B. S. ; IGREJA, H. L. S. ; BORGES, M. S. ; HASUI, Y. 1991b. Tectônica Mesozóico-Cenozóica da região norte do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 3., Rio Claro, 1991. **Boletim.** Rio Claro, UNESP, SBG. v.1, p. 108-109.

COSTA, J. B. S. ; PASTANA, J. M. N. ; COSTA, E. J. S. ; JOÃO, X. J. J. 1988. A Faixa de cisalhamento Tentugal na folha SA.23.Y-B. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais.** Belém, SBG. v.5, p. 2257-2261.

COSTA, J. L. da. ; ARAÚJO, A. A. F. ; VILLAS BOAS, J. N. ; FARIA, C. A. S. De. ; SILVA NETO, C. S. ; WANDERLEY, V. J. R. 1977. **Projeto Gurupí.** Belém, DNPM/CPRM. v.1, 120p. Relatório de Etapa Final.

COSTA, M. J. ; FRANÇA, J. B. de ; LINS, C. A. C. ; BACHIEGA, I. F. ; HABEKOST, C. R. ; CRUZ, W. B. 1979. **Geologia da Bacia de Jaibaras, Ceará, Piauí e Maranhão - Projeto Jaibaras.** Brasilia, DNPM. 125p. (Série Geologia 14, Seção 11).

COWARD, M. P. 1986. Heterogeneous stretching, simple shear and basin development. **Earth and planetary science letters**, 80(3/4): 325-336.

COWARD, M. P. ; DEWEY, J. F. ; HANCOCK, P. L. 1987. Continental extensional tectonics. **Geological Society of London**. p. 1-18. Special Publication, 28.

CUNHA, F. M. B. da. 1986. **Evolução Paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico**. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Geociências. 107p. Tese (Mestrado em Geologia) Instituto de Geociências, 1986.

DAEMON, R. F. & LIMA, E. 1970. **Estudo bioestratigráfico preliminar efetuado em sedimentos cretáceos, paleogênicos e neogênicos da Bacia de Marajó (Pará-Amapá), em base palinológica**. Belém, PETROBRÁS/RENOR/DIREX. 14p. Relatório Interno.

DAMUTH, J. E. & KUMAR, N. 1975. Amazon Cone: morphology, sediments, age, and growth pattern. **Geological Society of America Bulletim**, 86(6):863-878.

DUNCAN, R. A. & HARGRAVES, R. B. 1984. Plate tectonic evolution of the Caribbean region in the mantle reference frame. In: The Caribbean South American Plate Boundary and Regional Tectonics. **Geological Society of America.** Memoir, 162:81-93.

EDGAR, T. & EWTING, J. 1968. Seismic refraction measurements on the continental margin of northeastern South America. **American Geophysics**. Union Trans. v.49(1):197-198.

ENCAL 1985. **Marajó Aeromagnetic project.** Consultoria e Aerolevantamentos S.A. ; Final Report. 294p.

ESTEVES, F. R. 1979. **Área do Baixo Amazonas-Arco de Gurupá, reavaliação e possibilidades petrolíferas**. Belém, PETROBRÁS/DENOR. 20p. Relatório Interno, 745a.

FALVEY, D. A. 1974. The development of continental margins in plate tectonic theory. **Australia Petroleum Exploration.** Association Journal, 14(1):95-106.

FODOR, R. V. & MCKEE, E. H. 1986. Petrology and K-Ar ages of rift-related basaltic rocks, offshore northern Brazil, 3° N. **The Journal of Geological**, 94(3):585-593.

GIBBS, A. D. 1984. Structural evolution of extensional basin margens. **Journal Geological Society**, 141(3):609-620.

GIBBS, A. D. 1987. Development of extension and mixed-mode sedimentary basins. In: Continental extensional tectonics. **Geological Society of London.** p.19-34 Special Publication, 28.

GOES, A. M. O. ; SOUZA, J. M. P. ; TEIXEIRA, L. B. 1990. Estágio explorátorio e perpectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 4(1):55-64.

HARDING, T. P. 1985. Seismic characteristics and identification of negative flower structures, positive flower structures, and positive structural inversion. **American Association of Petroleum Geologists.** Bulletin, 69(2):582-600.

HASUI, Y. 1990. Neotectônica e tectônica resurgente no Brasil. In: WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA NO SUDESTE DO BRASIL, 1., Belo Horizonte, 1990. **Anais**, Belo Horizonte, SBG. Nucleo Minas Gerais. p. 1-31.

HASUI, Y. & COSTA, J. B. S. 1990. O Cinturão Araguaia: um novo enfoque estrutural e estratigráfico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais.** Natal, SBG. v.6. p. 2535-2543.

HASUI, Y. ; HARALYL, N. L. E. ; SCHOBBENHAUS, C. 1984. Elementos geofísicos e geológicos da região amazônica: subsidios para o modelo geotectônico. In: SYMPOSIUN AMAZÔNICO, 2., Manaus, 1984. **Anais.** Brasilia, DNPM. v.1, p.129-147.

IGREJA, H. L. S. ; COSTA, J. B. S. ; FARIAS JUNIOR, L. E. ; HASUI, Y. 1992. A macroestruturação das bacias de Bragança-Viseu e São Luis e sua relação com o embasamento. In: SIMPÓSIO SOBRE AS BACIAS CRETÁCICAS BRASILEIRAS, 2., Rio Claro, 1992. **Resumos Expandidos**. Rio Claro, Unesp. p:51-52.

JOÃO, X. S. J. 1979. **Geologia da região sudoeste e norte do Pará - Projeto sudoeste do Amapá**. Brasilia, DNPM/CPRM. 125p. (Série Geologia 10, Seção 7).

KLIGFIELD, R. ; CRESPI, J. ; NARUK, S. ; DAVIS, G.H. 1984. Displacement and strain patterns of extensional orogens. **Tectonics**, 3(2):577-609.

KLITGORD, K. D. & SCHOUTEN, H. 1986. Plate kinematics of the Central Atlantic. In: The Geology of North America: The western north atlantic region. **Geological Society of America**, Volume M, p.351-378.

LANA, M. & MILANI, E. J. 1987. **Notas sobre a evolução estrutural da Bacia de Marajó**. Belém, PETROBRÁS/DINTER/DENOR. 18p. Relatório Interno.

LE PICHON, X. & HAYES, D. E. 1971. Marginal offsets, fracture zones and the early opening of the South Atlantic. **Journal of Geophysical Research**, 76(26):6283-6393.

LEYDEN, R. 1976. Salt distribution and crustal models for the easthern Brazilian margin. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE AS MARGENS CONTINENTAIS DO TIPO ATLÂNTICO, São Paulo, 1975. **Anais da Academia Brasileira de Ciências.** São Paulo, 48:159-168. Suplemento.

LIMA, H. P. 1987. **Notas sobre a análise estratigráfica da Bacia de Marajó**. Belém, PETROBRÁS/DINTER/DENOR. 15p. Relatório Interno.

LIMA, M. I. C. ; MONTALVÃO, R. M. G. ; ISSLER, R. S. ; OLIVEIRA, A. ; BASEI, M. A. S. ; ARAÚJO, J. F. V. ; SILVA, G. G. da. 1974. In: Brasil. Projeto RADAM. **Geologia das folhas NA/NB-22 Macapá**. Rio de Janeiro, DNPM. v.1, 120p.(Levantamento de Recurso Naturais, 6).

LINSSER, H. 1974. Interpretação das anomalias gravimétricas regionais na área amazônica. **Boletim Técnico da Petrobrás**, 17(1) 3-15.

LOCZI, L. 1966. **Contribuição à paleogeografia e historia do desenvolvimento geológico da Bacia do Amazônas**. Rio de Janeiro, DNPM, Divisão de Geologia e Mineralogia. 66p. (Boletim, 223).

LUDWIG, G. 1964. **Geology of the Marajó Basin.** Rio de Janeiro, PETROBRÁS/DEXPRO DIVEX. 20p. Relatório Interno.

MARINHO, M. & MASCLE, J. 1987. Evolução estrutural do Platô Marginal da Guiné e sua relação com a formação do Oceano Atlântico Centro-Equatorial. **Revista Brasileira de Geociências**, 17(2):111-117.

MATSUDA, N. 1991. **Carta litoestratigráfica da Bacia de Marajó.** Belém, PETROBRÁS/DENOR/DINTER/SEBAT-II. 20p. Relatório Interno.

MAXWELL, B. A. 1988. **Preliminary interpretation of major faulting events Marajó**. Brazil, TEXACO/CANADA. 15p. Report.

MILLER, C. J. & AVENIUS, C. G. 1986. **Interpretation regional: vibroseis e dynamite seismic survey, Marajó**. Belém, TEXACO/CANADA. 96p. Report.

MONTALVÃO, R. M. G. & BEZERRA, P. E. L. 1985. As Sequências supracrustais do Arqueano e Proterozóico Inferior no setor norte do crátom amazônico em território brasileiro. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., Belém, 1985. **Anais.** Belém, SBG. v.1, p.44-58.

MORALES, L. G. 1959. **General geology and oil posibilities of the Amazonas Basin, Brazil.** In: FIFTH WORLD PETROLEUM CONGRESS. Canada, 51(4):925-942. (Section 7).

NUNN, J. A. & AIRES, J. R. 1988. Gravity anomalies and flexure of the lithosphere at the Middle Amazon Basin. **Journal of Geophysical Research**, 93(A1):415-428.

PASTANA, J. M. N. & FARIA, C. A. S. **Geologia das folhas Turuaçu e Pinheiro, nordeste do Estado do Pará e noroeste do Maranhão**. CPRM/DNPM.(no prelo)

PETRI, S. 1954. **Foraminíferos fósseis da Bacia do Marajó.** São Paulo, Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras. 176p. (Boletim de Geologia, 11).

PETROBRÁS. 1986a. **Interpretação qualitativa gravimétrica e magnetométrica da Bacia de Marajó.** Belém, DEPEX/DIRGEO/DIRNOE. 10p. Relatorio Interno.

PETROBRAS. 1986b. **Tópicos de exploração da Bacia de Marajó.** Belém, DEPEX/DIRNOE/SENORT. 10p. (Nota Técnica, 10).

PINDEL, J. L. 1985. Alleghenian reconstruction and subsequent evolution of the Gulf of México, Bahamas and Proto-Caribbean. **Tectonics**, 4(1):1-39.

PINDEL, J. & DEWEY, J. F. 1982. Permo-Triassic reconstruction of western Pangea and the evolution of the Gulf of Mexico/Caribbean Region. **Tectonics**, 1(1):179-211.

PORADA, H. 1989. Pan-African rifting and orogenesis in southern to equatorial Africa and eastern Brazil. **Precambrian Research**, 44(2):103-136.

RABINOWITZ, P. D. & LABREQUE, J. 1979. The Mesozoic South Atlantic and evolution of its continental margins. **Journal of Geophysical Research**, 84 (B11):5973-6002.

RAMSAY, J. G. & HUBER, M. I. 1987. **The Tectoniques of modern structural geology: folds and fractures**. London, Academic Press. v.2.

REZENDE, W. M. & FERRADAES, J. O. 1971. **Integração geológica regional da Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas**. Belém, PETROBRÁS/DEXPRO. 27p. Relatório Interno, 9.

RODRIGUES, E. G. ; BENALIEL, B. I. ; João, X. S. J. 1988. **Mapa Geológico do Estado de Amapá**. DNPM.. Escala 1:1.000.000.

ROYDEN, L. H. 1985. The Vienna basin: a thin-skinned pull-apart basin. In: Strike-Slip deformation, basin formation and sedimentation. **SEPM**, 37:319-338. Special Publication.

SANTOS, A. M. B. 1988. **Mapeamento geofísico básico da Bacia de Marajó**. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/DEPEX. 14p. Relatório Interno.

SCARPELLLI, W. 1966. Aspectos genéticos e metamórficos das rochas do distrito da Serra do Navio - Amapá. **Avulso da Divisão de Geologia e Mineralogia**. Rio de Janeiro, 41(1):37-55.

SCHALLER, H. ;VASCONCELOS, D. N.; CASTRO, J. C. 1971. Estratigráfia preliminar da bacia sedimentar da Foz do Rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo, 1971. **Anais.** São Paulo, SBG. v.3, p.189-202.

SCHLUMBERGER 1972. **Log interpretation: principies**. New York, Schlumberger Limited. v.1, 113p.

SCHOBBENHAUS, C. ; CAMPOS, D. A. ; DERZE, G. R. ; ASMUS, H. E. 1984. **Geologia do Brasil**. Brasilia, MME/DNPM. 501p.

SCLATER, J. G. ; HELLINGER, S. ; TAPSCOTT, C. 1977. The paleobathymetry of the Atlantic Ocean from the Jurassic to the present. **The Journal of Geology**, 85(3):509-552.

SIBUET, J. C. & MASCLE, J. 1978 Plate kinematic implications of Atlantic Equatorial fracture zone trends. **Journal of Geophysical Research**, 83(B37):3401-3421.

SNYDER, H. B. 1988. **Update of geological concepts: Implications for exploration, Marajo**. Brazil, TEXACO/CANADA. 15p. Report.

SZATMARI, P. 1986. **Pesquisa de petróleo na Bacia Marajoara.** Rio de Janeiro, PETROBRÁS/DEPEX. 18p. Relatório Interno.

SZATMARI, P. & PORTO, R. 1982. **Classificação tectônica das bacias sedimentares terrestres do Brasil.** Rio de Janeiro, PETROBRÁS/CENPES. 25p. Relatório Interno.

SZATMARI, P. ; FRANÇOLIN, J. B. L. ; ZANOTTO, O. ; WOLFF, S. 1987. Evolução tectônica da margem equatorial brasileira. **Revista Brasileira de Geologia**, 17(2):180-188.

TEBCO. 1988a. **Chronostratigraphic study of the postrif/synrift unconformity - Marajo Rift System.** Brazil, TEXACO/CANADA. 8p. Report.

TEBCO. 1988b. **Preliminary interpretation of major faulting events Marajo**. Brazil, TEXACO/CANADA. 24p. Report.

TEIXEIRA, L. B. 1987. **Interpretação sísmica - Projeto Marajó**. Belém, PETROBRÁS/DIRGEO/DENOR. 20p. Relatório Interno.

TEIXEIRA, L. B. & CAMPOS, J. N. P. dos. 1988. Estilo tectônico da Bacia do Baixo Amazônas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais.** Belém, SBG. v.5, p.2161-2172.

TRAVASSOS, W. A. S. & BARBOSA, F. C. M. 1990. Tectonismo terciário na área do Rio Tapajós - Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 4(3):299-314.

TURCOTTE, D. L. & EMERMAN, S. H. 1983. Mechanisms of active and passive rifting. **Tectonophysics**, 94(1-4):39-50.

VALE, A. C. (coord.) 1972. **Projeto Macapá - Calçoene;** relatório final. Belém, DNPM/CPRM. v.8, 120p. (Relatório do Arquivo Técnico da DGM).

VAN DER VOO, R. & FRENCH, R. B. 1974. Apparent polar wandering for the Atlantic bordering continents: Late Carboniferous to Eocene. **Earth Science Reviews**, 10(1):99-119.

VEIGA, A. T. C. ; BRAIT FILHO, L. ; OLIVEIRA, C. A. C. 1985. Geologia da Província Aurífera do Cassiporé. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., Belém, 1985. Anais. Belém, SBG. v.3, p.135-146.

WANDERLEY FILHO, J. R. 1991. **Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento.** Belém, Universidade federal do Pará. Centro de Geociências. 119p. Tese (Mestrado em Geologia) Curso de Pós-graduação em Geologia, Centro de Geociências, UFPa, 1991.

WERNICKE. B. 1985. Uniform sense simple shear of the continental lithosphere. **Canadian Journal of Earth Science**, 14(1):95-106.

WERNLUND, R. J. 1986. **Stratigraphy of the Marajo Rift System**. Brazil, TEXACO/CANADA. 35p. Report.

ZEMBRUSCKI, S. G. & CAMPOS, J. N. P. 1988. Comportammento geotérmico regional e provável movimentação de fluídos na Bacia do Parnaíba, Maranhão. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 2(2/4):133-145.