

ARCABOUÇO MORFOESTRUTURAL DO EMBASAMENTO ADJACENTE E DA  
PARTE EMERSA DAS BACIAS DO ESPÍRITO SANTO E MUCURI

Nelson Zamboni Júnior

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA  
CIVIL.

Aprovada por:

---

Prof. Luiz Landau, D. Sc.

---

Dr. Flavio Luis Fernandes, D. Sc.

---

Prof. Fernando Pellon de Miranda, D. Sc.

---

Prof. Sidnei Pires Rostirolla, D. Sc

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

OUTUBRO DE 2007

ZAMBONI JÚNIOR, NELSON

Arcabouço morfoestrutural do embasamento adjacente e da parte emersa das bacias do Espírito Santo e Mucuri [Rio de Janeiro] 2007.

XVI, 128 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2007)

Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Bacia do Espírito Santo
2. Bacia de Mucuri
3. Geologia Estrutural
4. Sensoriamento Remoto
5. Métodos Potenciais
6. Lineamentos

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

*A liberdade é uma palavra que o sonho humano alimenta, não há ninguém que explique e ninguém que não entenda.*

Cecília Meirelles

*Cedo ou tarde, quem fala a verdade acaba sendo descoberto.*

Oscar Wilde

*Aos meus pais Nelson e Odette,  
pelo incentivo mesmo que à distância;  
À minha esposa Bianca e aos meus filhos  
Caio, Rodrigo, Jaqueline e Ana Beatriz,  
pelo apoio e compreensão nos  
momentos difíceis.*

## AGRADECIMENTOS

Aos amigos do LAB2M, pelo companheirismo ao longo de 3 anos de convivência e pelas contribuições ao desenvolvimento deste trabalho: Jason Carneiro, Félix Gonçalves, Diego Garcia, Jaci Guigon, Elio Perez, Erica Filgueiras, Fernando Pulgatti, Allan Porto, Verônica Vieira, Josias Silva, Eldues Martins, Jorge Costa, Davi Tatagiba, Alessandro Bengaly, Márcia Karam, Christian Niño e Romualdo Vitoriano.

Aos companheiros recém-chegados: Eric Zagotto, Gustavo Lobato, Walter Dias, Daniel Bandeira e Leonardo Simões.

Aos amigos Ricardo Bedregal, Luiz Landau e Giuseppe Bacocoli, e em especial ao amigo de outras épocas Flavio Fernandes, pela confiança e pela oportunidade de participar de um grupo tão qualificado.

Aos companheiros do LAMCE: Magda Almada, Mônica Caruso e Sergio Caruso.

Aos amigos de outras instituições: Juliano Kuchle (UFRGS), Sidnei Rostirolla (UFPR) e Marcos Munis (CPRM).

À Agência Nacional do Petróleo (ANP), pelo apoio financeiro através da concessão de bolsa pelo Programa de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo e Gás (PRH-02).

À Schlumberger Information Solutions, pelo suporte e permissão de uso do software *Geoframe* na interpretação de seções sísmicas da Bacia do Espírito Santo.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

ARCABOUÇO MORFOESTRUTURAL DO EMBASAMENTO ADJACENTE E DA  
PARTE EMERSA DAS BACIAS DO ESPÍRITO SANTO E MUCURI

Nelson Zamboni Júnior

Outubro/2007

Orientador: Luiz Landau

Programa: Engenharia Civil

Este trabalho tem o objetivo de apresentar o arcabouço tectônico do embasamento pré-cambriano contíguo à bacia do Espírito Santo, situada na margem continental leste do Brasil, identificando os principais sistemas estruturais e compartimentos delimitados pelos grandes lineamentos presentes na área de estudo. O método de trabalho desenvolvido nesta dissertação envolveu o emprego integrado de técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e métodos potenciais (gravimetria), complementado por seções sísmicas interpretadas, visando estabelecer áreas com maior potencial exploratório.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UF RJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.)

STRUCTURAL FRAMEWORK OF BASEMENT AND LAND PORTION OF THE  
ESPÍRITO SANTO AND MUCURI BASIN, BRAZIL

Nelson Zamboni Júnior

October/2007

Advisor: Luiz Landau

Department: Civil Engineering

The goal of this thesis is to present the tectonic framework of the Precambrian basement around the Espirito Santo Basin, located in the east Brazilian continental margin, and to identify the main structural systems and blocks delimited by the lineaments detected in the studied area. This work involved the integrated use of geoprocessing, remote sensing and gravity data, complemented with interpreted seismic sections, aiming to select areas with major exploration potential.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 2: ÁREA DE ESTUDO</b> .....	2
2.1. Localização e vias de acesso .....	2
2.2. Geomorfologia.....	3
2.3. Vegetação .....	4
<b>CAPÍTULO 3: CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	5
3.1. Introdução.....	5
3.2. Evolução tectono-estratigráfica da margem continental leste do Brasil.....	7
3.3. Arcabouço estrutural.....	12
3.4. Arcabouço litoestratigráfico .....	19
3.4.1. Embasamento cristalino.....	19
3.4.2. Seqüências sedimentares .....	20
3.5. Magmatismo .....	25
3.6. Sistemas Petrolíferos .....	30
<b>CAPÍTULO 4: BASE DE DADOS E MÉTODOS</b> .....	34
4.1. Introdução.....	34
4.2. Trabalhos prévios .....	34
4.3. Sensoriamento Remoto.....	36
4.4. Critérios de análise .....	44
4.5. Gravimetria.....	46
<b>CAPÍTULO 5: RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO</b> .....	48
5.1. Introdução.....	48
5.2. Extração e análise de lineamentos .....	51
5.3. Análise Estrutural .....	55
5.3.1. Dados gerais .....	56
5.3.2. Domínio Sedimentar.....	59
5.3.3. Domínio da Faixa Colatina.....	64
5.3.4. Domínio Sul.....	71
5.3.5. Análise de atributos .....	76

5.4. Análise dos dados gravimétricos .....	98
5.4.1. Tratamento dos dados .....	98
5.4.2. Interpretação gravimétrica .....	105
5.5. Correlação com dados sísmicos .....	110
5.6. Discussão dos resultados .....	112
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>119</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>121</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Situação da Bacia do Espírito Santo no contexto da margem leste brasileira .....	1
Figura 2: Principais núcleos urbanos e vias de acesso à região de estudo .....	2
Figura 3: Representação simplificada do contexto geológico regional da Província Mantiqueira (modificado de Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2001) .....	5
Figura 4: Arcabouço geológico-estrutural simplificado (modificado de CPRM, 2001) com a localização dos poços existentes (ANP, 2006) .....	6
Figura 5: Modelo esquemático da evolução do Atlântico Sul, com as cinco fases da separação continental citadas no texto (Cainelli & Mohriak, 1999) .....	9
Figura 6: Propagação do rifte no Atlântico Sul (Davison, 1999, <i>in</i> Bueno, 2004).....	10
Figura 7: Seção sísmica com as megassequências associadas às diversas fases evolutivas da margem continental leste brasileira (Bruhn, 2001).....	11
Figura 8: Fisiografia de parte da região sudeste, com indicação da área de estudo (retângulo preto) e principais estruturas (traços pretos), segundo a CPRM (2001) .....	13
Figura 9: Arcabouço estrutural simplificado das bacias do Espírito Santo e de Mucuri (segundo Biassusi <i>et. al.</i> , 1990).....	16
Figura 10: Mapa estrutural sísmico do topo do Albiano-Cenomaniano (modificado de Gomes <i>et. al.</i> , 1988, <i>apud</i> Costa, 1988) .....	17
Figura 11: Mapa estrutural sísmico da base dos evaporitos (modificado de Gomes <i>et. al.</i> , 1988, <i>apud</i> Costa, 1988).....	18
Figura 12: Seção geológica esquemática da Bacia do Espírito Santo, podendo-se observar os estilos estruturais e as relações entre as unidades estratigráficas (ANP, 2006).....	23
Figura 13: Carta estratigráfica da bacia do Espírito Santo (modificado de Vieira <i>et. al.</i> , 1994). Fonte: ANP (2006).....	24
Figura 14: Movimentos relativos entre microplacas na margem continental da região sudeste durante o Terciário (modificado de Szatmari & Mohriak, 1995).....	25
Figura 15: Tectônica de sal na região de Abrolhos, onde a sobrecarga das vulcânicas sobre a seção sedimentar pós-rifte induziu a formação de frentes de empurrão em direção ao continente (Van der Ven <i>et. al.</i> , 1998) .....	26

Figura 16: Modelo tectono-magmático para a região do Complexo Vulcânico de Abrolhos (Sobreira & França, 2006). Projeção Policônica, <i>datum</i> SAD 69 .....	29
Figura 17: Modelo dos principais <i>plays</i> exploratórios e suas respectivas áreas prospectáveis (Biassusi <i>et. al.</i> , 1990) .....	33
Figura 18: Mapa geológico das porções centro-norte do Espírito Santo, sul da Bahia e leste de Minas Gerais, segundo o Projeto RADAMBRASIL (Folha Rio Doce, 1987).....	35
Figura 19: Cenas do satélite LANDSAT-7 que cobrem toda a região das bacias do Espírito Santo, Mucuri e Cumuruxatiba (esta não incluída no estudo).....	36
Figura 20: Características da órbita do satélite LANDSAT-7 (UERJ, 2006) .....	37
Figura 21: Órbitas consecutivas do satélite LANDSAT-7, com indicação da largura da faixa imageada e da distância entre cada passagem sucessiva (UERJ, 2006).....	38
Figura 22: Espectro eletromagnético com os intervalos de frequência e comprimento de onda referentes às principais faixas de radiação.....	39
Figura 23: Bandas espectrais do sensor ETM+ com seus intervalos de comprimento de onda e respectivas aplicações na interpretação das imagens (UERJ, 2006).....	39
Figura 24: Detalhe da imagem LANDSAT-7 216/73, composição 5R4G3B, destacando a Estrutura Circular de Aimorés e o curso do Rio Doce junto à divisa MG-ES .....	40
Figura 25: Bandas espectrais correspondentes à faixa de microondas, utilizadas no imageamento por radar .....	41
Figura 26: Áreas do globo cobertas pela missão SRTM (NASA). As cores dos boxes inferiores indicam quantas vezes cada faixa foi imageada. Fonte: <a href="http://www.jpl.nasa.gov/srtm">http://www.jpl.nasa.gov/srtm</a> .....	42
Figura 27: Modelo digital de elevação sombreado com diferentes azimutes e inclinações solares (0/45 graus acima e 250/30 graus abaixo).....	43
Figura 28: Diagrama mostrando os melhores ângulos de visada para detecção de lineamentos (modificado de RADARSAT International, 1997) .....	45
Figura 29: Distribuição dos poços existentes nas Bacias do Espírito Santo e de Mucuri (ANP, 2006) .....	49
Figura 30: Mapa topobatimétrico das bacias de Campos, Espírito Santo e Mucuri, destacando o grande alargamento da plataforma na região do Complexo de Abrolhos e os montes vulcânicos submarinos (modificado de Mohriak, 2004) .....	50

Figura 31: Perspectiva 3-D da margem continental, na mesma área da figura anterior (segundo Françaolin, 2003).....	50
Figura 32: Modelo digital de elevação regional (SRTM), com a localização da área de estudo. Os tons em marrom representam as áreas mais elevadas, e em lilás as áreas mais baixas .....	52
Figura 33: Distribuição dos lineamentos identificados na área de estudo.....	53
Figura 34: Lineamentos ao longo da borda continental brasileira (segundo Chang <i>et. al.</i> , 1992). Os diagramas de roseta apresentam a distribuição de frequência absoluta dos lineamentos; N é o número de lineamentos analisados, e CSZ é a Zona de Cisalhamento Colatina.....	54
Figura 35: Domínios estruturais identificados na área de estudo.....	55
Figura 36: Histograma de frequência absoluta dos lineamentos por direção .....	57
Figura 37: Histograma de frequência absoluta dos lineamentos por comprimento .....	58
Figura 38: Diagramas de roseta para o conjunto total de lineamentos .....	58
Figura 39: Distribuição dos lineamentos identificados no Domínio Sedimentar.....	59
Figura 40: Diagramas de roseta para os lineamentos da área sedimentar .....	60
Figura 41: Histograma de frequência relativa dos lineamentos por direção na área do Domínio Sedimentar .....	61
Figura 42: Histograma de comprimentos acumulados por direção na área do Domínio Sedimentar.....	61
Figura 43: Histograma de frequência absoluta dos lineamentos por classes de comprimento no Domínio Sedimentar.....	62
Figura 44: Diagramas direcionais para comprimento médio dos lineamentos no Domínio Sedimentar .....	63
Figura 45: Diagrama de rosetas com o resumo estatístico para o Domínio Sedimentar .....	63
Figura 46: Diagramas de roseta para os lineamentos da Faixa Colatina.....	64
Figura 47: Distribuição dos lineamentos no Domínio da Faixa Colatina.....	65
Figura 48: Histograma de frequência absoluta dos lineamentos por classes de comprimento na área do Domínio da Faixa Colatina .....	66
Figura 49: Modelo digital de elevação sombreado (SRTM), onde as cores verde-amareladas indicam as áreas de topografia mais elevada. Observa-se as relações entre	

os lineamentos presentes na faixa central da área de estudo, com destaque para as estruturas NNW-SSE e N 45-60° W.....	67
Figura 50: Diagrama de rosetas com o resumo estatístico no Domínio da Faixa Colatina. 68	
Figura 51: Histograma de frequência relativa dos lineamentos por direção na Faixa Colatina.....	69
Figura 52: Histograma de comprimentos acumulados por direção no Domínio da Faixa Colatina.....	69
Figura 53: Parte da imagem LANDSAT-7 216/73, composição 5R4G3B, destacando os lineamentos NNW-SSE (associados à Faixa Colatina) e N 45-60 W (relacionados a fraturas de cisalhamento contemporâneas à fase rifte). Escala aprox. 1:580.000 .....	70
Figura 54: Diagramas direcionais para o comprimento médio dos lineamentos no Domínio da Faixa Colatina .....	71
Figura 55: Distribuição dos lineamentos nos domínios Sul, Oeste e Noroeste.....	72
Figura 56: Diagramas de roseta para os lineamentos do Domínio Sul.....	73
Figura 57: Histograma frequência relativa dos lineamentos por direção no Domínio Sul. 73	
Figura 58: Histograma de comprimentos acumulados por direção no Domínio Sul.....	74
Figura 59: Diagrama direcional para o comprimento médio dos lineamentos no Domínio Sul.....	74
Figura 60: Diagrama de rosetas para os lineamentos do Domínio Noroeste .....	75
Figura 61: Diagrama de rosetas para os lineamentos do Domínio Oeste.....	75
Figura 62: <i>Trends</i> estruturais de 1ª ordem (traços pretos) sobrepostos ao mapa geológico da região (CPRM, 2001). Campos de produção (polígonos pretos) e limites das bacias (azul) de acordo com a ANP (2006).....	77
Figura 63: Frequência de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km. A tabela de cores indica o número de lineamentos em cada célula. Projeção Policônica, datum SAD 69.....	78
Figura 64: Comprimento acumulado de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km. A tabela de cores indica a soma da extensão total (em metros) de cada lineamento que atravessa uma célula. Projeção Policônica, datum SAD 69.....	79

Figura 65: Intersecções de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km. A tabela de cores indica o número de cruzamentos em cada célula. Projeção Policônica, datum SAD 69.....	80
Figura 66: Frequência de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km, no Domínio da Faixa Colatina. Projeção Policônica, datum SAD 69.....	82
Figura 67: Comprimento acumulado de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km, no Domínio da Faixa Colatina. Projeção Policônica, datum SAD 69.....	83
Figura 68: Densidade de lineamentos em todas as direções no Domínio Faixa Colatina.	84
Figura 69: Densidade de lineamentos para a classe N50-70W no Domínio da Faixa Colatina.....	85
Figura 70: Densidade de lineamentos para a classe N40-60E no Domínio da Faixa Colatina.....	86
Figura 71: Frequência de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km, do Domínio Sedimentar. A tabela indica o número de lineamentos em cada célula. Projeção Policônica, datum SAD 69 .....	89
Figura 72: Frequência normalizada de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km, no Domínio Sedimentar. A tabela indica a quantidade normalizada de lineamentos em cada célula. Projeção Policônica, datum SAD 69.....	90
Figura 73: Frequência de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km, do Domínio Sedimentar. A tabela indica o desvio padrão abaixo e acima da média. Projeção Policônica, datum SAD 69 .....	91
Figura 74: Comprimento acumulado de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km, do Domínio Sedimentar. A tabela indica o desvio padrão abaixo e acima da média. Projeção Policônica, datum SAD 69 .....	92
Figura 75: <i>Trends</i> estruturais e principais classes direcionais identificadas no Domínio Sedimentar .....	93
Figura 76: Densidade de lineamentos em todas as direções no Domínio Sedimentar .....	94
Figura 77: Densidade de lineamentos para a classe N30-60W no Domínio Sedimentar ....	95
Figura 78: Densidade de lineamentos para a classe N40-70E no Domínio Sedimentar .....	96
Figura 79: Intersecções de lineamentos entre as classes N30-60W, N40-70E e E-W na área do Domínio Sedimentar .....	97

Figura 80: Distribuição das estações e área de abrangência dos levantamentos gravimétricos utilizados neste trabalho. Projeção Policônica, <i>datum</i> SAD 69 .....	99
Figura 81: Mapa de anomalia Bouguer total referente aos levantamentos DEXBA-DEXES e EG 13. Escala de cores em miliGals.....	101
Figura 82: Mapa da 1ª derivada vertical (anomalia Bouguer) referente aos levantamentos DEXBA-DEXES e EG 13. Escala de cores em miliGals/m. ....	102
Figura 83: Mapa da 1ª derivada horizontal total (anomalia Bouguer) referente aos levantamentos DEXBA-DEXES e EG 13. Escala de cores em miliGals/m. ....	103
Figura 84: Mapa de anomalia Bouguer crustal referente aos levantamentos DEXBA-DEXES e EG 13. Escala de cores em miliGals .....	104
Figura 85: Limite entre a crosta continental afinada e a crosta oceânica (COB – traço preto), interpretado sobre o mapa de anomalia Bouguer total do GEOSAT. Escala de cores em miliGals. Projeção Policônica, <i>datum</i> SAD 69. ....	107
Figura 86: Feições interpretadas (lineamentos e paleocanyons) sobre o mapa da 1ª derivada vertical (anomalia Bouguer) dos levantamentos DEXBA-DEXES e EG 13. Escala de cores em miliGals/m.....	108
Figura 87: Feições interpretadas (lineamentos e paleocanyons) sobre o mapa da 1ª derivada horizontal total (anomalia Bouguer) dos levantamentos DEXBA-DEXES e EG 13. Escala de cores em miliGals/m. ....	109
Figura 88: Localização das seções sísmicas interpretadas, disponibilizadas pela ANP....	110
Figura 89: Seção sísmica 1 ( <i>strike</i> ) interpretada na porção <i>offshore</i> , próximo à linha de costa, podendo-se observar as falhas atribuídas ao <i>trend</i> estrutural de Linhares .....	111
Figura 90: Seção sísmica 2 ( <i>strike</i> ) interpretada, em terra, transversal ao <i>trend</i> de Jaguaré, observando-se o controle exercido pelas falhas NW (em amarelo) sobre a estruturação do <i>Paleocanyon</i> de Fazenda Cedro .....	111
Figura 91: Perfil esquemático ao longo de uma zona de falha transcorrente, observando-se o núcleo intensamente deformado e as zonas de fraturamento laterais, que podem atingir centenas de metros de largura (Gudmundsson <i>et. al.</i> , 2001) .....	114

- Figura 92: Integração dos *trends* estruturais com os lineamentos extraídos da interpretação gravimétrica e o mapa estrutural sísmico do topo do Albiano-Cenomaniano (modif. de Gomes *et. al.*, 1988), no qual os traços com indicação de mergulho são falhas normais lítricas..... 117
- Figura 93: Carta de eventos da bacia do Espírito Santo, com a evolução temporal dos elementos e processos referentes aos 3 sistemas petrolíferos reconhecidos (modif. de DPC & Assoc., 2000) ..... 118

## CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

O objetivo da pesquisa é estabelecer o arcabouço estrutural das bacias do Espírito Santo e Mucuri e dos terrenos pré-cambrianos adjacentes, enfatizando as estruturas NNE herdadas do embasamento (reativadas durante o processo de separação continental Brasil-África) e os grandes lineamentos transversais NW e NNW, dentre os quais se destaca o Alinhamento Vitória-Ecoporanga (RADAMBRASIL, 1987) ou Faixa Colatina (Novais *et. al*, 2004), uma das principais feições tectono-estruturais da região sudeste.

Para atingir este objetivo, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, com o intuito de realizar a análise estrutural da parte terrestre (embasamento e porção emersa da bacia), bem como o processamento e interpretação de levantamentos gravimétricos efetuados tanto na porção emersa da bacia quanto na região da plataforma continental, para a análise estrutural da porção *offshore*.

A bacia do Espírito Santo têm atraído um interesse crescente, nos últimos anos, devido ao seu reconhecido potencial exploratório para hidrocarbonetos, justificando a aplicação e integração de geotecnologias no estudo de suas principais feições estruturais.

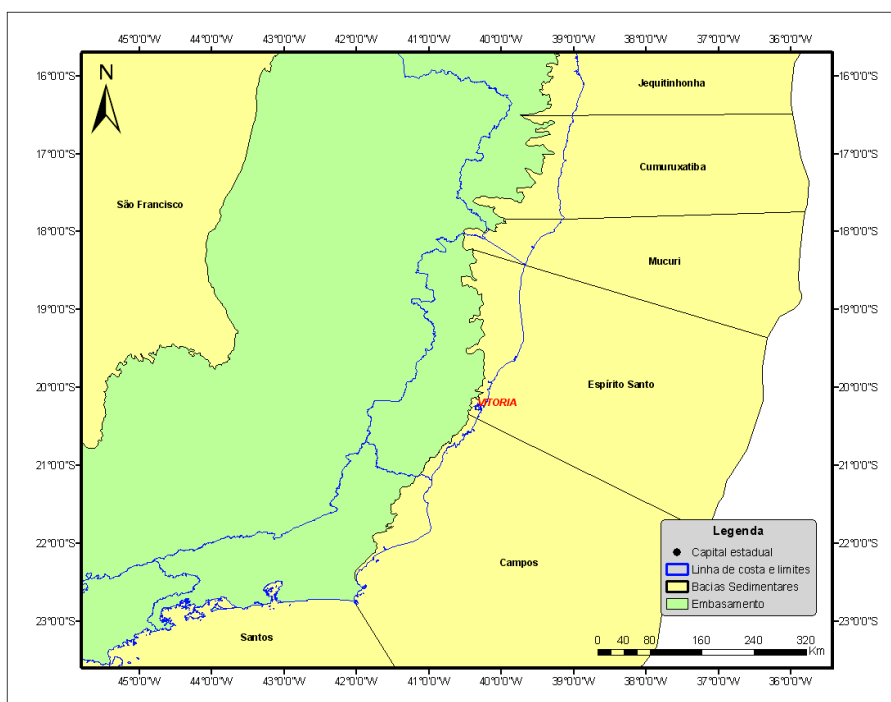


Fig. 1: Situação da Bacia do Espírito Santo no contexto da margem leste brasileira.

## CAPÍTULO 2: ÁREA DE ESTUDO

### 2.1. Localização e vias de acesso

As bacias do Espírito Santo e de Mucuri estão situadas na margem continental leste brasileira, entre os paralelos 18<sup>o</sup> e 21<sup>o</sup> de latitude Sul, compreendendo uma área de aproximadamente 18.000 km<sup>2</sup> na porção emersa e 200.000 km<sup>2</sup> na porção *offshore* do estado do Espírito Santo (Fig. 1). O limite com a bacia de Cumuruxatiba, ao norte, é representado pelo Alto de Alcobaça, e ao sul o limite com a bacia de Campos é dado pelo Alto de Vitória. Estas duas feições correspondem a altos estruturais do embasamento pré-cambriano, sendo mais proeminentes nas regiões *onshore* e plataformal.

A porção emersa das duas bacias estende-se desde os arredores de Vitória até as proximidades de Caravelas, no sul da Bahia, bordejando o litoral. A extensão da área sedimentar, em linha reta, atinge 320 km, com uma largura variando de 15 a 110 km.

O acesso à região é feito, principalmente, através das rodovias federais BR-101, BR-381, BR-116 e BR-393, além de várias rodovias estaduais de Minas e Espírito Santo (Fig. 2). A principal ferrovia da região é a Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM).

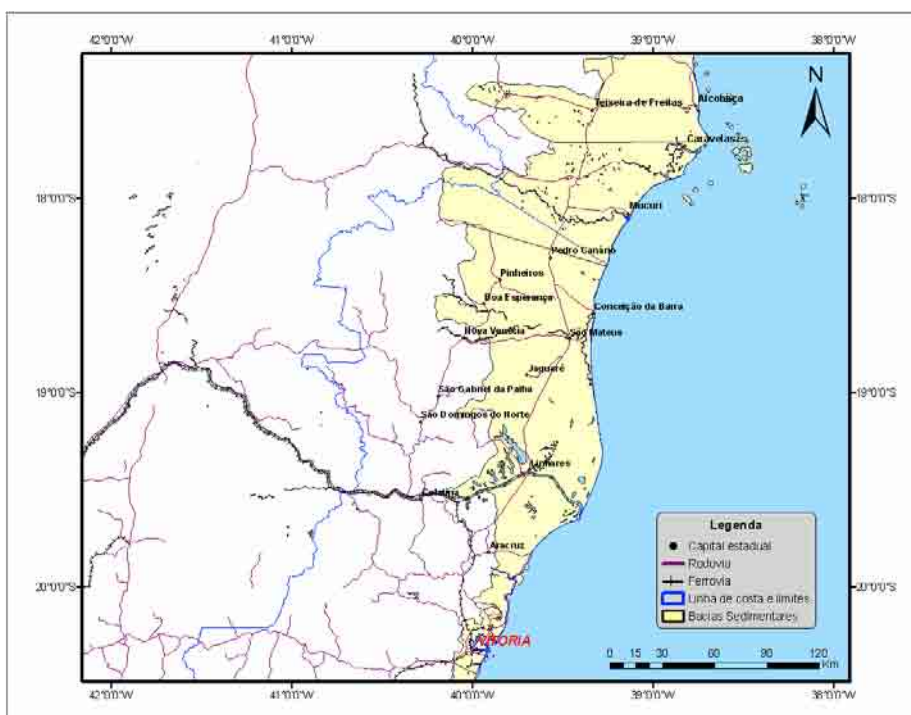


Fig. 2: Principais núcleos urbanos e vias de acesso à região de estudo.

O limite entre as bacias do Espírito Santo e de Mucuri baseia-se em um critério político-geográfico: a projeção da divisa entre os estados do Espírito Santo e da Bahia, em direção ao mar. As unidades litoestratigráficas apresentam continuidade e as estruturas são similares de uma bacia para outra, razão pela qual serão descritas em conjunto na caracterização geológica da região.

## **2.2. Geomorfologia**

De acordo com o Projeto Radambrasil, Folha SE 24 Rio Doce (1987), a região estudada foi dividida em quatro grandes domínios geomorfológicos, com suas principais características descritas abaixo.

### **A – Depósitos Sedimentares**

Ocorrem ao longo da faixa litorânea, do sul da Bahia ao norte do Espírito Santo, sendo representados pelos sedimentos do Grupo Barreiras e de depósitos costeiros, assentados diretamente sobre o embasamento pré-cambriano. As unidades geomorfológicas presentes são: Planícies Costeiras, englobando os modelados deltaicos, estuarinos e praias adjacentes à costa; e Piemontes Inundados, ocupando as porções mais interiores, com altitudes decrescentes de oeste para leste e variação altimétrica de 100 metros.

### **B – Maciços Plutônicos**

É o domínio de maior expressão areal na Folha Rio Doce, formando compartimentos planálticos separados por depressões estruturais nas regiões centro-ocidental e norte da área. Caracteriza-se pela ocorrência de grandes massas intrusivas (granitóides) em unidades litológicas proterozóicas (Complexo Paraíba do Sul). Tais características favoreceram a individualização de compartimentos elevados e deprimidos, produzindo acidentes estruturais e de relevo de grande envergadura.

### **C – Faixa de Dobramentos Reativados**

Engloba áreas de relevos montanhosos, com altitudes superiores a 1.500 m, e são resultantes da dissecação de estruturas proterozóicas reativadas em vários ciclos orogênicos posteriores (principalmente no Brasileiro). Os esforços compressivos atuantes nas reativações deformaram as estruturas pretéritas, sendo perceptíveis no relevo através da superposição dos dobramentos nas regiões onde há exposição do embasamento e

refletindo-se nos grandes alinhamentos de cristas, vales muito profundos e escarpas adaptadas a falhas nas direções NNE e ESE.

#### **D – Remanescentes de Cadeias Dobradas**

Este domínio abrange áreas descontínuas nas porções norte e noroeste da Folha, englobando conjuntos de modelados resultantes da exumação de estruturas dobradas ao longo de vários ciclos erosivos. A direção preferencial das estruturas é NE-SW, com inflexões bruscas para NW-SE. As litologias predominantes são metassedimentos de idade brasileira e as unidades atribuídas ao Complexo Paraíba do Sul. A característica marcante é a presença de diferentes níveis de erosão representados por compartimentos planálticos dissecados, constituindo vestígios de antigas superfícies de aplainamento.

### **2.3 Vegetação**

Quase toda a área estudada encontra-se atualmente destituída de sua vegetação original, em virtude das atividades extrativas, agrícolas e pastoris que tiveram seu início com o ciclo do pau-brasil, em 1503. Ao longo dos séculos, as transformações econômicas aceleraram o processo de desmatamento e substituição da cobertura original, através de ciclos sucessivos (cana de açúcar, gado, café e, mais recentemente, reflorestamento de espécies exóticas para a indústria de papel e celulose).

## CAPÍTULO 3: CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

### 3.1. Introdução

Almeida *et. al.* (1977) propuseram a divisão do território brasileiro em dez províncias estruturais, cujo conceito é muito semelhante ao de províncias geológicas de Gary *et. al.* (1972): uma região extensa e contínua caracterizada por uma evolução geológica própria, apresentando características litológicas, estratigráficas, estruturais, metamórficas, ígneas e geocronológicas distintas das apresentadas pelas áreas circunvizinhas. Dentro deste conceito, a área de estudo está inserida na Província Mantiqueira - Setor Setentrional (Almeida & Litwinski, *in* Almeida & Hasui, 1984), que ocupa a região leste de Minas Gerais, o extremo sul da Bahia e o centro-norte do Espírito Santo, e tem como limites o Cráton ou Província do São Francisco (a norte e oeste) e as bacias costeiras (a leste).

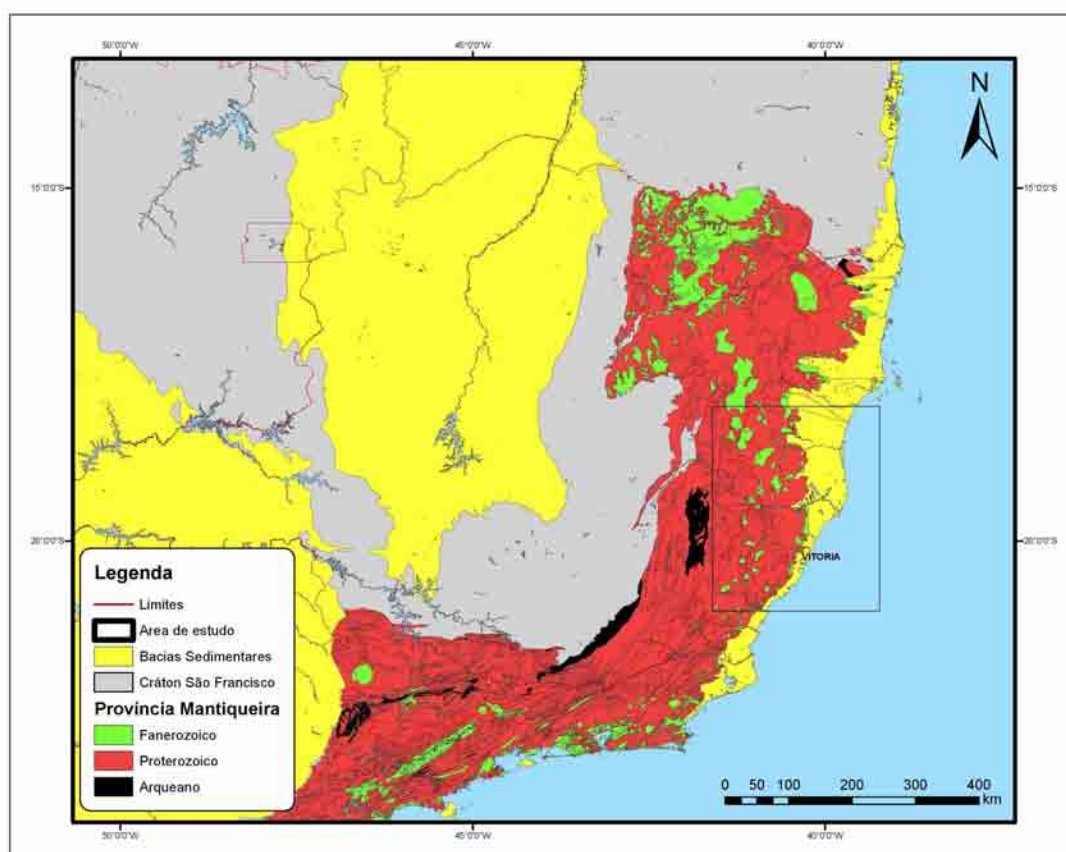


Fig. 3: Representação simplificada do contexto geológico regional da Província Mantiqueira (modificado de Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2001)

A maior parte do setor norte da Província Mantiqueira é constituída por terrenos ígneos (granitóides) e metamórficos de médio a alto grau, de idade Proterozóica, cuja evolução tectônica está associada aos ciclos Transamazônico e Brasileiro. Quase todo o limite oeste é caracterizado pela presença de falhas inversas, ao longo de faixas móveis resultantes de colagens ou colisões continentais durante o Ciclo Brasileiro (Almeida & Hasui, 1984). O restante da província é representado por alguns núcleos preservados de idade arqueana e rochas atribuídas ao Fanerozóico (extremo norte), das quais se destacam granitos pós-orogênicos, coberturas detrítico-lateríticas e maciços alcalinos (Fig. 3).

Para Cordani *et. al.* (1984) e Schobbenhaus *et. al.* (1984), o embasamento da região estudada está inserido dentro da Província Ribeira, caracterizada por rochas metamórficas de idade arqueana (anfíbolitos migmatizados, granulitos, gnaisses e quartzitos), sobrepostas por metassedimentos (xistos e filitos) de idade proterozóica inferior a superior, todas retrabalhadas no Ciclo Brasileiro. As rochas de alto grau predominam ao norte de Cabo Frio, sendo as principais formadoras do embasamento da bacia do Espírito Santo (Fig. 4).

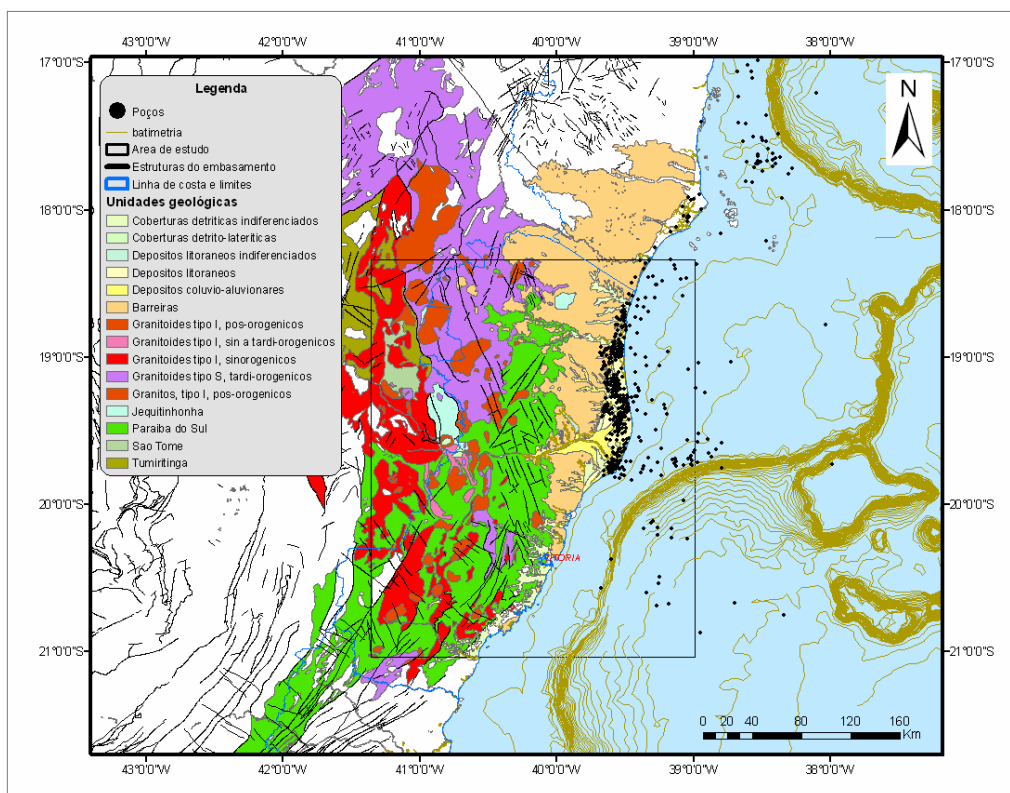


Fig. 4: Arcabouço geológico-estrutural simplificado (modificado de CPRM, 2001) com a localização dos poços existentes (ANP, 2006).

### 3.2. Evolução tectono-estratigráfica da margem continental leste do Brasil

De uma forma geral, o modelo evolutivo das bacias do tipo margem passiva, dispostas ao longo de toda a margem continental leste do Brasil (Ponte & Asmus, 1976), é comum para aquelas que contém sedimentos de natureza evaporítica em sua coluna estratigráfica, tanto na margem brasileira quanto na africana (Cainelli & Mohriak, 1999). A evolução do Atlântico Sul caracteriza-se por cinco fases principais, cada uma com estilos estruturais e feições tectono-estratigráficas distintas (Fig. 5).

A primeira fase (n<sup>o</sup> I da fig. 5) corresponde ao início dos esforços distensivos, associado a um pequeno soerguimento do manto astenosférico e afinamento da crosta continental e do manto litosférico, regionalmente distribuídos. Durante esta fase, a norte da Bacia do Espírito Santo, desenvolveu-se uma extensa e rasa depressão no Neojurássico, com direção aproximada N-S e cerca de 1.500 km de comprimento, a qual foi denominada por Ponte *et. al.* (1972) de Depressão Afro-Brasileira. Esta feição foi rapidamente preenchida por um pacote de leques aluviais e fluviais de granulação grosseira, com depósitos localizados de evaporitos (Chang *et. al.*, 1992). Nas bacias situadas a sul, incluindo a do Espírito Santo, este pacote está ausente, sendo substituído por derrames basálticos correlatos à Formação Serra Geral na Bacia do Paraná (Asmus & Porto, 1980).

As evidências mais antigas desta fase na região da bacia do Espírito Santo são os diques de diabásio, de idade jurássica, intrudidos no embasamento ao longo da Faixa Colatina de maneira concordante com a direção preferencial desta (NNW-SSE). Estes corpos ígneos são conhecidos como Suíte Intrusiva Fundão (Vieira *et. al.*, 1994).

A segunda fase (n<sup>o</sup> II da fig. 5) caracteriza-se pelo aumento do estiramento litosférico, desenvolvimento de grandes falhamentos na região de crosta continental estirada, extrusão de basaltos toleíticos nas bacias a sul e a estruturação de meio-grabens ao longo de toda a margem, representando o início da formação de bacias tipo rifte. O ambiente de sedimentação predominante é o lacustre, com a deposição concentrada em bacias estreitas, alongadas e paralelas a uma calha central. Ao final desta fase, o incremento na distensão litosférica provocou a rotação dos blocos do rifte e dos sedimentos anteriormente depositados. Concluído o rifteamento, têm início as primeiras inserções de crosta oceânica, através de vulcanismo sub-aéreo (SDR - *seaward dipping reflectors*)

proporcionado pela concentração da distensão litosférica em um centro de espalhamento oceânico (Dorsal Meso-Atlântica).

A terceira fase (n<sup>o</sup> III da fig. 5) é representada pela deposição da seqüência evaporítica ou transicional, durante o andar Alagoas (Aptiano), sobre a discordância regional da separação continental (*break-up unconformity*). O ambiente deposicional caracteriza-se por uma bacia restrita, estreita e alongada, com pouca circulação de água, clima árido e intensa evaporação das salmouras, o que proporcionou a deposição de uma suíte evaporítica cuja espessura original é estimada em 2.000 metros (Chang *et. al.*, 1992).

Após a separação total dos continentes sul-americano e africano, os esforços distensivos passam a se concentrar na Cadeia Meso-Oceânica recém-formada, iniciando-se a produção de crosta oceânica. Condições de mar aberto passam gradualmente a predominar ao longo da margem continental (n<sup>o</sup> IV da fig. 5). Já no Albiano, os evaporitos foram sucedidos pela deposição de uma extensa plataforma carbonática em ambiente de águas rasas. Com a progressão da subsidência térmica, ao final do Albiano, a plataforma carbonática foi sucedida por uma seqüência carbonática de textura fina (calcilutitos, margas e folhelhos), depositados em ambiente nerítico profundo a batial (Azevedo, 2004).

A quinta e última fase (n<sup>o</sup> V da fig. 5), associada a um aumento da paleobatimetria e ao estabelecimento de condições francamente marinhas, corresponde à deposição de uma megasseqüência siliciclástica, cujo padrão deposicional evolui de uma seqüência transgressiva para regressiva ao longo de toda a margem leste, sendo sujeita às condições específicas de cada bacia quanto ao aporte de sedimentos continentais. De uma forma geral, o preenchimento das bacias ao longo de toda a margem leste é caracterizado por uma retrogradação durante o Neocretáceo, em ambiente marinho profundo, seguido por uma progradação generalizada no Terciário, associada ao intenso aporte sedimentar provocado pelo soerguimento das Serras do Mar e da Mantiqueira (principalmente nas margens sul e sudeste). Este processo resultou em grandes cunhas siliciclásticas que avançaram em direção à quebra da plataforma, induzindo a uma regressão marinha (Cainelli & Mohriak, 1999).

A seção sísmica apresentada na figura 7 ilustra as seqüências sedimentares, associadas a cada uma das fases evolutivas da margem continental leste brasileira, dentro de um contexto típico de limite divergente de placas (margem passiva).

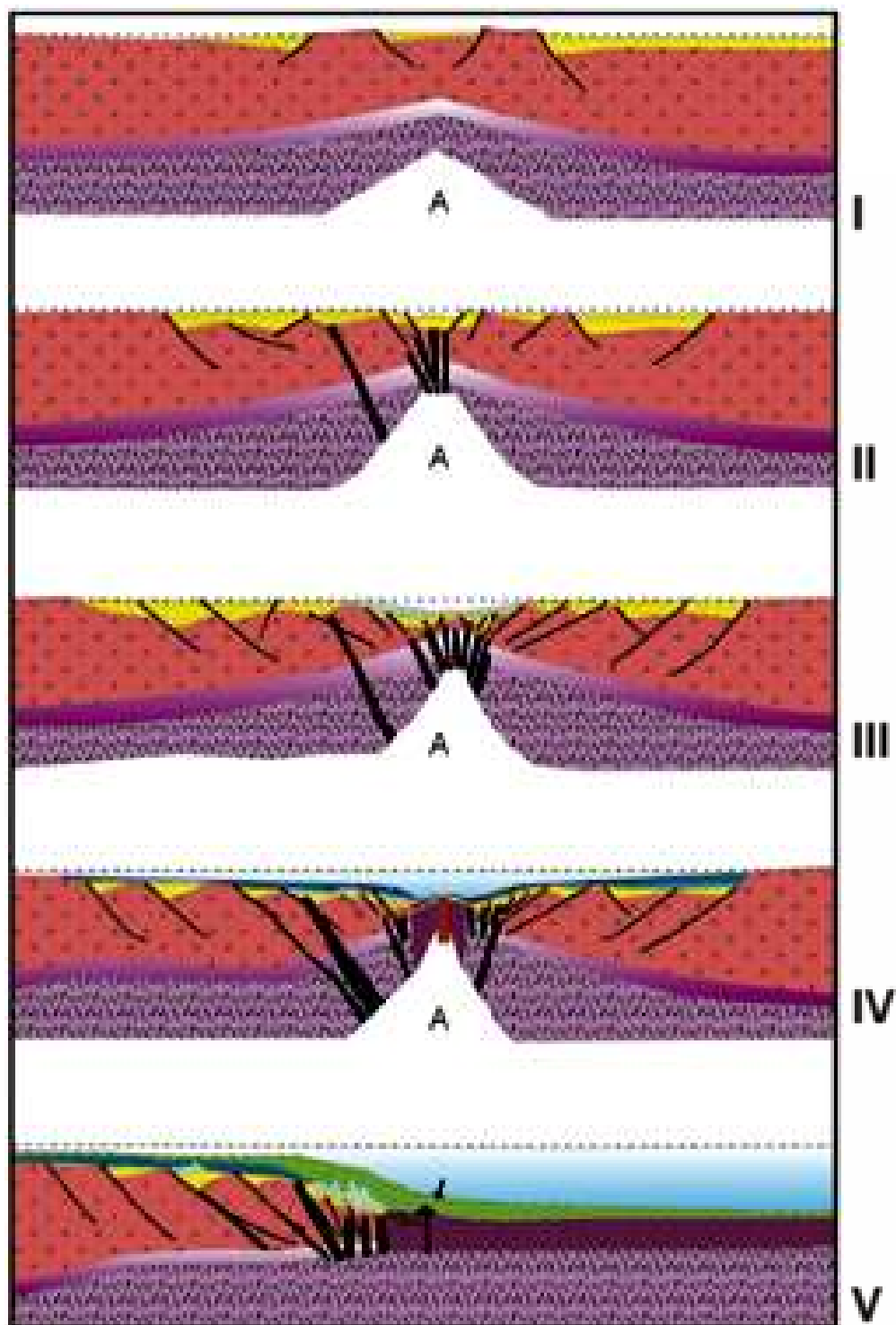


Fig. 5: Modelo esquemático da evolução do Atlântico Sul, com as cinco fases da separação continental citadas no texto (Cainelli & Mohriak, 1999)

Bueno (2004), com base em dados referentes à fase rifte, comparou eventos tectono-magmáticos distintos nas margens sul-americana e africana (Fig. 6), corroborando a hipótese de pulsos sucessivos na propagação do rifte no Atlântico Sul e sugerindo um modelo de rifteamento em três episódios distintos:

- *break-up I* ou inicial: contemporâneo ao ápice do vulcanismo continental (basaltos na bacia do Paraná) e ao aquecimento climático provocado pela intensa emissão de CO<sub>2</sub> vulcanogênico (rico em <sup>13</sup>C) na atmosfera; datado em 132 Ma, estendeu-se das ilhas Falkland até o Sinclinal de Torres, provocou o aumento da taxa de estiramento do rifte a norte e gerou a discordância de propagação do rifte;
- *break-up II*: associado à mudança na direção de propagação do rifte, estendeu-se do norte da bacia de Pelotas até a porção sul da bacia de Santos e provocou a deformação dos SDR (*seaward dipping reflectors*) formados na fase anterior, estimando-se em 126 Ma o início da produção de crosta oceânica nesta fase;
- *break-up III* ou final: datado em 115 Ma (Neoptiano a Eoalbio), estendeu-se do norte da bacia de Santos até pelo menos a bacia de Alagoas e representou a separação total entre os continentes sul-americano e africano, permitindo a livre circulação de água entre os oceanos Atlântico Sul e Equatorial.

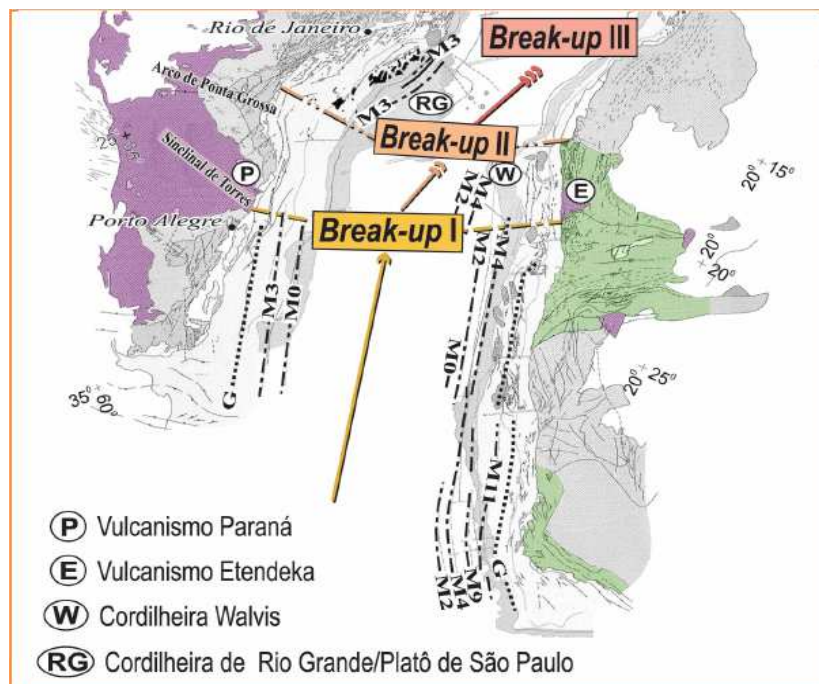


Fig. 6: Propagação do rifte no Atlântico Sul (Davison, 1999, *in* Bueno, 2004).

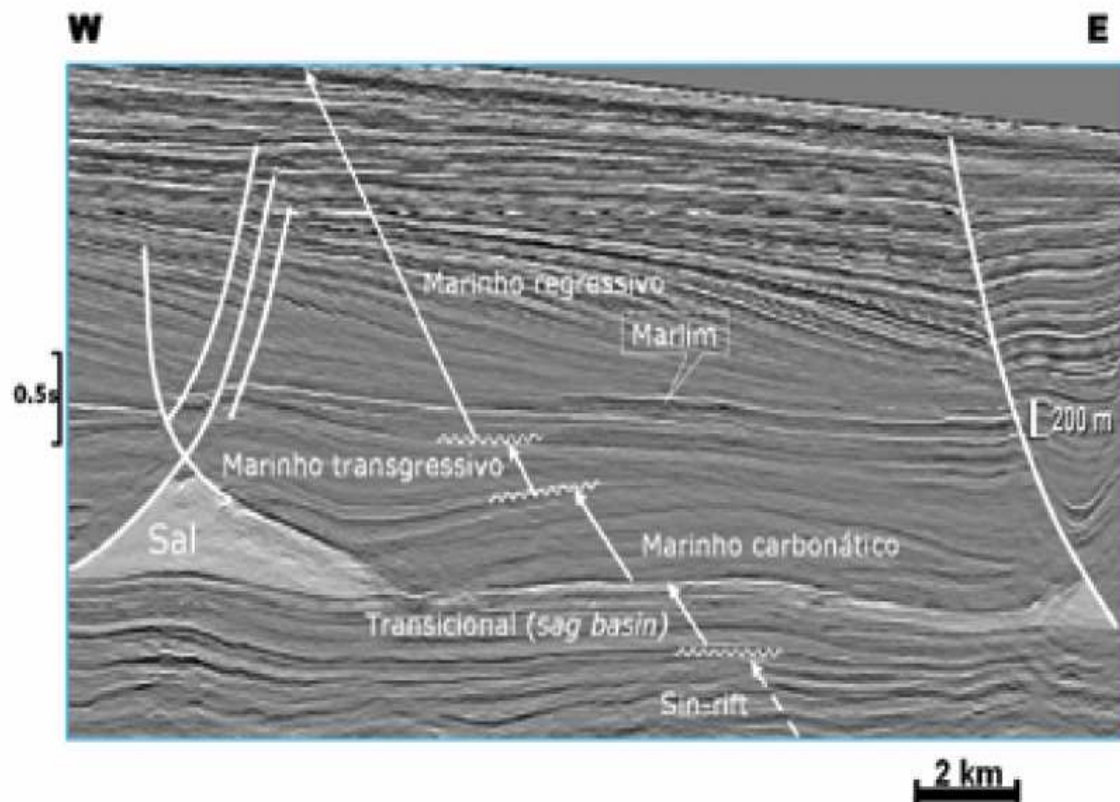


Fig. 7: Seção sísmica com as megassequências associadas às diversas fases evolutivas da margem continental leste brasileira (Bruhn, 2001)

### 3.3. Arcabouço estrutural

De acordo com o Projeto RADAMBRASIL (Folha Rio Doce, 1987), que engloba a área de estudo, a região apresenta um padrão estrutural complexo, o que permitiu a subdivisão da folha mapeada em seis domínios estruturais, discriminados de acordo com as direções predominantes, padrões de dobramento e associações litológicas. Entretanto, na área estudada só estão presentes quatro domínios, os quais são descritos a seguir.

- **Domínio II:** Envolve exclusivamente rochas plutônicas associadas ao Ciclo Brasileiro, com posicionamento sin, tardi e pós-tectônico. As direções preferenciais são: NE-SW (Alinhamento Itinga-Jequitinhonha), NNE-SSW e NNW-SSE. Estende-se desde o extremo noroeste da área estudada até a região de Aimorés (MG), e as principais estruturas correspondem a *stocks* e batólitos.

- **Domínio III:** Constitui uma faixa submeridiana que atravessa a porção centro-oriental da área estudada, abrangendo as unidades pré-cambrianas dos Complexos Paraíba do Sul e Montanha. Caracteriza-se por apresentar padrões de dobramento típicos das unidades citadas, e também por expressivos lineamentos resultantes de intensa tectônica rúptil (Alinhamento Vitória-Ecoporanga ou Zona de Cisalhamento Colatina). Apesar da diversidade de direções estruturais, predomina o sistema NNW-SSE.

- **Domínio IV:** Ocupa toda a extensão litorânea na porção oriental da área estudada, correspondendo à Cobertura Tabular Costeira. Reúne essencialmente os sedimentos terciários subhorizontais do Grupo Barreiras, além de depósitos quaternários marinhos e continentais. Mesmo assim, observa-se a presença de estruturas herdadas do embasamento, como falhas normais NW-SE. Mello *et. al.* (2005a) descrevem reativações neotectônicas de estruturas do embasamento que se refletem no padrão de drenagem, destacando o sistema de lagoas da região de Linhares, orientadas segundo a direção NW-SE.

- **Domínio V:** Ocupa o extremo sudoeste da área estudada e apresenta grande complexidade estrutural, com deformações polifásicas associadas a migmatização e intrusões ígneas. Engloba as unidades mais antigas da Folha Rio Doce, de idade arqueana e proterozóica inferior, além de supracrustais. As direções preferenciais são NNE-SSW e NW-SE, ambas seccionadas pelo sistema N 60 E (Alinhamento Ipanema-Nova Venécia).

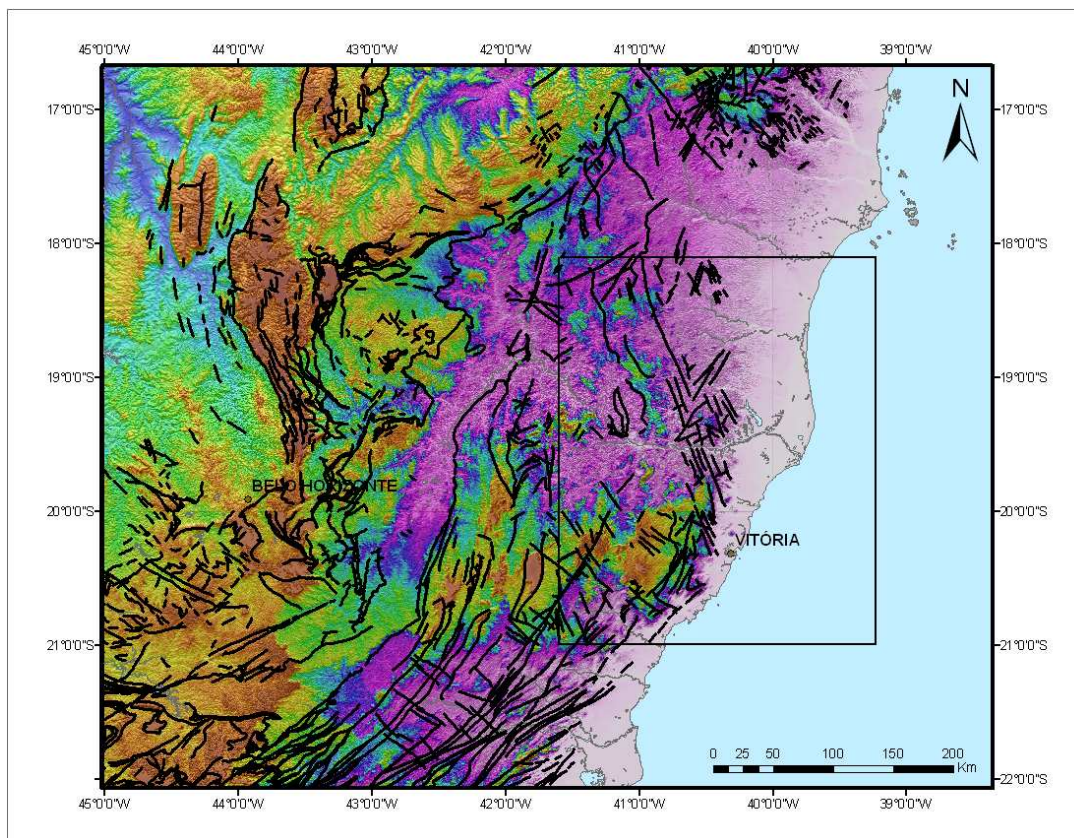


Fig. 8: Fisiografia de parte da região sudeste, com indicação da área de estudo (retângulo preto) e principais estruturas (traços pretos), segundo a CPRM (2001)

Para Chang *et al.* (1992), o arcabouço estrutural do embasamento das bacias no leste brasileiro é caracterizado por aspectos regionalmente específicos, que não coincidem necessariamente com os limites litológicos ou de províncias estruturais. O substrato da porção sul da Província Ribeira, formado por rochas que variam de baixo a alto grau metamórfico, é claramente distinto da porção norte, marcada por uma composição relativamente homogênea de rochas com alto grau de metamorfismo. Esta mudança, que é notada a partir do extremo norte da Bacia de Campos (paralelo 21° S) até a bacia de Sergipe-Alagoas (paralelo 11° S), coincide com uma deflexão na direção dos lineamentos de NE para NNE. Ao sul do paralelo 22° S, as direções NE coincidem com as principais zonas de cisalhamento dúctil subverticais da região Sudeste. Os lineamentos NW e NNW incluem zonas de cisalhamento rúptil ou de transferência, das quais a mais expressiva é a Faixa Colatina (na figura 8, atravessando toda a parte central da área de estudo).

Segundo Cordani *et. al.* (1984), a estruturação geral dos terrenos pré-cambrianos segue a direção predominante N-NE. Na área sedimentar, a estruturação em meio-*grabens* controlados por falhas normais sintéticas e antitéticas de alto ângulo reproduz, de maneira aproximada, o estilo estrutural do embasamento. O sistema predominante possui direção N-NE, desenvolvido em resposta a uma distensão aproximadamente E-W a NW-SE durante a fase de *break-up*. Na bacia, entre a região de ocorrência dos sedimentos da fase rifte e o embasamento cristalino aflorante, há uma faixa de aproximadamente 100 km de largura onde os sedimentos terciários depositaram-se diretamente sobre o embasamento. A figura 9 apresenta as principais estruturas das bacias do Espírito Santo e Mucuri.

Cunha (1985), baseando-se na análise de mosaicos de radar e dados de campo, realizou uma integração das bacias do Espírito Santo e sul da Bahia com o embasamento pré-cambriano adjacente, reconhecendo quatro direções estruturais predominantes na área do embasamento aflorante:

- N 20-30<sup>0</sup> E: estruturas mais antigas, associadas geneticamente aos ciclos orogênicos Transamazônico e Brasileiro. São as feições mais importantes na estruturação da bacia, exercendo forte controle sobre a orientação das falhas normais geradas durante a fase rifte, e as manifestações mais expressivas ocorrem a sul e a norte do *Canyon* de Fazenda Cedro;
- N 10-25<sup>0</sup> W: superimpostas às estruturas anteriores, correspondem a zonas de cisalhamento do final do ciclo Brasileiro e caracterizam a Faixa Colatina (Novais *et. al.*, 2004) ou Lineamento Vitória-Ecoporanga (Projeto RADAMBRASIL, 1987). Este sistema desloca o sistema N-NE, através de movimentação sinistral, podendo atingir até 250 km de extensão na área do embasamento aflorante;
- N 60-80<sup>0</sup> E e N 45-60<sup>0</sup> W: originados durante a abertura do Atlântico Sul, correspondem respectivamente a fraturas de extensão e de cisalhamento, estas com reativação neotectônica através de falhas transcorrentes na região de Nova Venécia.

Segundo Gomes *et. al.* (1988), na região centro-sul da bacia predominam falhamentos normais, subparalelos, com direção N 10-20<sup>0</sup> E. Entretanto, nas proximidades do *canyon* de Fazenda Cedro, este sistema é interceptado pelos falhamentos N 10-25<sup>0</sup> W, voltando à direção original ao norte. Para os autores, esta feição indicaria a ocorrência de uma zona de transferência na região.

Como em todas as bacias da margem leste, a fase rifte foi responsável pela geração das falhas normais escalonadas, cuja atividade se estendeu do Neocomiano ao final do Aptiano. A maior parte destes falhamentos apresenta um alto ângulo de mergulho para E; entretanto, ocorrem também falhas com mergulho para W, configurando um típico sistema de *grabens* e *horsts*.

Durante o Alagoas superior, a atuação de zonas de transferência ao longo dos falhamentos NW provocou o surgimento de estruturas compressivas localizadas (Costa, 1988), como os arqueamentos e falhas de empurrão, orientadas a NE, observados ao norte da área emersa da bacia. O evento transcorrente responsável por estas estruturas envolveria um deslocamento sinistral ao longo dos falhamentos NW, gerando compressão localizada e inversão estrutural de falhas normais (Gomes *et. al.*, 1988, *apud* Costa, 1988).

Já durante a fase de deriva continental, o mecanismo de subsidência termal envolveu processos de deformação que afetaram principalmente a cobertura sedimentar, sendo que a sedimentação existente até hoje é controlada pelo fluxo do sal Aptiano. Este tipo de deformação (halocinese) tem origem tanto no basculamento da bacia para leste quanto na sobrecarga litostática diferencial, que é mais pronunciada nas áreas de maior aporte sedimentar (próximas à linha de costa).

Segundo Costa (1988), o basculamento termo-mecânico da bacia teria provocado a reativação de antigas zonas de fraqueza. Este mecanismo seria o responsável pelas falhas existentes na cobertura sedimentar sobreposta aos evaporitos (nos locais onde predomina a anidrita), da mesma forma que Lima (1987) sugeriu para a Bacia de Sergipe-Alagoas.

Outra feição característica é a presença de falhas lítricas associadas à halocinese na seção pós-rifte (figuras 10 e 11), as quais atingem sedimentos de idade eocênica (a norte) até recente (a sul). A superfície de descolamento é representada pela base da seqüência evaporítica. Entretanto, também ocorrem falhas lítricas associadas à acomodação dos domos de sal, com terminações no topo dos mesmos. A orientação destas falhas lítricas geralmente varia entre N-S e NE-SW, mas, na região a leste do Paleocânion de Fazenda Cedro, a orientação é aleatória (Costa, 1988).

O fluxo do sal gerou duas províncias de domos, nas porções norte e sul da bacia, sendo que a magnitude da movimentação permitiu que alguns deles se tornassem perfurantes a ponto de quase atingirem o atual leito marinho.

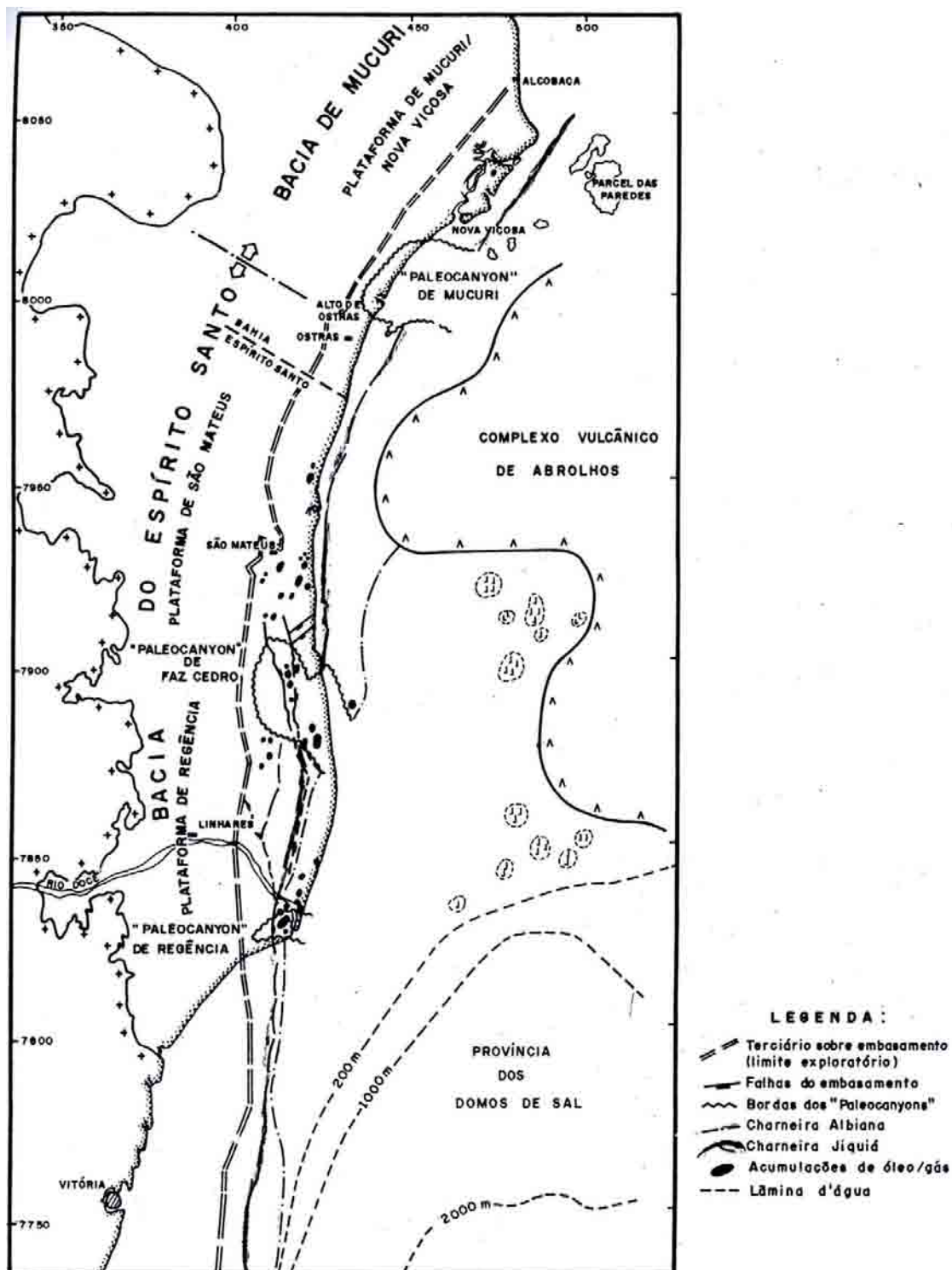


Fig. 9: Arcabouço estrutural simplificado das bacias do Espírito Santo e de Mucuri (segundo Biassusi *et. al.*, 1990).

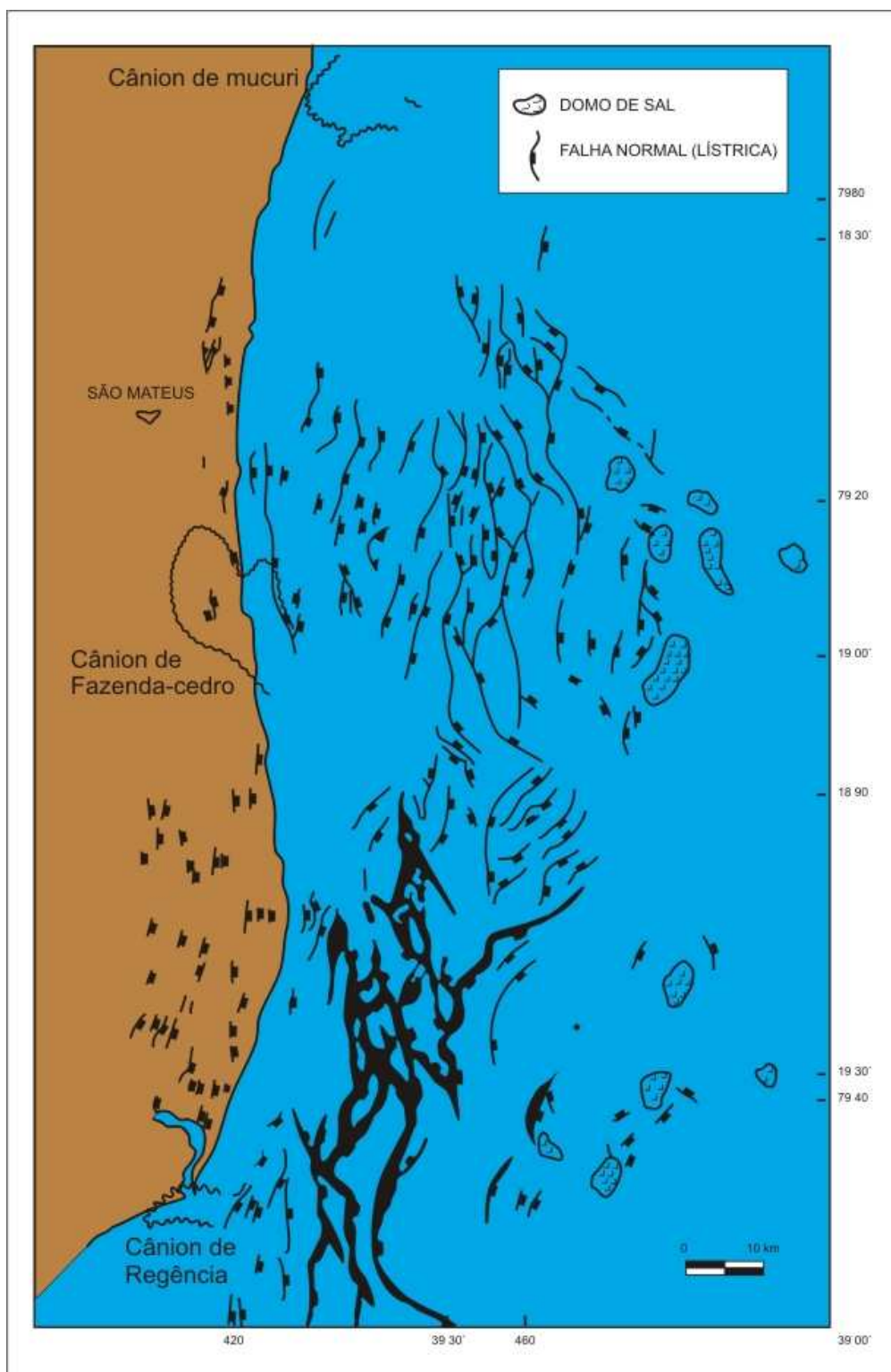


Fig. 10: Mapa estrutural sísmico do topo do Albiano-Cenomaniano (modificado de Gomes *et. al.*, 1988, *apud* Costa, 1988).

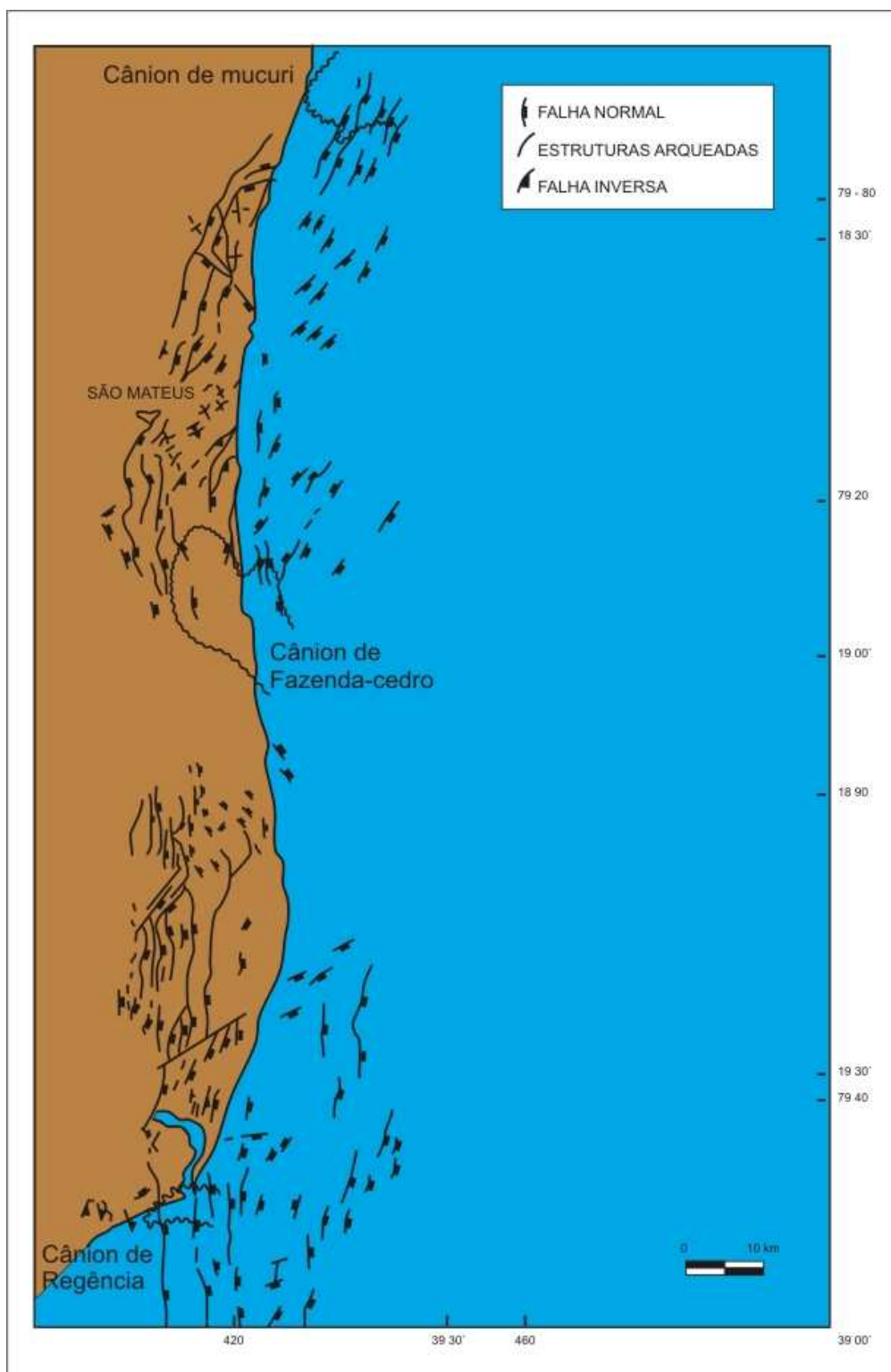


Fig. 11: Mapa estrutural sísmico da base dos evaporitos (modificado de Gomes *et. al.*, 1988, *apud* Costa, 1988).

### 3.4. Arcabouço litoestratigráfico

#### 3.4.1) Embasamento cristalino

De acordo com o Projeto Radambrasil (*op. cit.*), as unidades litológicas pré-cambrianas com maior distribuição em superfície na região estudada são:

**1) Complexo Pocrane** – Predominante na porção sudoeste da área de estudo, é constituído por rochas de médio a alto grau metamórfico, de idade Proterozóica Inferior. Os tipos litológicos incluem biotita e hornblenda gnaisses, migmatitos com paleossomas gnáissicos e anfibolíticos, e ortognaisses de composição granodiorítica a tonalítica.

**2) Complexo Paraíba do Sul** – Apresenta ocorrência generalizada, predominando na porção centro-sul sob a forma de uma faixa alongada na direção N-S. Compõe-se de rochas de médio a alto grau metamórfico, com datações do início do Proterozóico Superior. As rochas mais representativas são migmatitos com paleossoma de biotita e/ou hornblenda-granada gnaisses, kinzigitos, calcossilicatadas, anfibolitos e mármores.

**3) Complexo Montanha** – Distribui-se ao longo de uma faixa alongada na porção centro-norte da área. Juntamente com as rochas do Complexo Paraíba do Sul, forma o substrato limítrofe aos sedimentos da Formação Barreiras, além de representar a zona principal de ocorrência dos extensos lineamentos NNW-SSE associados à Faixa Colatina. É composto por gnaisses graníticos ricos em biotita, granada, sillimanita e cordierita, com enclaves xenolíticos e surmicáceos. As datações indicam idades do Proterozóico Superior.

**4) Complexo Medina** – Ocorre principalmente na porção norte da região, com datações indicando idades do Proterozóico Superior. São rochas ígneas de composição granítica a granodiorítica, granulação média a grosseira, equigranulares a porfiróides e com estrutura desde maciça até foliada.

**5) Suíte Intrusiva Galiléia** – Predomina na porção sul da área estudada, possui datações do Proterozóico Superior e é composta por rochas ígneas de composição muito variada (tonalítica, granodiorítica, diorítica e até granítica) e granulação média.

**6) Suíte Intrusiva Aimorés** – Forma corpos individuais de formas irregulares, notadamente na porção central da região, de composição charnoquítica (ortopiroxênio granitóides, graníticos a tonalíticos, maciços ou foliados, grosseiros e de cor verde escura).

### 3.4.2) Sequências sedimentares

Vieira *et al.* (1994) redefiniram o arcabouço estratigráfico da bacia, introduzindo algumas modificações em relação à proposta inicial de Asmus *et al.* (1971), mas procurando manter ao máximo as seções-tipo e caracterizações originais. Para os autores, a separação entre as bacias do Espírito Santo e de Mucuri não se baseia em critérios geológicos, pois suas unidades litoestratigráficas e estruturas são similares, exibem continuidade lateral e são constituídas pelos litotipos abaixo descritos:

**A) Rochas ígneas:** associadas a dois períodos distintos de vulcanismo. O mais antigo (idade neocomiana/barremiana) compõe-se de basaltos toleíticos da Formação Cabiúnas e está relacionado ao início da fase rifte (vulcanismo continental pré- *break-up*). Tais rochas constituem o embasamento econômico das unidades sedimentares, sendo correlacionáveis aos derrames basálticos da Formação Serra Geral na bacia do Paraná e às vulcânicas presentes no embasamento das bacias da margem sul-sudeste (Fm. Cabiúnas na Bacia de Campos, Fm. Camboriú na Bacia de Santos e Fm. Imbituba na Bacia de Pelotas). O evento vulcânico mais recente (idade eoterciária) possui natureza alcalina e está associado a vulcanismo intraplaca, sendo representado pela Formação Abrolhos (ver ítem 3.5).

#### **B) Rochas sedimentares**

**1) Grupo Nativo** – Designação proposta por Asmus *et al.* (1971) para os sedimentos posicionados entre o embasamento e os folhelhos da Formação Urucutuca. Este pacote é composto por clásticos de granulometria grossa, folhelhos e bancos de calcários não-marinhos. O topo da unidade é caracterizado por uma seqüência evaporítica.

**1.1) Formação Cricaré** – termo introduzido por Rangel *et al.* (1990) *apud* Vieira *et al.* (1994) para identificar a maior parte do pacote sedimentar descrito por Asmus *et al.* (*op. cit.*) como Formação Mariricu/Membro Mucuri. Vieira *et al.* (1994) separaram a Formação Cricaré do Membro Mucuri utilizando como limite a Discordância Pré-Neo-Alagoas. É composta por arenitos e conglomerados arcoseanos (Membro Jaguaré) intercalados com folhelhos cinzentos calcíferos, siltitos, coquinas, calcilutitos e dolomitos (Membro Sernambi) e com as vulcânicas da Formação Cabiúnas.

Os contatos inferiores e superiores da Formação Cricaré são discordantes com o embasamento e com os arenitos do Membro Mucuri. A idade corresponde aos andares Rio da Serra, Aratu, Jiquiá e Eoalagoas, com base em dados palinológicos e de ostracodes. As rochas da Formação Cricaré foram depositadas em ambiente continental e caracterizam leques aluviais, sistemas fluviais entrelaçados e lagos (Vieira *et al.*, 1994).

**1.2) Formação Mariricu** – proposta por Asmus *et al.* (1971) para designar o pacote de rochas situado entre o embasamento e o topo da seqüência de evaporitos. Vieira *et al.* (1994) mantêm este nome apenas para as rochas pertencentes ao intervalo superior definido por Asmus *et al.* (*op. cit.*). Datações com ostracodes e palinomorfos conferem idade Neo-Alagoas à Formação Mariricu.

O Membro Mucuri (basal) é constituído por arenitos e conglomerados intercalados com folhelhos e siltitos depositados por sistemas aluviais, fluviais e deltaicos. Sobrepostos a estes clásticos ocorrem os evaporitos do Membro Itaúnas, depositados em ambiente de *sabkha* e representados por anidrita e halita intercaladas com finas camadas de folhelhos. Constituem o registro das primeiras incursões marinhas na bacia sob condições restritas de circulação de água e clima árido (Vieira *et al.*, 1994; Biassusi *et al.*, 1990).

**2) Grupo Barra Nova** – Asmus *et al.* (1971) propuseram o termo Formação Barra Nova para designar o pacote de rochas situado entre os evaporitos do Membro Itaúnas e os folhelhos da Formação Urucutuca. Vieira *et al.* (1994) elevaram esta unidade à categoria de grupo e, da mesma forma, os membros São Mateus e Regência à categoria de formação.

**2.1) Formação São Mateus** – caracterizada por espessos pacotes de arenitos grosseiros. Os clásticos desta formação foram depositados por leques aluviais e costeiros, em ambiente marinho proximal. O contato inferior é concordante com a Formação Mariricu e o contato superior é gradacional ou interdigitado lateralmente com a Formação Regência ou discordante com o Grupo Espírito Santo. As análises de foraminíferos plantônicos, nanofósseis calcários e palinomorfos fornecem uma idade albiana (Vieira *et al.*, 1994).

**2.2) Formação Regência** – termo introduzido por Asmus *et al.* (1971) para denominar a espessa seqüência carbonática que ocorre abaixo dos folhelhos da Formação Urucutuca. A Formação Regência caracteriza-se por calcarenitos e calcilitos depositados em plataforma e talude cujas análises bioestratigráficas conferem-lhe idade albiana. O

contato inferior é gradacional com as formações São Mateus e Mariricu ou discordante com o embasamento (Vieira *et al.*, 1994).

Durante o Albo-Cenomaniano a bacia evoluiu para condições marinhas rasas, favorecendo o desenvolvimento de uma ampla plataforma carbonática, assoreada, na porção oeste, por um sistema de leques costeiros. O estilo estrutural é controlado pela halocinese, com falhas lítricas, arqueamentos e anticlinais tipo “casco de tartaruga”.

**3) Grupo Espírito Santo** – foi formalizado por Asmus *et al.* (1971) constando, originalmente, de duas formações interdigitadas: Rio Doce (clástica arenosa), e Caravelas (carbonática). Em 1977, Ojeda *apud* Vieira *et al.* (1994) incorporou a Formação Urucutuca no grupo, por considerar que todas fazem parte de um mesmo sistema deposicional.

**3.1) Formação Urucutuca** – engloba folhelhos com intercalações de conglomerados, calcários e arenitos na região proximal; na porção distal ocorre a predominância de sedimentos pelíticos sobre os clásticos e os carbonáticos. Os contatos superior e lateral da Formação Urucutuca com as formações Rio Doce e Caravelas são transicionais, marcados pelo aumento gradual de pacotes de arenitos e carbonatos. O contato inferior com o Grupo Barra Nova é discordante (Discordância Pré-Urucutuca), possivelmente passando a concordante na porção mais distal da bacia.

A partir da análise de nanofósseis calcários, foraminíferos plantônicos e palinórfos, a idade da Formação Urucutuca abrange desde o Turoniano até o Neoceno, na região emersa, Cenomaniano ao Plioceno na plataforma continental e Cenomaniano a Recente na região de águas profundas. O ambiente de deposição interpretado para este pacote é de talude e bacia, onde os clásticos mais grossos resultam de correntes de turbidez (Vieira *et al.*, 1994).

**3.2) Formação Caravelas** – Asmus *et al.* (1971) formalizaram este pacote carbonático constituído, predominantemente, por calcarenitos bioclásticos e calcilitos. Todos os contatos, inferior, superior e lateral, são gradacionais com as formações Urucutuca e Rio Doce. Localmente, os carbonatos assentam-se sobre as rochas vulcânicas da Formação Abrolhos. A partir da presença de foraminíferos bentônicos, foi atribuída uma idade terciária para a Formação Caravelas, entre o Meso-eoceno e o Holoceno. O sistema deposicional característico é de uma plataforma carbonática (Vieira *et al.*, 1994).

**3.3) Formação Rio Doce** – proposta por Asmus *et al.* (1971) para designar a seção essencialmente arenosa associada com os carbonatos da Formação Caravelas e sobreposta aos folhelhos da Formação Urucutuca, é constituída por arenitos de granulometria média a grossa com intercalações de folhelhos e argilitos. O contato inferior é gradacional com as formações Urucutuca e Caravelas ou discordante com as formações Regência, São Mateus e Mariricu ou com o embasamento (Vieira *et al.*, 1994). O contato superior é discordante com a Formação Barreiras e com os sedimentos quaternários. Palinomorfos e foraminíferos bentônicos forneceram uma idade do Eoceno até o Neomioceno. Os sistemas deposicionais característicos são leques costeiros em ambiente marinho.

**4) Formação Barreiras** – o termo Formação Barreiras foi utilizado pela primeira vez por Oliveira e Leonardos (1943) e formalizado por Vianna *et al.* (1971) para designar os tabuleiros da margem costeira atlântica, os quais são formados por sedimentos continentais heterogêneos e imaturos (conglomerados polimíticos, arcóseos, argilitos e folhelhos de cores variadas). Estudos de fósseis vegetais conferiram idade pliocênica a estes sedimentos (Carvalho & Garrido, 1965, *apud* Vieira *et al.*, 1994).

A seguir, são apresentadas uma seção geológica típica (Fig. 12) e a carta estratigráfica atualizada (Fig. 13) da Bacia do Espírito Santo.

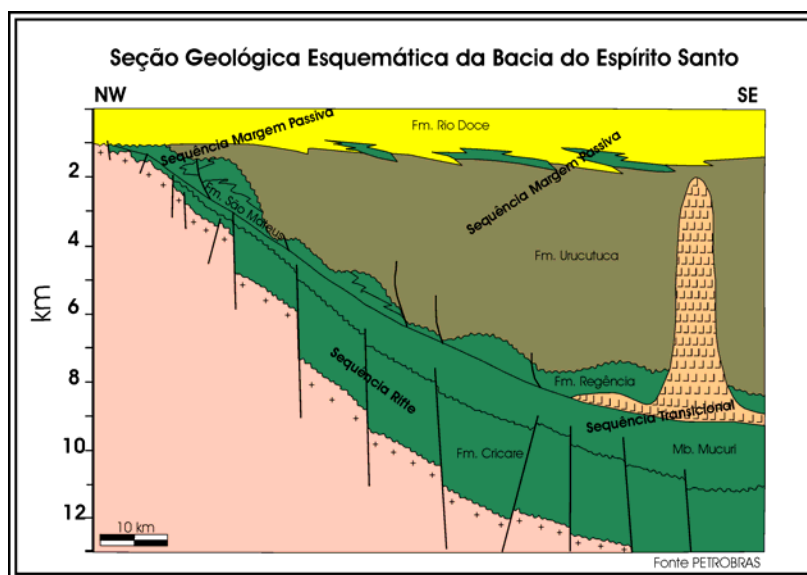


Fig. 12: Seção geológica esquemática da Bacia do Espírito Santo, podendo-se observar os estilos estruturais e as relações entre as unidades estratigráficas (ANP, 2006).



### 3.5. Magmatismo

Mizusaki *et. al.* (1994) identificaram dois eventos magmáticos distintos na região das bacias do Espírito Santo, Mucuri e Cumuruxatiba. O mais antigo, com datações K/Ar entre 120 e 136 Ma (Eocretáceo), é de origem básica (toleítica) e possui uma área de afloramento (ou com poços amostrados) restrita à porção terrestre da bacia do Espírito Santo, recebendo a denominação de Formação Cabiúnas. O evento mais recente, de idade Paleoceno Inferior/Eoceno (37 a 59 Ma), é caracterizado por uma associação complexa entre rochas ígneas de composição toleítica a alcalina, rochas vulcanoclásticas e intercalações de sedimentos. Tal associação recebe a denominação de Formação Abrolhos.

Conceição *et. al.* (1996), analisando o campo de *stress* atuante durante o vulcanismo em Abrolhos, confirmaram a interpretação de Szatmari & Mohriak (1995), que associam o tectonismo eocênico ao incremento dos esforços compressivos na Placa Sul-Americana, em resposta às forças colisionais da subducção andina e à força de *ridge push* exercida pela Dorsal Meso-Atlântica. Estas tensões seriam suficientes para reativar as zonas de falhas transcorrentes NE-SW do embasamento, na região sudeste do Brasil, e também as zonas de fratura oceânica de direção E-W. Neste último caso, o regime transtensivo atuante ao longo da Cadeia Vitória-Trindade teria proporcionado a inserção dos condutos na direção E-W, facilitando e controlando a ascensão do magma (Fig. 14).

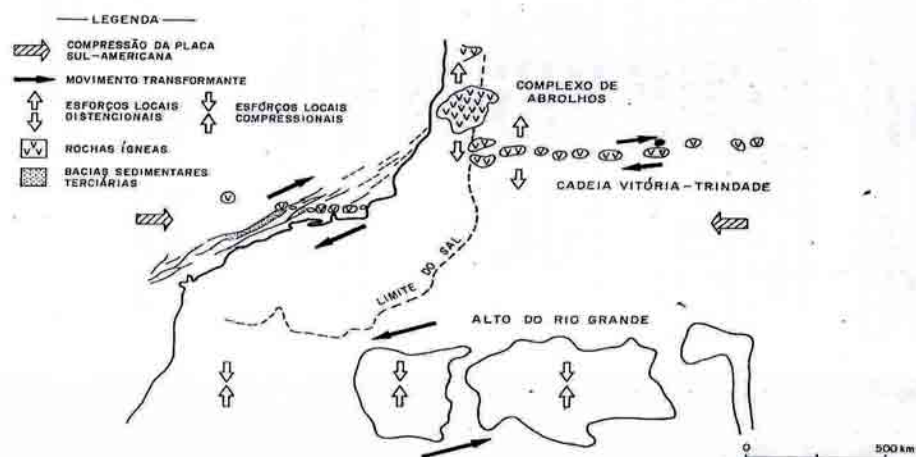


Fig. 14: Movimentos relativos entre microplacas na margem continental da região sudeste durante o Terciário (modificado de Szatmari & Mohriak, 1995).

Guerra & Szatmari (1994) interpretaram feições indicativas da alteração do fluxo de sal na bacia do Espírito Santo, induzida pelo vulcanismo eoterciário (Fig.15). Tal fenômeno ocorreu, durante o evento vulcânico, devido ao aumento da fluidez do sal provocada pela elevação da temperatura, gerando diápiros estreitos e verticalizados, e facilitando a intrusão do sal nos sedimentos. Após o vulcanismo, as construções vulcânicas, além de barrarem o fluxo do sal em direção ao oceano, produziram uma sobrecarga com tendência a expulsar o sal subjacente em direção à costa, invertendo estruturalmente o fluxo e induzindo a compressão do sal ao longo de falhas lístricas, originalmente extensionais (Guerra, 1989).

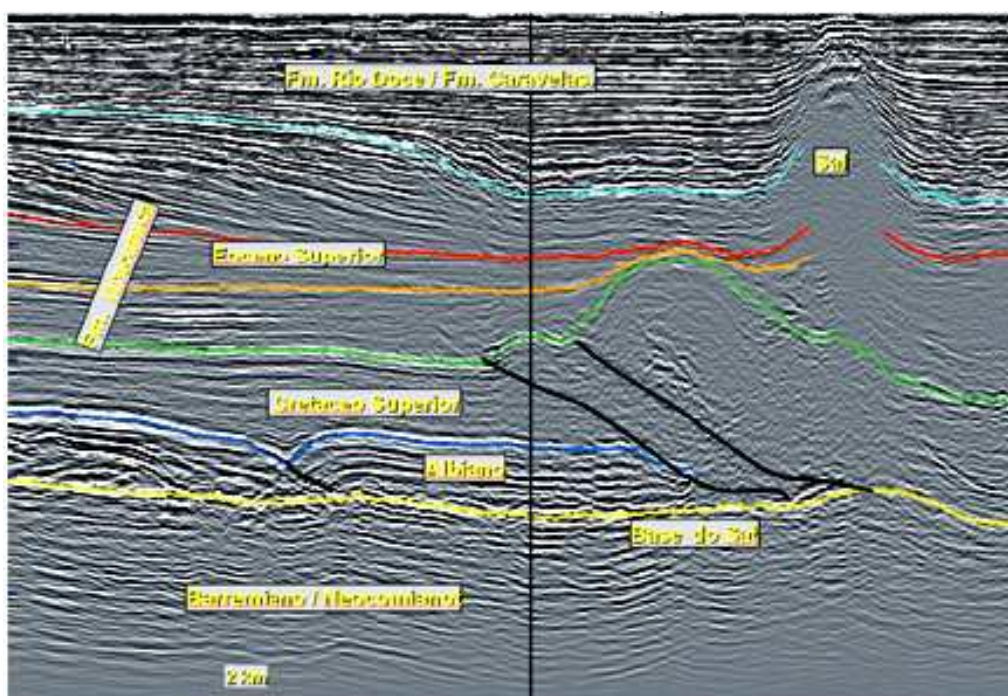


Fig. 15: Tectônica de sal na região de Abrolhos, onde a sobrecarga das vulcânicas sobre a seção sedimentar pós-rifte induziu a formação de frentes de empurrão em direção ao continente (Van der Ven *et. al.*, 1998).

Thomaz Filho & Rodrigues (1999), através de extensa pesquisa bibliográfica e integração de dados geológicos/geocronológicos, fisiografia/batimetria da margem leste e localização dos campos de petróleo da Bacia de Campos, corroboram interpretações anteriores sobre a associação do alinhamento de rochas alcalinas Poços de Caldas-Cabo

Frio com a passagem da Placa Sul-americana sobre um *hot spot* após a ruptura continental Brasil-África, bem como sua continuidade ao longo da Cadeia Vitória-Trindade através de uma inflexão de direção NE-SW. Este deslocamento relativo para NE do *hot spot* alimentador das alcalinas pode ser explicado pela pronunciada rotação horária, no sentido SW, sofrida pela Placa Sul-Americana desde o Cretáceo superior, notadamente no Eoceno.

Por outro lado, Sobreira & Szatmari (2001) reconhecem a extensão do complexo vulcânico de Abrolhos para leste, em direção à Cadeia Vitória-Trindade. Segundo os autores, a anomalia térmica mantélica começou a se manifestar na região de Abrolhos durante o Paleoceno, provocando a ascensão do magma através de falhas normais NE-SW herdadas da fase rifte, sobre crosta continental estirada. Durante o Eoceno, a reativação do lineamento Vitória-Trindade, através da componente tracional N-S associada à movimentação de uma microplaca (situada entre a Cadeia Vitória-Trindade e a Elevação do Rio Grande) para SW, permitiu a concentração do magmatismo ao longo da cadeia, permanecendo na região de Abrolhos uma atividade ígnea residual e localizada. Para estes autores, há contemporaneidade entre o alinhamento Poços de Caldas-Cabo Frio e o complexo vulcânico de Abrolhos, já que as datações radiométricas Ar-Ar indicam idades semelhantes para as duas feições.

Mohriak et. al. (2003) e Mohriak (2006), com base em levantamentos de campo, dados geofísicos e datações geocronológicas provenientes de amostras das ilhas do Arquipélago de Abrolhos, apresentam uma nova interpretação tectono-sedimentar para a região, propondo a existência de sedimentos com *status* de reservatório abaixo das rochas vulcânicas, incluindo arenitos grosseiros e conglomerados em canais que seriam exemplos de depósitos turbidíticos, de idade neocretácica a eocênica. Os sedimentos são capeados pelas rochas vulcânicas (datadas entre 40 e 60 Ma, com ápice no Eoceno), e o soerguimento das ilhas seria contemporâneo ou posterior ao vulcanismo, estando associado a tectonismo compressional e à tectônica do sal. O soerguimento apresentaria um clímax em torno de 50 Ma, com indicações de um pulso mais recente (Neogeno), e seria o responsável por discordâncias angulares visualizadas em linhas sísmicas.

Novais et. al. (2004) registram a ocorrência de um dique de diabásio intrudido em granitos de idade Brasiliana, denominado pelos autores de Dique Vitória, situado nas proximidades da capital capixaba. O dique possui direção NNW-SSE, coincidente com a

Faixa Colatina, uma feição do Proterozóico Superior caracterizada por reativações tectônicas recorrentes. Os autores inferem uma possível contemporaneidade com diques da região de Santa Leopoldina, cujas datações Ar-Ar revelaram idade neocomiana, e correlacionam a intrusão do Dique Vitória com a distensão da crosta ocorrida no processo de rifteamento da Placa Sul-americana. Segundo os autores, as acumulações de petróleo na porção *offshore* da Bacia do Espírito Santo alinham-se segundo as direções NW-SE e NNW-SSE, o que evidencia o controle da migração e do posicionamento das acumulações através de reativações tectônicas recorrentes das estruturas mais antigas.

Para Sobreira (1996) e Sobreira & França (2006), o Complexo Vulcânico de Abrolhos (CVA) apresenta alguns aspectos positivos para os processos de geração, migração e formação de trapas, contribuindo também para o potencial exploratório da região (Fig.16). Segundo os autores, as rochas vulcânicas apresentam uma distribuição heterogênea e não extensiva, aproximando-se de uma forma pseudo-anelar. Tal padrão morfoestrutural assemelha-se a “altos”, muitas vezes exibindo discordâncias (angulares e erosivas) em seus topos. Internamente a esta zona principal de vulcânicas, a bacia seria preenchida por rochas sedimentares ou vulcanoclásticas, onde a menor sobrecarga em relação às áreas adjacentes provocaria a nucleação de domos salinos. Além disso, esta região interna seria o sítio deposicional dos carbonatos, processo favorecido pelas condições ambientais (substrato pouco profundo, temperatura adequada da água, disponibilidade de nutrientes e de luz solar). Tais construções carbonáticas atingiriam um nível próximo ao do topo dos edifícios vulcânicos, sendo que as duas feições são as responsáveis pela expansão e alargamento da plataforma continental neste trecho da margem leste.

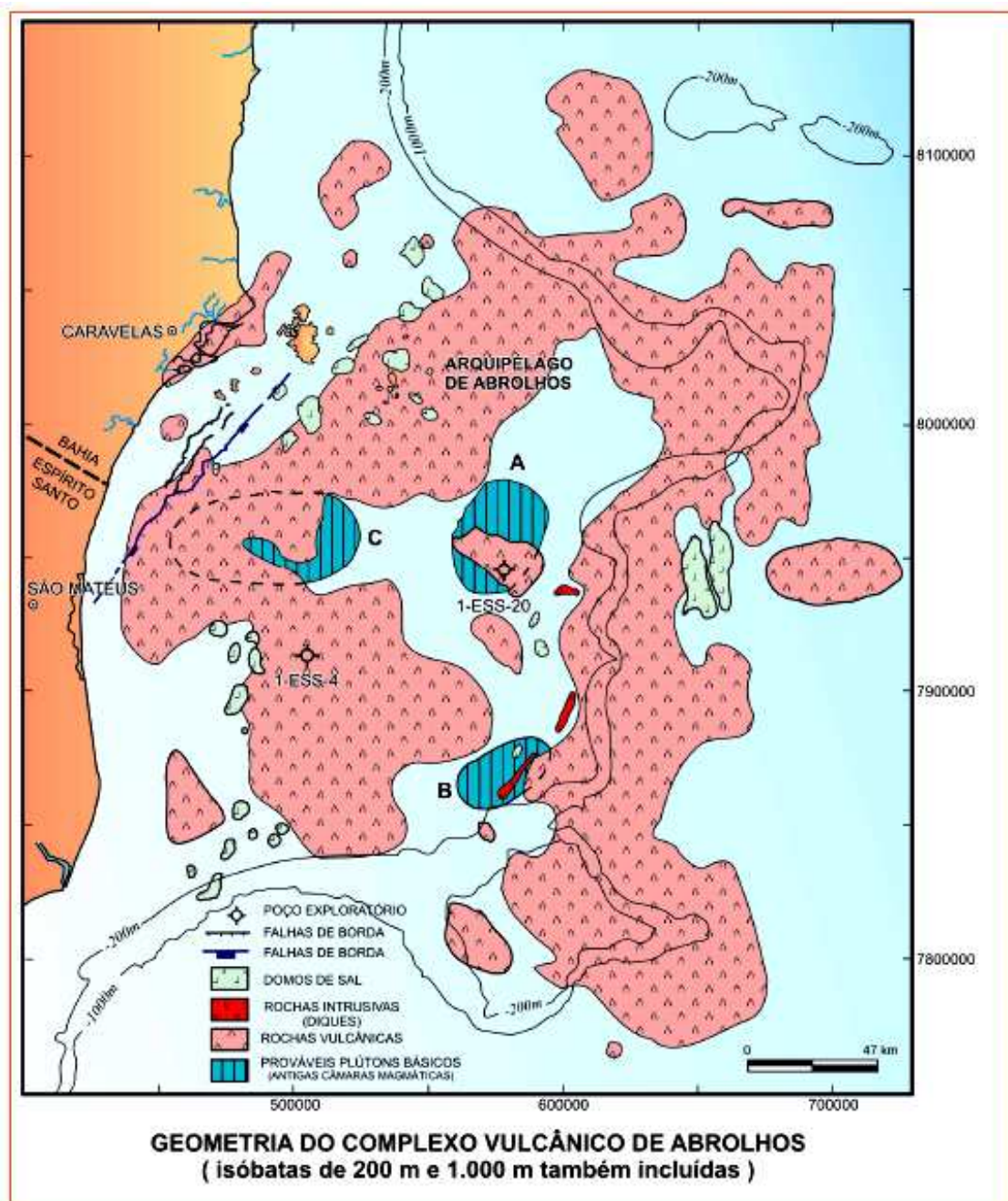


Fig. 16: Modelo tectono-magmático para a região do Complexo Vulcânico de Abrolhos (Sobreira & França, 2006). Projeção Policônica, datum SAD 69.

### 3.6. Sistemas Petrolíferos

Atualmente, são reconhecidos três sistemas petrolíferos na bacia do Espírito Santo:

- **Sistema Petrolífero Cricaré-Mucuri (!)**

Caracteriza-se por óleos gerados pelos folhelhos negros depositados na fase rifte, atribuídos à Formação Cricaré, de idade neobarremiana-eoaptiana (Jiquiá). O ambiente deposicional é representado por lagos extensos com salinidade variando de água doce até salobra, com predominância de querogênio tipo II (Mello & Maxwell, 1990, *apud* Rangel, 2003). Tais folhelhos são considerados os principais geradores da bacia; já os reservatórios são os arenitos flúvio-deltaicos do Membro Mucuri, pertencentes à Formação Mariricu (idade Alagoas), e em menor escala os arenitos turbidíticos da Formação Urucutuca (idade neocretácica) e os arenitos transicionais/plataformais da Formação São Mateus (idade Eoalagoas).

- **Sistema Petrolífero Regência-Urucutuca (!)**

Este sistema é representado pelas rochas geradoras da Fm. Regência, compostas por margas, calcarenitos e calcilitos de idade Albiana, depositados em ambiente marinho nerítico (plataforma e talude), cujas características são a predominância de querogênio tipo II e COT em torno de 1% (com máximo de 4 %). Os reservatórios são representados pelos arenitos turbidíticos da Formação Urucutuca, de idade neocretácea a terciária, ocorrendo sob a forma de corpos confinados em canais. Os selos são os folhelhos negros da mesma Formação Urucutuca, depositados em ambiente marinho profundo (batial a abissal). Como reservatórios secundários, podem ser citados os arenitos das Formações Mariricu, Cricaré e São Mateus, e os calcarenitos da própria Formação Regência.

- **Sistema Petrolífero Urucutuca-Urucutuca (?)**

Este sistema seria caracterizado pela ocorrência de óleos gerados por folhelhos cinza escuros (transgressivos) associados à sequência pós-rifte, posicionados estratigraficamente dentro da Formação Urucutuca (de idade terciária). Segundo D'Ávila *et. al.* (1998), a geradora teria sido depositada em ambiente marinho profundo anaeróbico,

siliciclástico, com forte influência deltaica (presença dos biomarcadores oleanano e diasteranos). Supõe-se a existência de uma espessa fácies geradora madura nas partes mais profundas da bacia, devido ao avançado estágio de evolução térmica dos hidrocarbonetos (de 30 a 52 ° API). Os reservatórios seriam compostos por arenitos turbidíticos da mesma unidade litoestratigráfica, confinados e depositados em depressões criadas por movimentação do sal, durante o Eoceno e o Oligoceno. Os corpos principais seriam representados por arenitos maciços finos a grossos, amalgamados, com raros intervalos argilosos, o que resultaria em uma boa homogeneidade vertical para os reservatórios.

Falhas associadas com a halocinese seriam os prováveis condutos de migração. Os reservatórios seriam selados por folhelhos da própria Fm. Urucutuca. As trapas poderiam ser estratigráficas ou mistas, devido ao desenvolvimento de feições de empurrão, originadas pela reversão do fluxo de sal em direção à costa (ao longo das falhas lítricas originalmente extensionais) como resultado da barreira imposta pelo Complexo Vulcânico de Abrolhos no Eoceno médio. As modelagens geoquímicas sugerem que a geração e migração teriam se iniciado no Neogeno, e os autores concluem que o sistema petrolífero poderia conter reservatórios com volume insuficiente de hidrocarbonetos devido à predominância de migração lateral.

Estrella *et. al.* (1984) realizaram uma extensa caracterização das rochas potencialmente geradoras e das possíveis rotas de migração de hidrocarbonetos, na bacia do Espírito Santo. Os autores analisaram cinco possíveis rochas geradoras, das seguintes idades: Neocomiano inferior, Jiquiá (Neocomiano superior), Alagoas (Aptiano), Albiano-cenomaniano e Cretáceo superior/Terciário inferior. As interpretações apontaram o sistema de idade Jiquiá (Cricaré-Mucuri) como responsável pela geração do óleo encontrado nas principais acumulações *offshore* da bacia (campos de Fazenda Cedro, Cação e Lagoa Parda), enquanto o sistema gerador de idade Alagoas seria o responsável pelos campos de São Mateus e Rio Itaúnas (ambos *onshore*), com uma possível extensão em direção à bacia sob os basaltos do Complexo Vulcânico de Abrolhos. Os autores observaram a ocorrência, na porção *offshore* central da bacia, de uma descontinuidade paleotermal nos perfis de reflectância de vitrinita em alguns poços, o que foi associado ao auge do tectonismo ocorrido durante o Paleoceno/Eoceno inferior, responsável pelo rápido aumento no fluxo de calor e pelo intenso vulcanismo basáltico de Abrolhos.

Quanto às rotas de migração, os autores concluem que, no caso dos reservatórios turbidíticos dos campos de Fazenda Cedro e Lagoa Parda, o contato direto entre a geradora de idade Jiquiá com os reservatórios de idade Cretáceo superior/Terciário inferior facilitou a migração secundária ascendente, através das paredes dos canyons escavados ao longo de toda a seção sedimentar. Assim, os corpos turbidíticos situados na base dos canyons atuaram como coletores de hidrocarbonetos, com os folhelhos marinhos da Formação Urucutuca atuando como selos.

Biassusi *et. al.* (1990) reconheceram 13 *plays* exploratórios na porção emersa da bacia (Fig. 17), reunidos em 3 grupos principais de acordo com a idade dos reservatórios:

**A) *Play* Alagoas**

Reservatórios: pacotes siliciclásticos da Fm. Mariricu

Selos: evaporitos (Mb. Itaúnas)

Trapas: estruturais, subordinadamente estratigráficas (acunhamento da seção contra o embasamento na borda oeste da bacia).

**B) *Play* Albiano-Cenomaniano**

Reservatórios: sedimentos da Fm. Barra Nova (arcósios grosseiros e calcarenitos)

Selos: folhelhos marinhos da Fm. Urucutuca

Trapas: estruturais (falhas lítricas e arqueamentos relacionados ao fluxo de sal) e estratigráficas (variações faciológicas e truncamentos erosivos nas porções proximais).

**C) *Play* Cretáceo superior e Terciário**

Reservatórios: arenitos turbidíticos da Fm. Urucutuca

Selos: folhelhos marinhos (Fm. Urucutuca)

Trapas: estratigráficas (parte emersa) e estruturais (plataforma continental, associadas ao fluxo de sal).

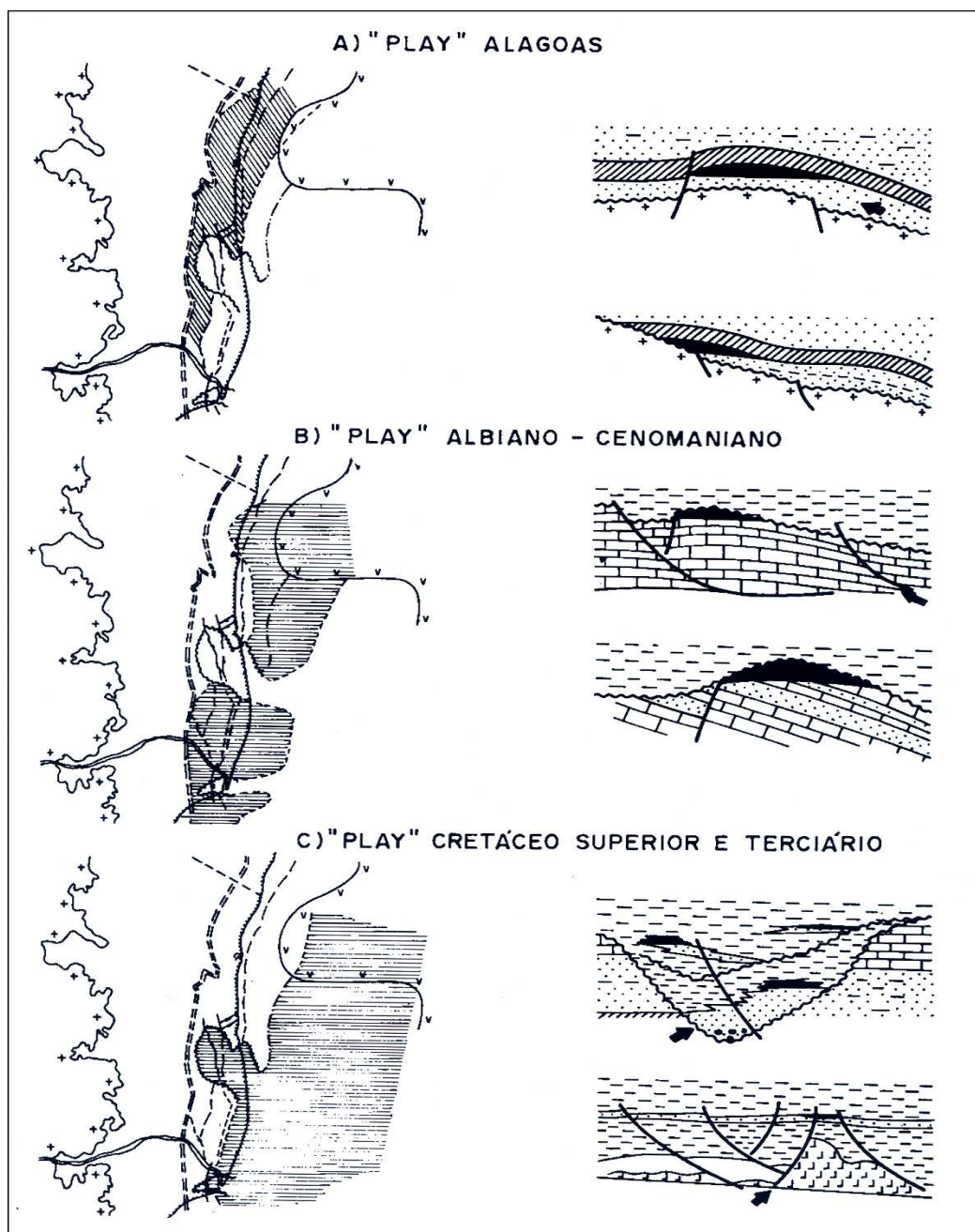


Fig. 17: Modelo dos principais *plays* exploratórios e suas respectivas áreas prospectáveis (Biassusi *et. al.*, 1990).

## CAPÍTULO 4: BASE DE DADOS E MÉTODOS

### 4.1) Introdução

A finalidade da utilização de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, nesta dissertação, é a análise das principais feições e *trends* estruturais presentes no embasamento da bacia, especialmente as estruturas lineares de primeira ordem que, em escala regional, podem contribuir na definição das rotas de migração e acumulação de hidrocarbonetos.

Desta forma, neste trabalho foram utilizadas informações e dados disponíveis em meio digital e impresso, sendo que estes últimos foram georeferenciados para posterior integração em ambiente GIS. O software utilizado para a digitalização das feições lineares, integração dos dados e confecção de mapas foi o *ArcGIS 9.1*, da ESRI.

### 4.2) Trabalhos prévios

As principais fontes utilizadas para a obtenção dos dados culturais e geológicos, além da bibliografia citada no final do texto, foram:

- *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil / Sistema de Informações Geográficas e Mapas*, escala 1: 2.500.000. Lançado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2001) em 4 CD-ROMs, corresponde à reedição, em ambiente GIS e meio digital, do *Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente incluindo Depósitos Minerais*, na mesma escala, publicado em 1982 pelo DNPM.
- *Base Cartográfica do Brasil*, editado pelo IBGE em meio digital, para utilização em ambiente GIS no formato *shapefile*. É a principal fonte dos dados culturais, sobretudo em relação à divisão política, hidrografia, localidades e rede viária.
- *Projeto Radambrasil*, Folha Rio Doce (1987), publicado pelo IBGE dentro do Programa de Levantamento de Recursos Naturais, criado pelo Ministério das Minas e Energia no início da década de 1970. Apresenta o mapeamento geológico da porção centro-norte do Espírito Santo, sul da Bahia e leste de Minas Gerais na escala 1: 1.000.000 (Fig. 18).

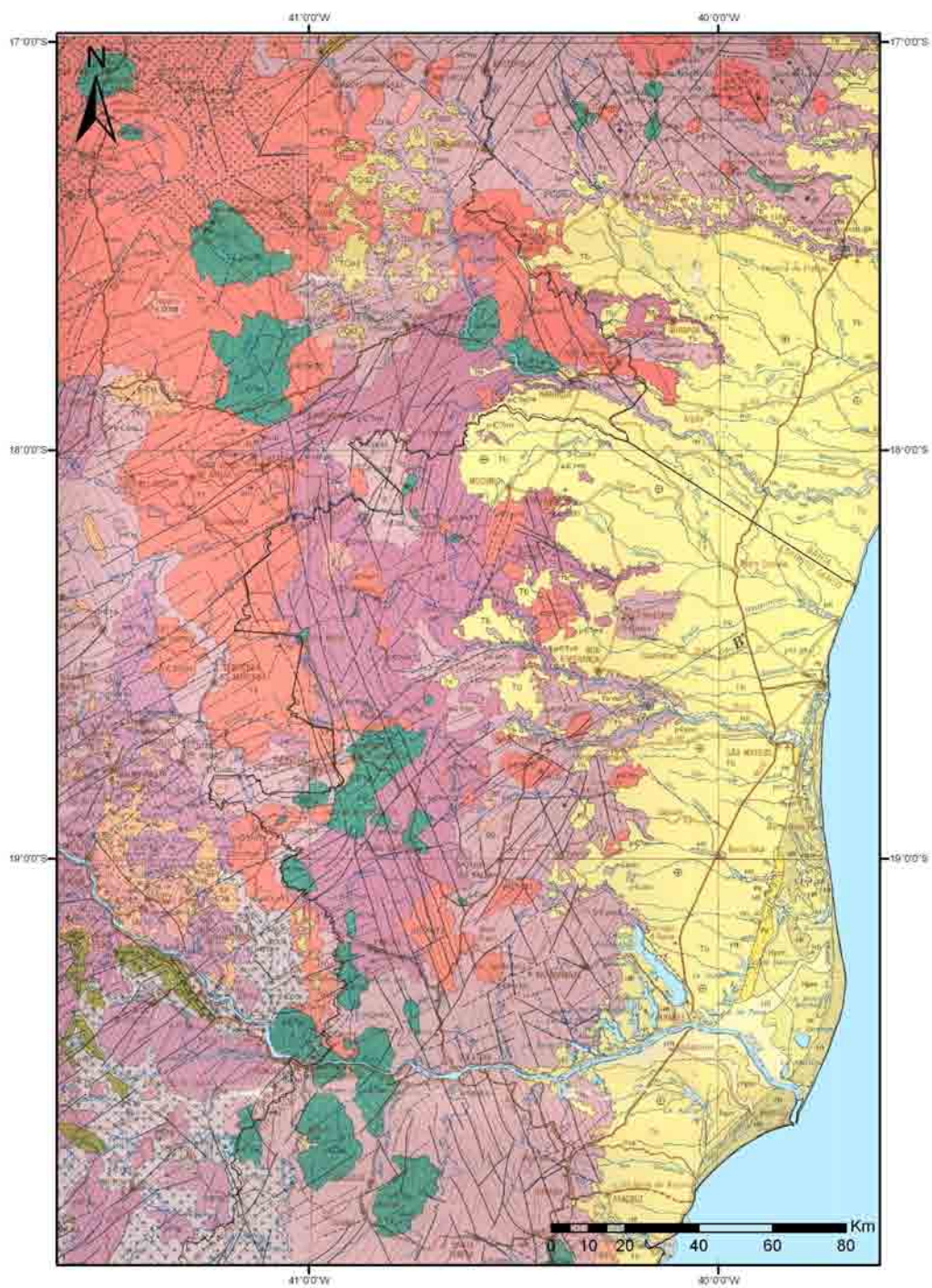


Fig. 18: Mapa geológico das porções centro-norte do Espírito Santo, sul da Bahia e leste de Minas Gerais, segundo o Projeto RADAMBRASIL (Folha Rio Doce, 1987).

### 4.3) Sensoriamento Remoto

A fim de realizar o estudo do arcabouço estrutural do embasamento na região das bacias do Espírito Santo e Mucuri, foram obtidas gratuitamente imagens do satélite LANDSAT-7, cuja área de cobertura total pode ser vista na figura 19.

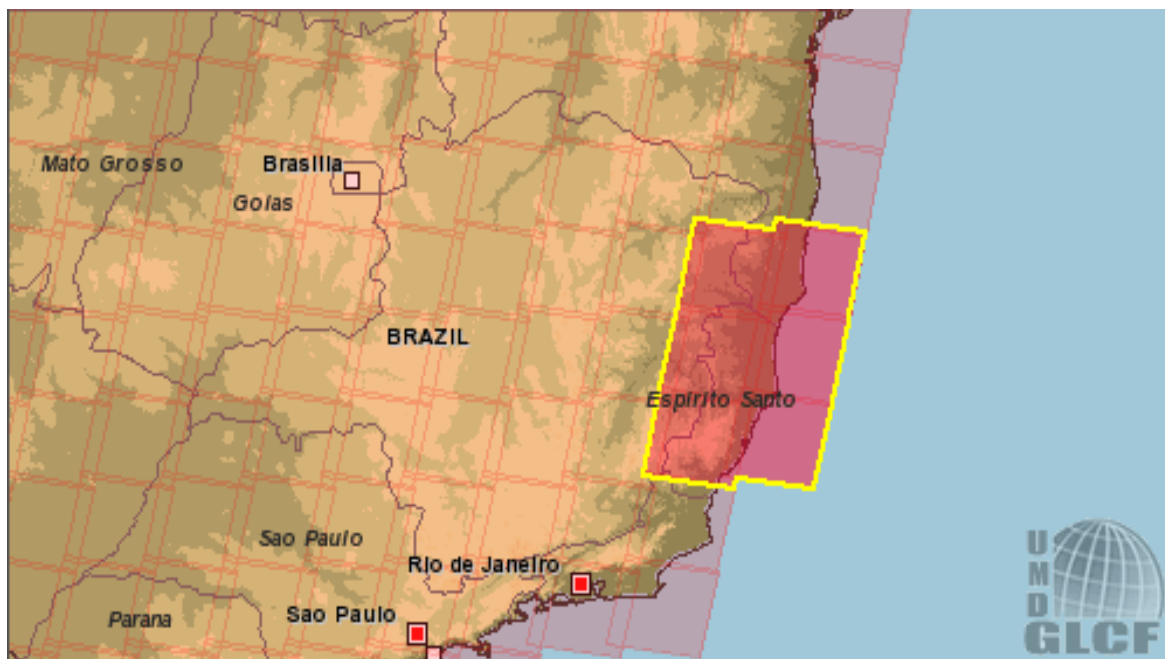


Fig. 19: Cenas do satélite LANDSAT-7 que cobrem toda a região das bacias do Espírito Santo, Mucuri e Cumuruxatiba (esta não incluída no estudo)

Neste trabalho, foram utilizadas 4 cenas, a fim de abranger toda a área de interesse. A identificação e características das cenas selecionadas estão reunidas na tabela abaixo.

ID	Órbita/ponto	Data	Sensor	Formato
<a href="#">035-685</a>	215/073	2001-04-21	Landsat 7 ETM+	GeoTIFF
<a href="#">035-686</a>	215/074	2000-07-23	Landsat 7 ETM+	GeoTIFF
<a href="#">035-702</a>	216/073	1999-08-29	Landsat 7 ETM+	GeoTIFF
<a href="#">035-703</a>	216/074	2002-05-01	Landsat 7 ETM+	GeoTIFF

O programa LANDSAT, desenvolvido pela NASA a partir de 1972 e denominado inicialmente ERTS (*Earth Resources Technology Satellites*), constituiu um marco na pesquisa espacial por seu pioneirismo na obtenção sistemática e contínua de imagens da Terra através de um sensor orbital. Possui uma órbita aproximadamente polar, síncrona com o Sol, a uma altitude de 705 km. O período orbital é de aproximadamente 99 minutos, e a inclinação da órbita em relação ao Equador é de  $98,2^{\circ}$  (Fig. 20).

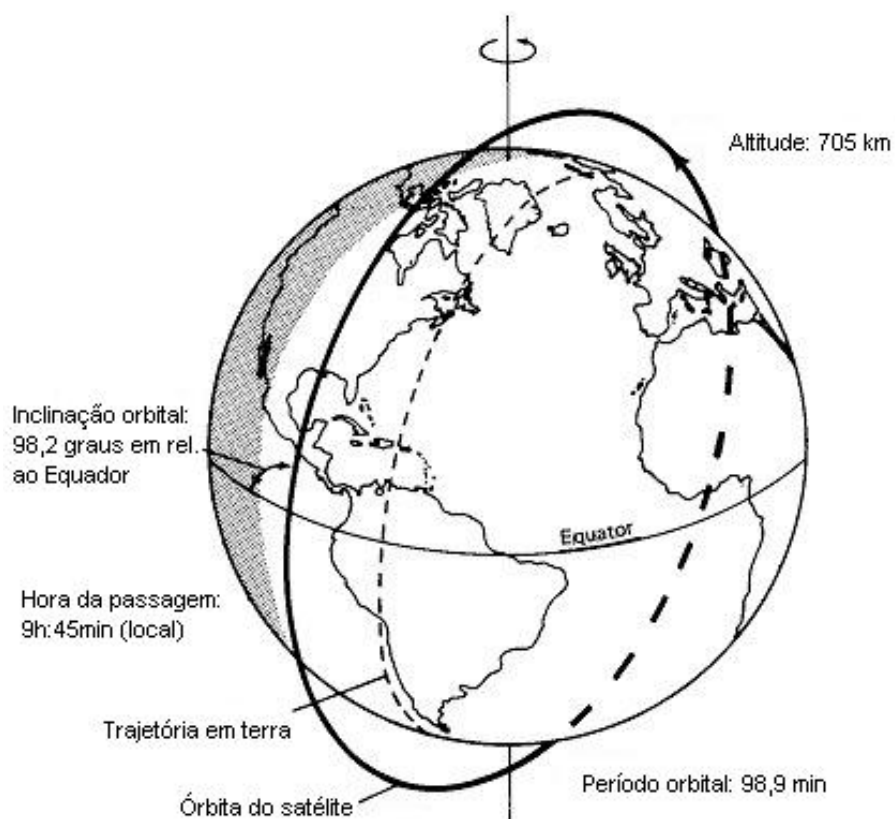


Fig. 20: Características da órbita do satélite LANDSAT-7 (UERJ, 2006)

O imageamento é realizado de norte para sul, ao longo de uma passagem descendente, sendo necessárias 233 órbitas para cobrir todo o planeta. Cada faixa imageada possui uma largura de 185 km e o espaçamento entre órbitas consecutivas é de 2.752 km. Deste modo, são necessários 16 dias para que uma determinada faixa seja novamente coberta pela passagem do satélite (Fig. 21).

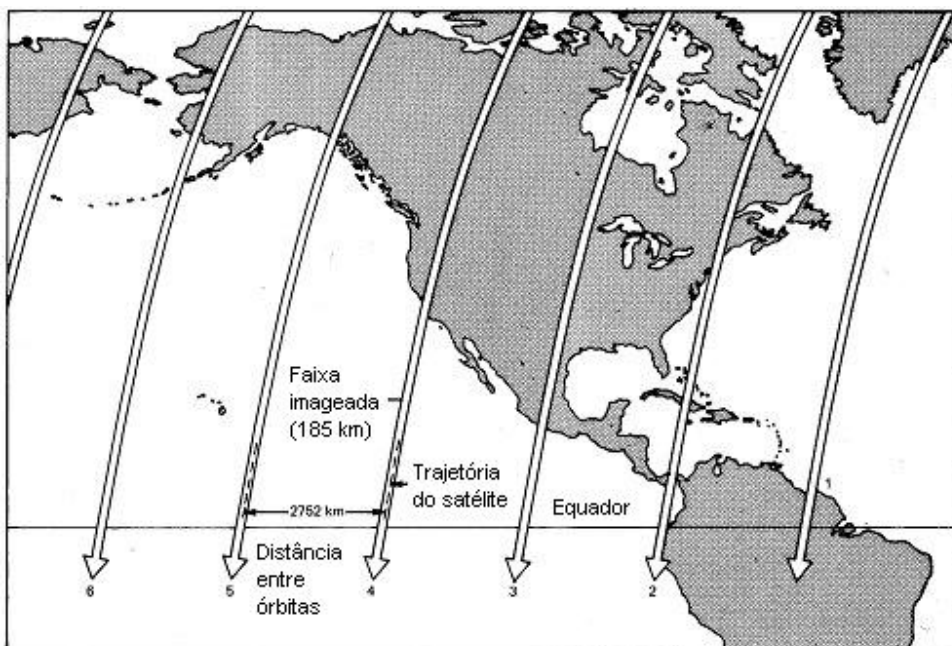


Fig. 21: Órbitas consecutivas do satélite LANDSAT-7, com indicação da largura da faixa imageada e da distância entre cada passagem sucessiva (UERJ, 2006).

Neste trabalho, o último satélite da série, lançado em 1999, batizado LANDSAT-7, equipado com o sensor ETM+ (da sigla *Enhanced Thematic Mapper*), é o responsável pelas cenas utilizadas na montagem do mosaico georeferenciado. O sensor óptico caracteriza-se por receber a energia em uma faixa específica de comprimento de onda do espectro eletromagnético (Fig. 22).

O sensor ETM+ é do tipo passivo, captando a radiação, refletida ou emitida pelos alvos, proveniente de uma fonte externa (luz solar). Ele opera em 8 bandas espectrais, cobrindo o intervalo entre a luz visível e o infravermelho (IV) do espectro eletromagnético (Fig. 23). A resolução é de 30 metros para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 (luz visível até IV médio), 15 metros para a banda 8 (pancromática) e 60 metros para a banda 6 (IV termal).

A principal desvantagem deste tipo de sensor é a dependência das condições atmosféricas, já que as imagens captadas sofrem a interferência de nuvens ou nevoeiro. Entretanto, como o imageamento é contínuo, uma mesma região é orbitada a cada 16 dias, favorecendo a obtenção de cenas limpas. Além disso, as cenas são captadas sempre no horário de 9:45 da manhã (hora local), com uma insolação proveniente de E-NE. Assim, há uma tendência de realce dos alvos posicionados perpendicularmente à direção de insolação.

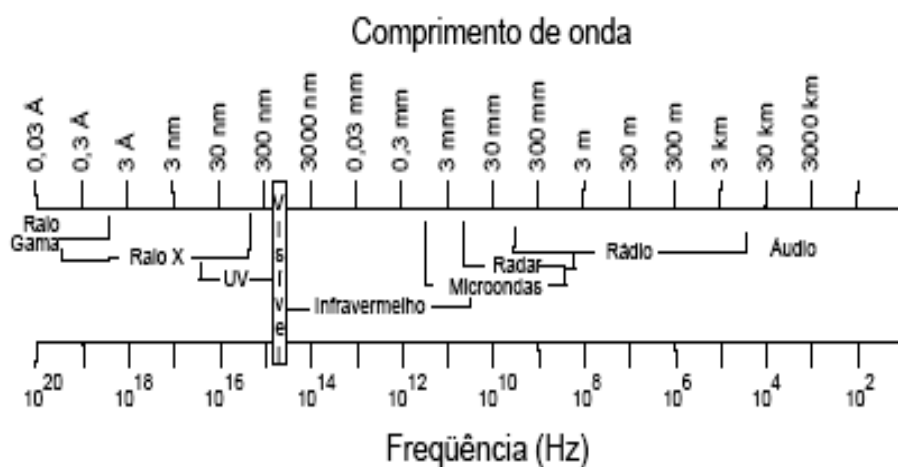


Fig. 22: Espectro eletromagnético com os intervalos de frequência e comprimento de onda referentes às principais faixas de radiação.

Canal	Faixa Espectral (um)	Principais aplicações
1	0.45 - 0.52	Mapeamento de águas costeiras Diferenciação entre solo e vegetação
2	0.52 - 0.60	Diferenciação entre vegetação coníferas e decíduas Refletância de vegetação verde sadia
3	0.63 - 0.69	Absorção de clorofila Diferenciação de espécies vegetais
4	0.76 - 0.90	Levantamento de biomassa Delineamento de corpos d'água
5	1.55 - 1.75	Medidas de umidade da vegetação Diferenciação entre nuvens e neve
6	10.4 - 12.5	Mapeamento de estresse térmico em plantas
7	2.08 - 2.35	Outros mapeamentos térmicos Mapeamento hidrotermal

Fig. 23: Bandas espectrais do sensor ETM+ com seus intervalos de comprimento de onda e respectivas aplicações na interpretação das imagens (UERJ, 2006).

As imagens foram submetidas inicialmente à etapa de pré-processamento (Moreira, 2003), através de técnicas específicas para eliminação de ruído, correção geométrica e registro (georreferenciamento), utilizando sempre o mesmo sistema de projeção (Zona UTM 24 Sul, MC 39<sup>0</sup> W) e o mesmo *datum* (SAD 69). O software utilizado foi o *ER Mapper* 6.3, tomando por base GCPs (pontos de controle do terreno) extraídos de folhas topográficas editadas pelo IBGE, na escala 1:100.000, com reamostragem quadrática (mínimo de 6 pontos por imagem), equações polinomiais de 2<sup>o</sup> grau e RMS inferior a 10 m.

Posteriormente, os trabalhos passaram para a fase de processamento e tratamento digital das imagens (Crosta, 1993), incluindo: realce (ou aumento de contraste) das imagens, através da manipulação dos histogramas de frequência dos *pixels*; elaboração de composições coloridas falsa-cor, mediante algumas combinações específicas de bandas no espaço RGB; montagem do mosaico georreferenciado das imagens selecionadas (Fig. 24).

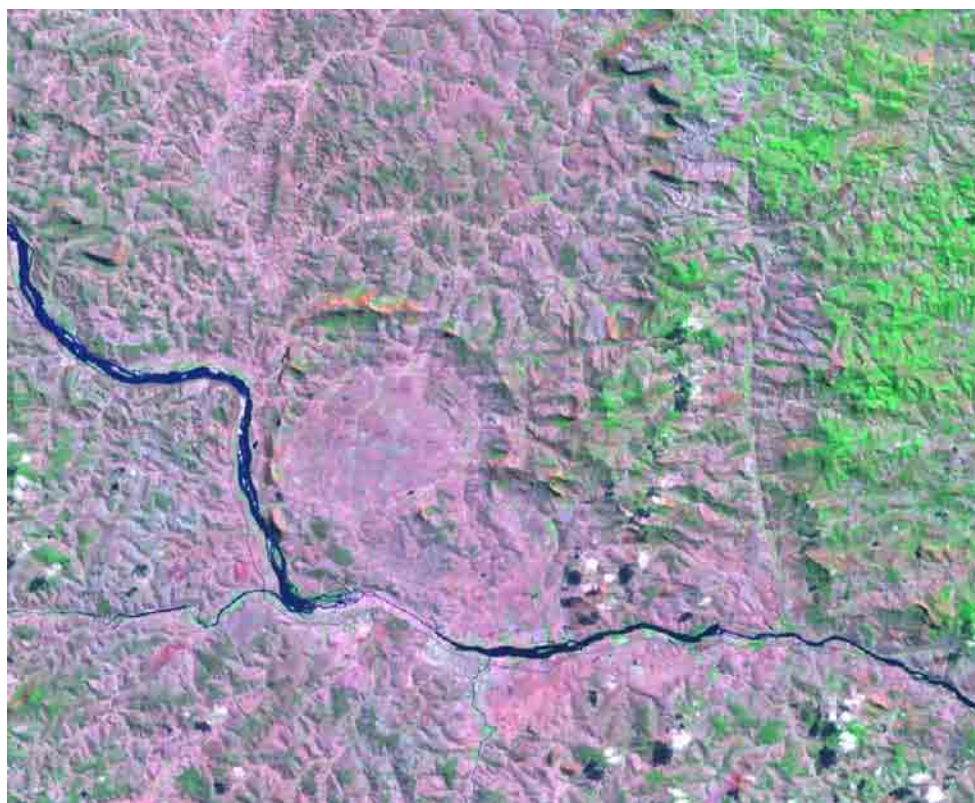


Fig. 24: Detalhe da imagem LANDSAT-7 216/73, composição 5R4G3B, destacando a Estrutura Circular de Aimorés e o curso do Rio Doce junto à divisa MG-ES.

Além das imagens de sensores orbitais, foram utilizados modelos digitais de elevação (DEM) obtidos pelo projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), que foi desenvolvido durante uma missão de 11 dias em fevereiro de 2000, através dos sensores SIR-C/X-SAR instalados a bordo do ônibus espacial (*Space Shuttle*) da NASA. Esta missão teve o objetivo de gerar imagens do relevo do globo terrestre, entre as latitudes 60° N e 54° S, com uma resolução espacial de 90 metros. O SRTM é um sensor do tipo ativo, pois emite radiação na faixa de microondas (Fig. 25), apresentando a vantagem de não depender da iluminação solar e não sofrer interferências atmosféricas, como presença de nuvens, nas bandas de maior comprimento de onda.

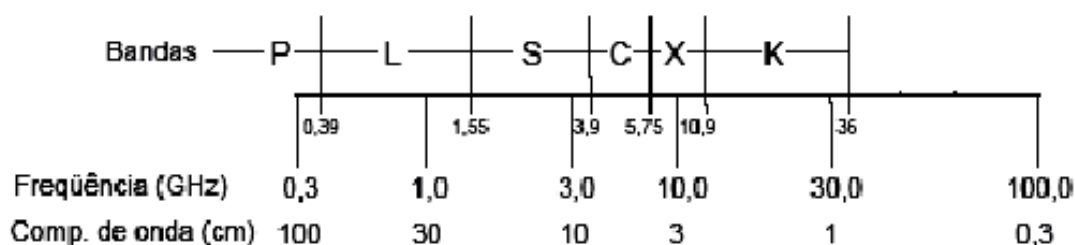


Fig. 25: Bandas espectrais correspondentes à faixa de microondas, utilizadas no imageamento por radar.

O processo utilizado pela NASA para produzir os modelos digitais de elevação, chamado de interferometria de passagem única, é uma técnica que utiliza um par de imagens captadas simultaneamente por duas antenas; uma delas localizada no interior do ônibus espacial e a outra posicionada na extremidade de um braço com 60 metros de comprimento. Este método gera uma terceira imagem, chamada interferométrica, cuja fase de cada *pixel* corresponde à diferença de fase entre os *pixels* respectivos das duas imagens originais. A fase de cada *pixel* da imagem interferométrica está relacionada com a elevação do terreno, o que permite a construção de um Modelo Numérico de Elevação (MNE).

Esta técnica minimiza os erros provocados pelas condições atmosféricas e por alterações nas características de reflectância dos alvos, aumentando a precisão absoluta dos dados (acurácia vertical igual ou inferior a 16 metros e acurácia horizontal igual ou inferior a 20 metros).

O projeto SRTM consistiu em 159 passagens do ônibus espacial sobre o globo terrestre, a uma altitude média de 233 km, ao longo de uma órbita circular com uma inclinação de  $57^{\circ}$  em relação ao Equador. A missão possibilitou o imageamento de faixas com 252 km de largura e 7 km de sobreposição na altura do Equador terrestre (Fig. 26).

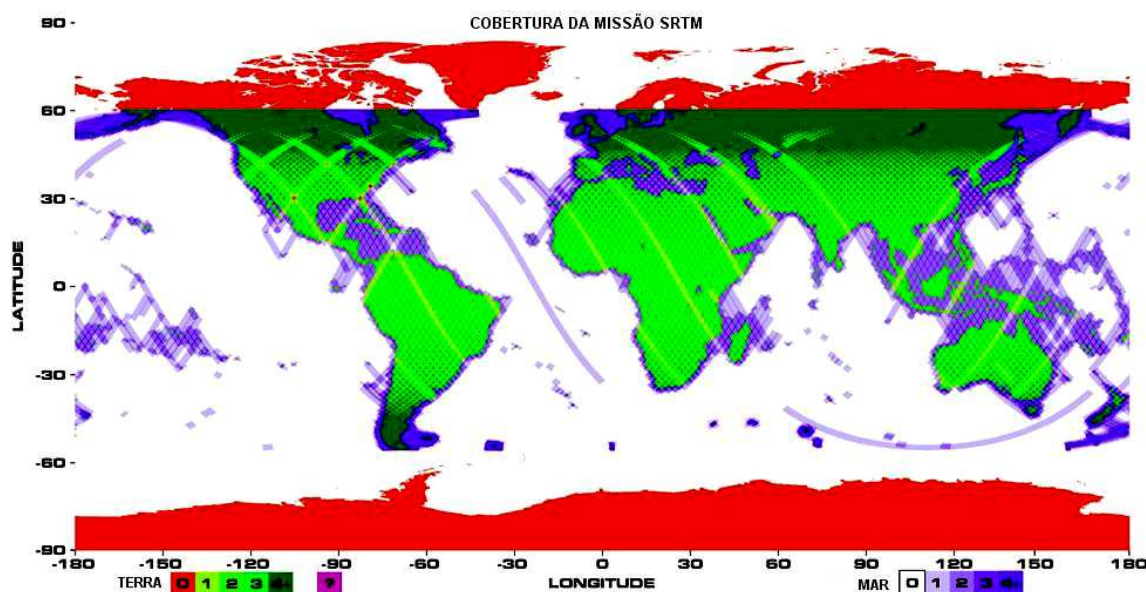


Fig. 26: Áreas do globo cobertas pela missão SRTM (NASA). As cores dos boxes inferiores indicam quantas vezes cada faixa foi imageada. Fonte: <http://www.jpl.nasa.gov/srtm>.

Para o recobrimento da área estudada, foram obtidos Modelos Digitais de Elevação produzidos pelo Consórcio Internacional de Pesquisas para Agricultura através de Informações Espaciais (CGIAR-CSI), diretamente a partir dos dados originais do projeto SRTM. Tais modelos, disponíveis em <http://srtm.csi.cgiar.org>, foram gerados através de técnicas de pré-processamento e correção, mediante interpolação das lacunas originadas pela perda de contraste no imageamento por radar. Foram utilizadas 3 imagens (modelos) do mosaico, cada uma com dimensões geográficas de  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  e resolução espacial de 90 metros, georreferenciadas originalmente no sistema WGS 84. Nesta dissertação, fez-se necessária uma transformação para o sistema de coordenadas geográficas SAD 69, a fim de homogeneizar e tornar possível sua integração com o restante da base de dados.

O modelo digital de elevação foi iluminado artificialmente (por sombreamento) sob vários azimutes e elevações, a fim de realçar as estruturas em todas as direções (Fig. 27).

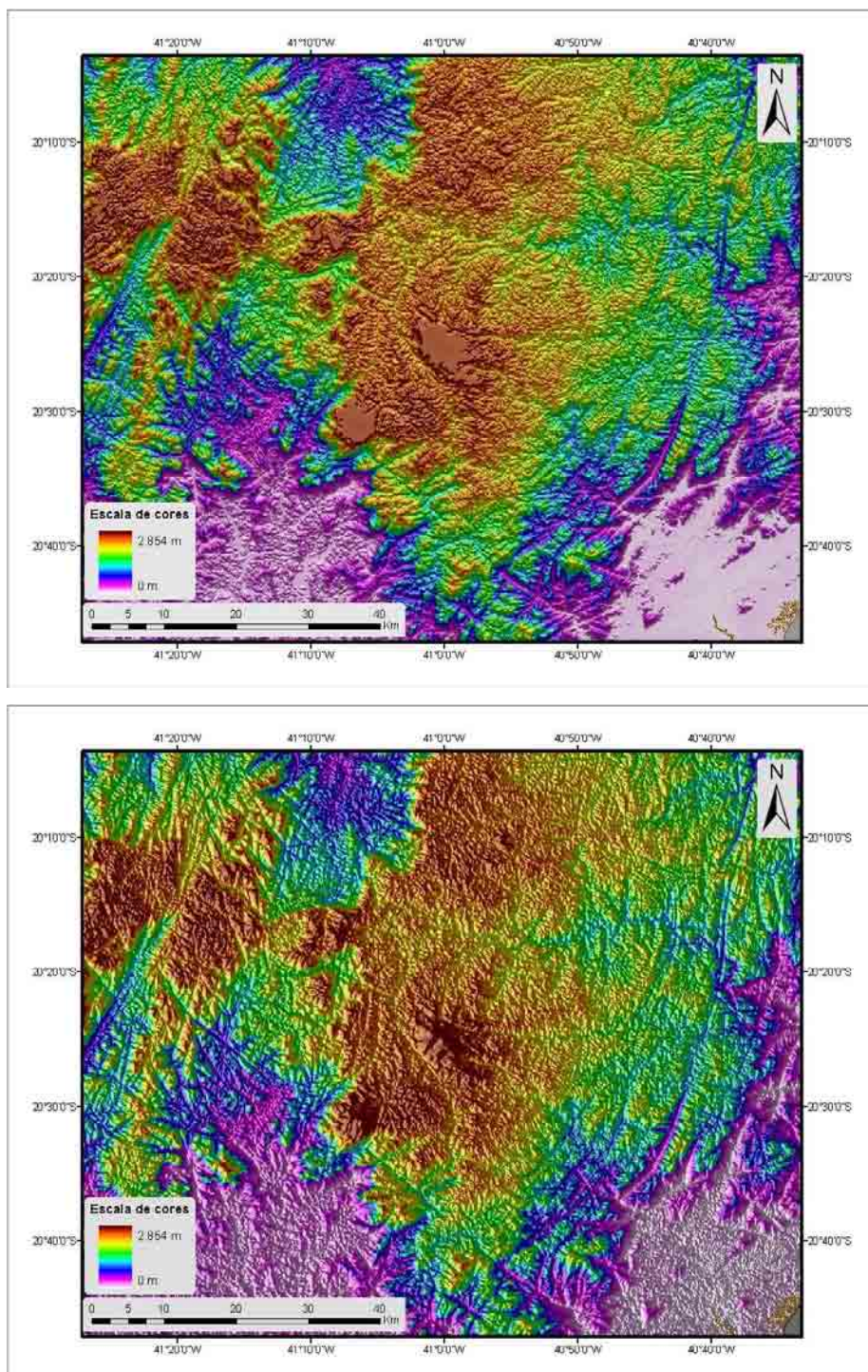


Fig. 27: Modelo digital de elevação sombreado com diferentes azimutes e inclinações solares (0/45 graus acima e 250/30 graus abaixo).

#### 4.4) Critérios de análise

Uma das aplicações mais difundidas na interpretação de imagens de sensores orbitais é a extração de lineamentos. O conceito de lineamento utilizado no contexto deste trabalho é aquele estipulado por O'Leary *et. al.* (1976), retomando a definição original de Hobbs (1904). Segundo estes autores, lineamentos são “feições lineares superficiais, mapeáveis, simples ou compostas, cujos segmentos estão alinhados em um arranjo retilíneo ou levemente curvo, e que diferem nitidamente dos padrões das feições adjacentes, refletindo provavelmente um fenômeno de subsuperfície”. A partir deste conceito, os autores relacionam algumas características intrínsecas, entre as quais destacam-se:

- Feições superficiais podem ser fisiográficas (expressando relevo) ou tonais (expressando contraste), sendo que ambas podem ser qualificadas como lineamentos.
- Uma mudança brusca na direção de um alinhamento natural representa um lineamento distinto do primeiro.
- A linearidade de uma feição superficial depende da escala de observação.
- Dentro da escala de trabalho, a razão entre o comprimento e a largura de uma feição deve ser coerente com o aspecto linear exigido para ser qualificado como lineamento.
- Lineamentos podem ser tanto positivos (refletindo a resistência à erosão de uma feição subsuperficial) como negativos (refletindo a modificação ou entalhe do terreno por tal feição).

Segundo Sawatzky & Lee (1974), a análise de Elementos Morfoestruturais do Relevo (EMR), como os lineamentos, depende de vários fatores, entre os quais se destacam: o realce do relevo proporcionado pelo ângulo de visada, a incidência da Radiação Eletromagnética (REM) e o realce por sombreamento. De uma forma geral, ângulos de elevação solar entre 20 e 30<sup>0</sup> de inclinação com a horizontal propiciam as melhores condições de sombreamento, desde que o azimute solar seja ortogonal ou fortemente oblíquo à direção das estruturas (Fig. 28).

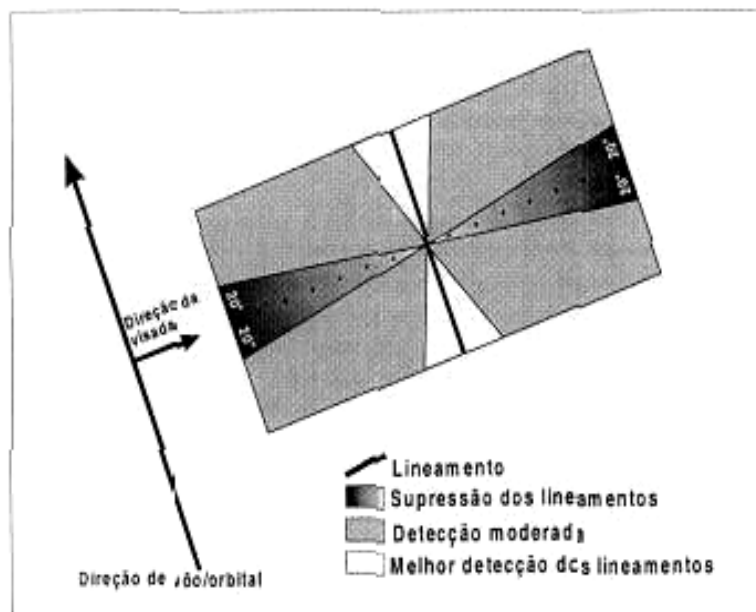


Fig. 28: Diagrama mostrando os melhores ângulos de visada para detecção de lineamentos (modificado de RADARSAT International, 1997).

Em sensores ativos como o radar, a direção azimutal do pulso da REM determina a intensidade do realce dos lineamentos. Apesar de algumas propriedades dos alvos imageados, como a constante dielétrica dos materiais e a rugosidade da superfície, interferirem no sinal de retorno, é a orientação das vertentes o parâmetro determinante para a obtenção das feições do relevo (Amaral, 1982, *apud* Queiroz *et. al.*, 2000).

Depois de extraídos, os lineamentos foram submetidos a algumas técnicas de tratamento, tais como: análise direcional, confecção de rosetas para frequência e comprimento, análise estatística, análise de atributos das feições lineares (comprimento, densidade e intersecções), filtragens direcionais e intersecções entre os principais sistemas identificados. Por fim, as análises estruturais foram confrontadas com os *trends* identificados nos mapas gravimétricos, visando correlacionar as feições lineares superficiais extraídas dos sensores orbitais com as estruturas regionais interpretadas através das filtragens executadas nos dados obtidos através de métodos potenciais.

O trabalho foi complementado com seções sísmicas interpretadas da bacia, selecionadas de acordo com a proximidade e ortogonalidade em relação aos *trends* estruturais mais expressivos.

#### 4.5) Gravimetria

Os levantamentos gravimétricos baseiam-se nas variações do campo gravitacional terrestre, as quais têm sua origem devido às diferenças de densidade entre as rochas constituintes do substrato. Tais variações, que na prática são de magnitude muito pequena, podem ser provocadas por uma série de fatores geológicos (intrusões ígneas, domos de sal, bacias sedimentares, etc.) e não geológicos, os quais serão especificados no texto.

De acordo com a Lei da Gravitação Universal de Newton, a intensidade da força agindo em um ponto qualquer (de massa  $m$ ), sob a influência do campo gravitacional da Terra (de massa  $M$ ), é diretamente proporcional à magnitude das massas envolvidas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as massas. A implicação mais evidente disto é o fato de a aceleração da gravidade diminuir em função do aumento da altitude, em relação a uma superfície de referência (e. g., o nível médio dos mares).

O modelo matemático empregado para a representação do campo gravitacional da Terra (GRF – *Gravity Reference Field*) leva em consideração algumas premissas básicas:

- Atuação de uma força centrífuga com valor máximo no Equador e mínima nos pólos, devido ao movimento de rotação terrestre;
- Achatamento do globo terrestre nos pólos, dando origem a uma forma de esferóide oblato com uma diferença de 21 km entre os raios equatorial e polar;
- Presença de mais massa continental nas latitudes próximas ao Equador do que nos pólos, compensando em parte a ausência de esfericidade da Terra.

Como resultado da soma destes fatores, a aceleração da gravidade é cerca de 5,172 *gals* maior nos pólos do que no Equador. Além disso, o modelo lança mão de algumas simplificações (a densidade da Terra é homogênea; o ponto de observação é estático; a observação é feita ao nível do mar), que devem ser submetidas a correções para a retirada de seus efeitos indesejáveis.

Portanto, antes da interpretação dos dados gravimétricos, utilizados na delimitação das principais feições geológicas regionais, faz-se necessária a remoção de todas as variações do campo gravitacional que não são resultantes de fatores geológicos. As correções aplicadas sobre estas perturbações, visando obter apenas as anomalias gravimétricas provocadas por variações laterais de densidade, são:

- a) Correção de latitude: remove o efeito do aumento da atração gravitacional em direção aos pólos, em função das premissas acima citadas, e deve ser aplicada para cada estação;
- b) Correção de elevação: remove o efeito das diferenças de altitude entre as estações de observação. Pode ser dividida em duas componentes: correção “free-air” (considera somente a existência de ar entre a estação e o nível do mar, utilizado como superfície de referência) e correção Bouguer (considera a massa existente entre a estação e o *datum*, distribuída ao longo de uma placa horizontal infinita e de espessura  $h$ );
- c) Correção de terreno: remove o efeito da topografia, quando o relevo no entorno das estações de observação é acidentado. Neste caso, para que a correção Bouguer não fique incompleta, é preciso descontar a atração gravitacional das áreas topograficamente mais altas e a ausência de massa das áreas mais baixas, em relação à altitude de cada estação;
- d) Correção da maré terrestre: é um efeito que provoca variações na elevação do ponto de observação. A amplitude das variações atinge no máximo alguns centímetros, com um período de aproximadamente 12 horas;
- e) Correção de Eötvös: é aplicada quando o gravímetro está baseado em uma plataforma móvel (avião ou navio), e depende da direção do movimento;
- f) Correção de deriva: está relacionada aos erros instrumentais que provocam alterações da leitura ao longo do tempo. O procedimento envolve a repetição de leituras em uma mesma estação, a intervalos regulares de tempo.

Considerando todos os fatores e correções que podem influenciar o levantamento, pode-se afirmar que a anomalia mais importante e de maior utilidade na interpretação gravimétrica é a anomalia Bouguer completa, que leva em consideração também a correção de terreno (principal responsável pelas imperfeições dos mapas gravimétricos).

A rede gravimétrica de referência aqui utilizada é a IGSN 71 (*International Gravity Standardization Net 1971*). As anomalias foram calculadas utilizando-se a fórmula da gravidade teórica do GRS 67 (*Geodetic Reference System 1967*). A cobertura gravimétrica da área de estudo foi obtida através da integração de 3 levantamentos: DEXBA-DEXES (terrestre) e EG 13 (marítimo – plataforma continental), ambos executados pela Petrobras e disponibilizados pela ANP, assim como o GEOSAT (satélite), realizado pela Marinha dos Estados Unidos. A área de abrangência de cada um dos levantamentos está especificada no item 5.4.

## CAPÍTULO 5: RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO

### 5.1) Introdução

A bacia do Espírito Santo apresenta um histórico exploratório que remonta à década de 50, com os primeiros levantamentos sísmicos na porção terrestre iniciados em 1958 e, no ano seguinte, a perfuração do primeiro poço estratigráfico na região de Conceição da Barra. Na plataforma continental, as atividades exploratórias iniciaram-se também nos anos 50, através de levantamentos sísmicos e gravimétricos. Em 1968, a bacia do Espírito Santo tornou-se a pioneira entre as bacias costeiras, ao perfurar o primeiro poço exploratório na plataforma continental brasileira (Poço 1-ESS-1).

De acordo com Biassusi *et. al.* (1990), as atividades exploratórias podem ser divididas em três períodos:

- 1959 a 1971: a perfuração de poços exploratórios caminhou em um ritmo lento e irregular, com destaque para descoberta do campo de São Mateus em 1969 (primeira acumulação comercial de petróleo da bacia);
- 1972 a 1979: a descoberta do campo de Fazenda Cedro é o marco que separa esta fase da anterior. A perfuração de poços exploratórios se intensifica, e iniciam-se as atividades de exploração;
- 1979 em diante: inicia-se com a descoberta do campo de Lagoa Parada; observa-se um grande incremento na avaliação da bacia, enfatizando-se as atividades de desenvolvimento.

A partir do final dos anos 80 e durante a década de 90, começam a aparecer expressivos resultados exploratórios na porção *offshore*, com as descobertas dos campos de Cangoá e Peroá, cujas reservas somadas atingem 35 bilhões de m<sup>3</sup> de gás, além da continuidade do sucesso exploratório em terra. Entretanto, o grande marco exploratório da porção marítima da bacia ocorreu em 2003, com a descoberta do campo de Golfinho sob uma lâmina d'água de 1.400 m, cujas reservas superam 600 milhões de barris de óleo leve, com uma produção de cerca de 60.000 barris/dia. Em 2003, também foi descoberto o campo de Camarupim, com reservas de 16 bilhões de m<sup>3</sup> de gás, e, em 2004, o campo de Canapu, com cerca de 10 bilhões de m<sup>3</sup> de gás, ambos próximos ao campo de Golfinho.

Segundo Bacoccoli & Cuiñas Filho (2004), a Bacia do Espírito Santo encontra-se em estágio maduro de prospecção, com um índice de intensidade exploratória de aproximadamente 1 poço perfurado para cada 190 km<sup>2</sup> de área sedimentar. Entretanto, esta classificação deve ser vista com cautela, pois a grande maioria dos poços está concentrada na porção terrestre da bacia. Além disso, segundo os autores, a maior parte dos poços exploratórios apresenta profundidades entre 1 e 3 km, sendo que objetivos mais profundos (potencialmente favoráveis para óleo leve e gás) continuam praticamente inexplorados.

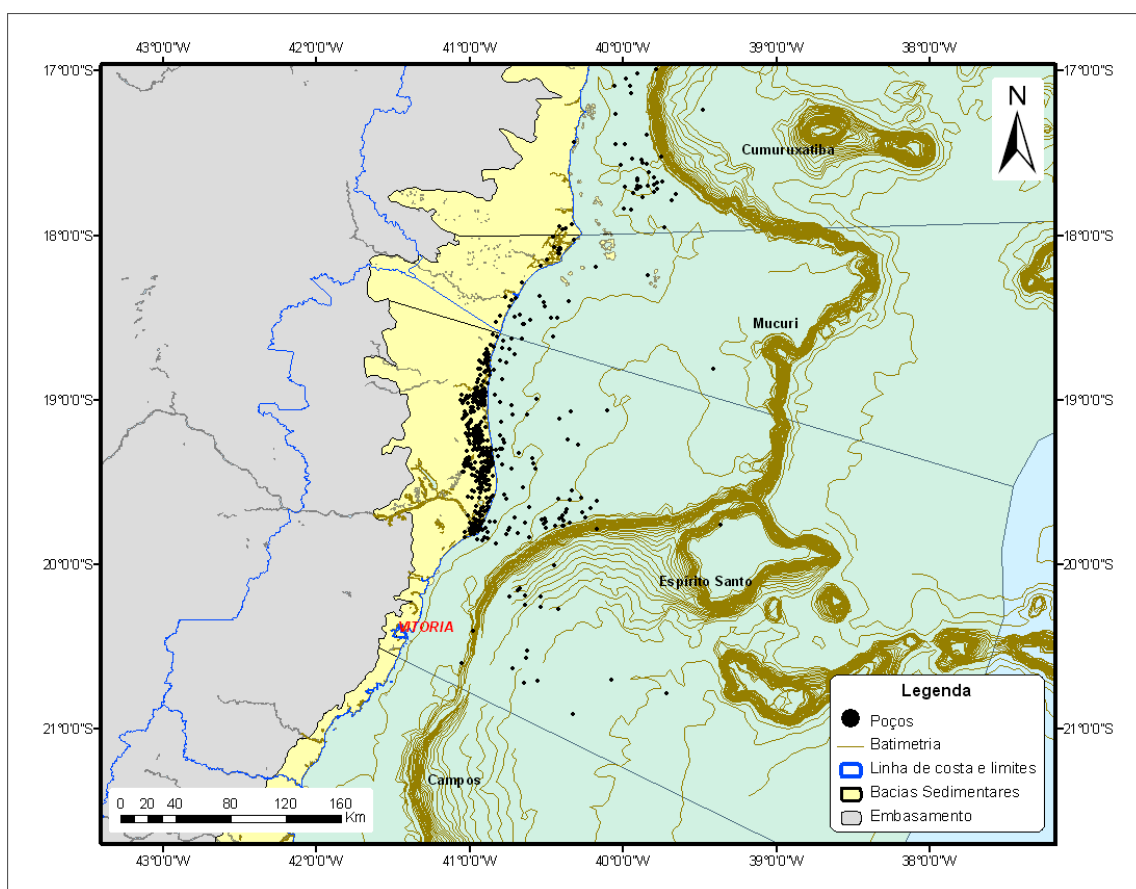


Fig. 29: Distribuição dos poços existentes nas Bacias do Espírito Santo e de Mucuri (ANP, 2006).

Atualmente, a Bacia do Espírito Santo conta com um total de 477 poços perfurados (Fig. 29), os quais, somados aos 36 poços existentes na bacia de Mucuri, perfazem um total de 513 poços para as duas bacias (ANP, 2006). O número de campos na Bacia do Espírito Santo chega a 41, sendo 37 em produção (dos quais apenas o de Cação não está na parte terrestre) e 4 em desenvolvimento (todos *offshore*: Cangoá, Peroá, Golfinho e Canapu).

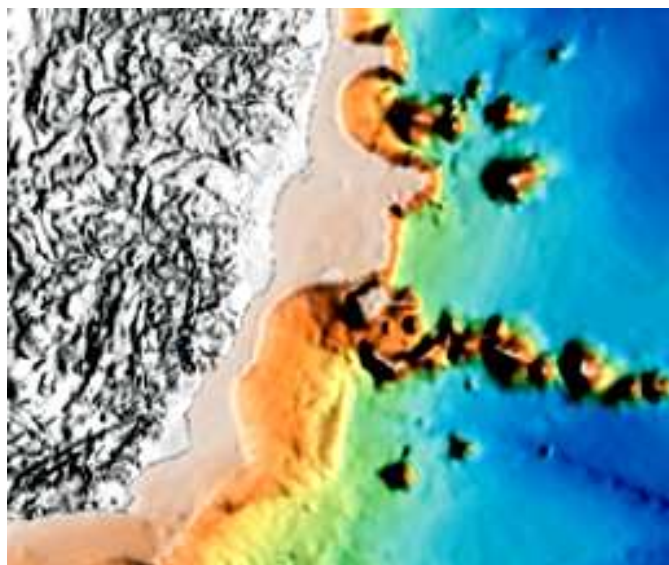


Fig. 30: Mapa topobatimétrico das bacias de Campos, Espírito Santo e Mucuri, destacando o grande alargamento da plataforma na região do Complexo de Abrolhos e os montes vulcânicos submarinos (modificado de Mohriak, 2004).

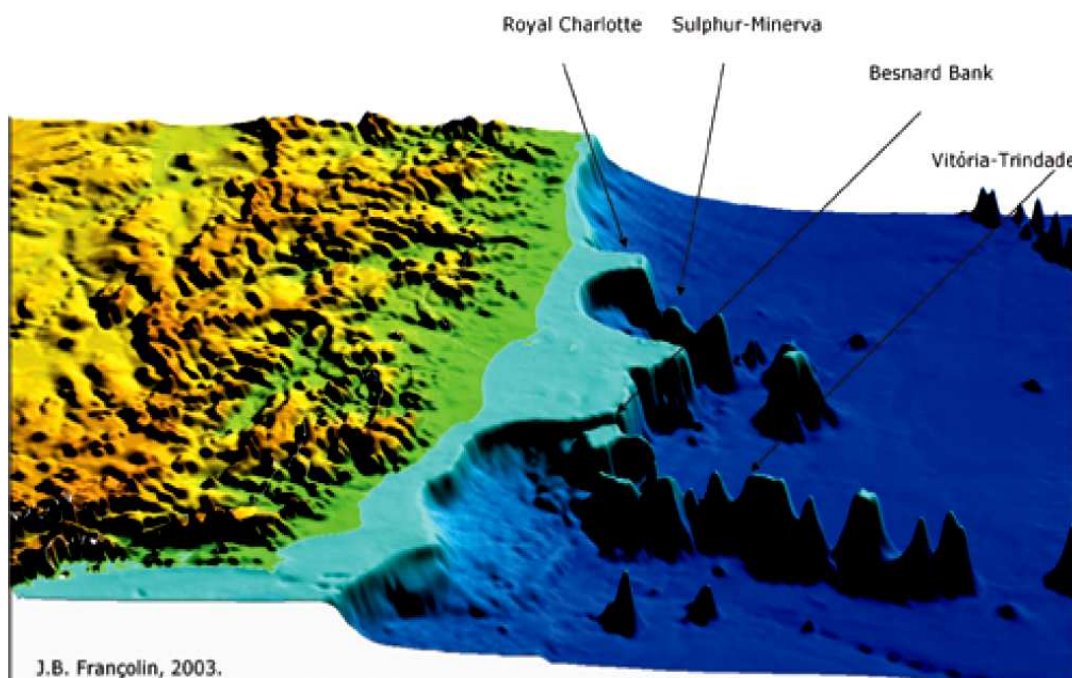


Fig. 31: Perspectiva 3-D da margem continental, na mesma área da figura anterior (segundo Françolin, 2003).

## 5.2) Extração e análise de lineamentos

Com base nos critérios e métodos apresentados no item 4.4, foram extraídas as feições lineares identificadas tanto no embasamento quanto na área sedimentar emersa, sendo obtidos 8.890 lineamentos (Figura 33). A técnica mais utilizada foi a sobreposição das imagens sombreadas do modelo digital de elevação (SRTM) sobre os mapas hipsométricos (Figura 32), dentro da escala compatível com a resolução espacial de 90 metros do modelo (de 1:200.000 a 1:250.000). Também foram utilizadas as imagens LANDSAT-7, cuja resolução de 30 metros permite trabalhar com escalas maiores (1:80.000). Entretanto, a influência da insolação de origem NE, nas imagens selecionadas, realça excessivamente as estruturas de direção NW, o que torna tendenciosa a interpretação e a posterior análise direcional, diminuindo a confiabilidade dos resultados.

Embora a resolução das imagens LANDSAT 7 ETM+ seja compatível com escalas de maior detalhe, grande parte dos lineamentos foi extraída a partir da interpretação dos modelos digitais de elevação sombreados do SRTM, cuja menor resolução fez com que se adotasse a escala de trabalho de 1:200.000. Procurou-se registrar somente as estruturas com extensão mínima de 1 km, baseando-se principalmente na morfologia do terreno. Desta forma, foram extraídos tanto os lineamentos positivos quanto negativos. A predominância de um ou outro está relacionada a vários fatores, tais como: formas de relevo, litologia, padrão de drenagem, descontinuidades estruturais, etc. Sobretudo a rede de drenagem serviu como um importante balizador de lineamentos, uma vez que os rios tendem a se encaixar ao longo de falhas e fraturas de maior expressão.

As principais direções dos azimutes de iluminação utilizados no sombreamento foram:  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$ ,  $120^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$ ,  $230^{\circ}$ ,  $255^{\circ}$  e  $320^{\circ}$ . Procurou-se aplicar, sempre que possível, uma incidência perpendicular à direção dos principais sistemas lineares identificados. As inclinações da fonte luminosa variaram de 35 a 45 graus na área do embasamento aflorante e de 20 a 30 graus nos terrenos sedimentares. Durante a extração, houve sempre o cuidado de se eliminar qualquer feição linear de origem antrópica, como rodovias, ferrovias, dutos, entre outros, para que não interferissem na análise estatística e direcional dos lineamentos.

A figura 34 exhibe as direções estruturais predominantes ao longo da margem leste do Brasil, no embasamento e nas áreas sedimentares emersas (Chang *et. al.*, 1992).

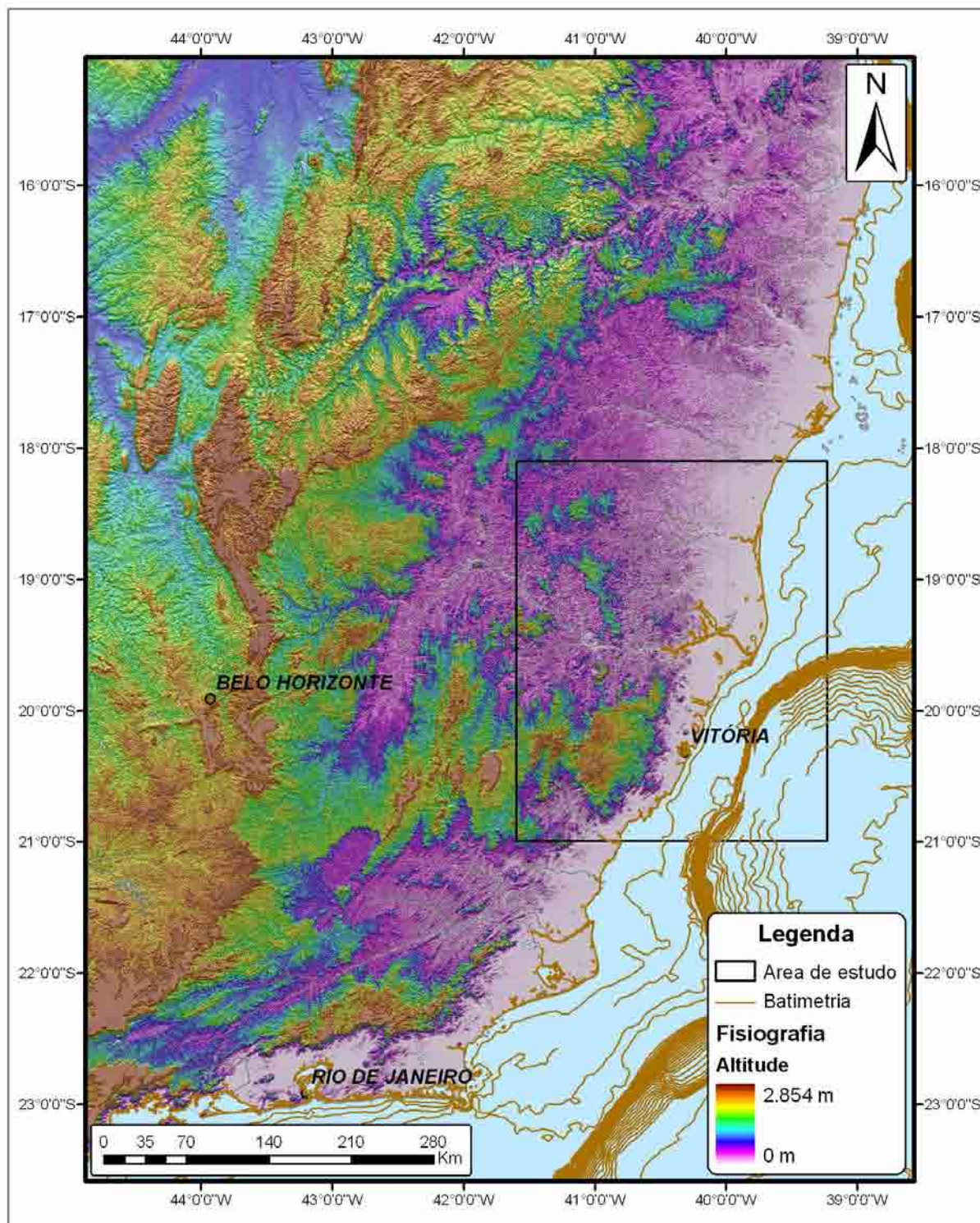


Fig. 32: Modelo digital de elevação regional (SRTM), com a localização da área de estudo. Os tons em marrom representam as áreas mais elevadas, e em lilás as áreas mais baixas.

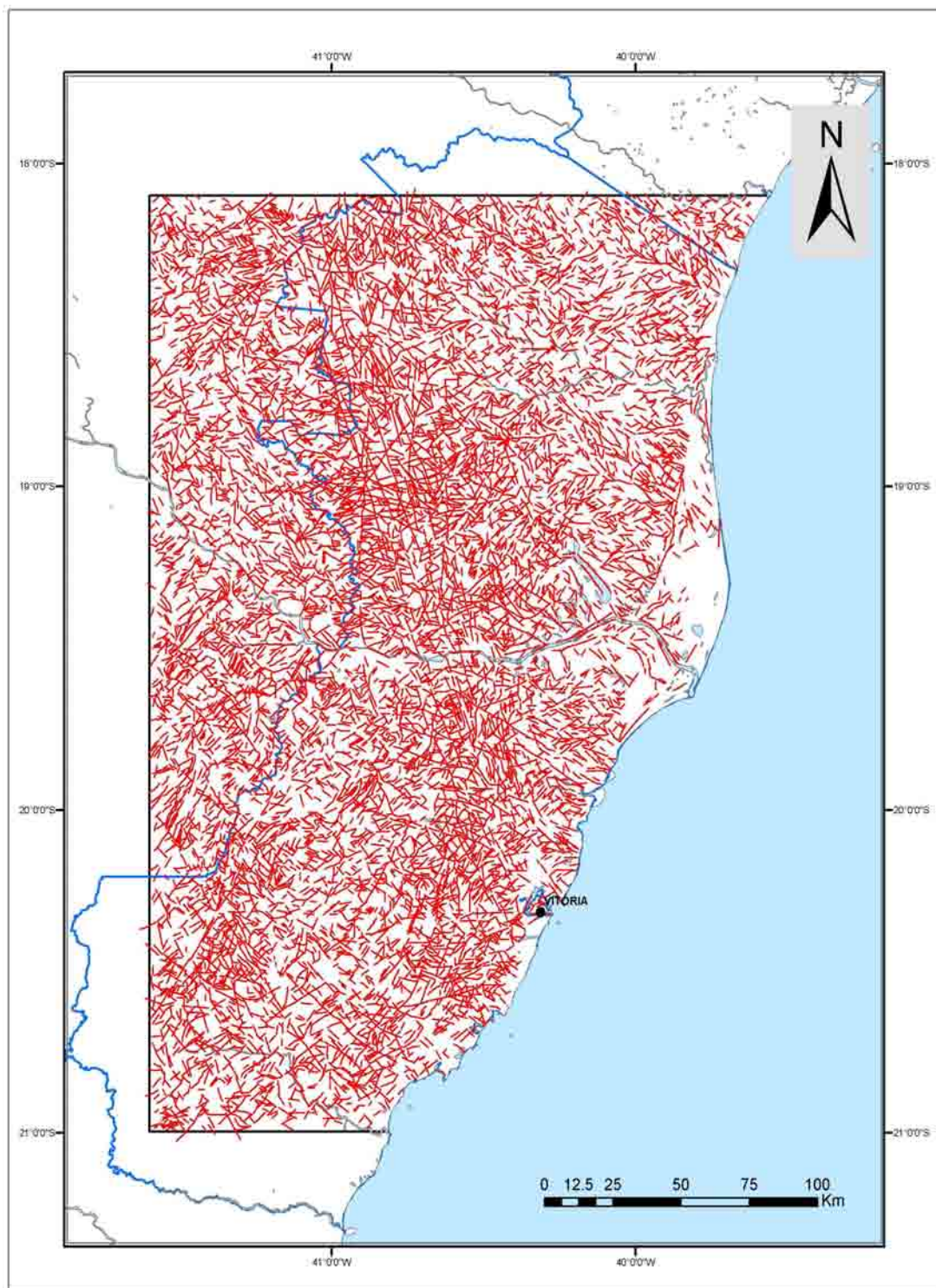


Fig. 33: Distribuição dos lineamentos identificados na área de estudo.

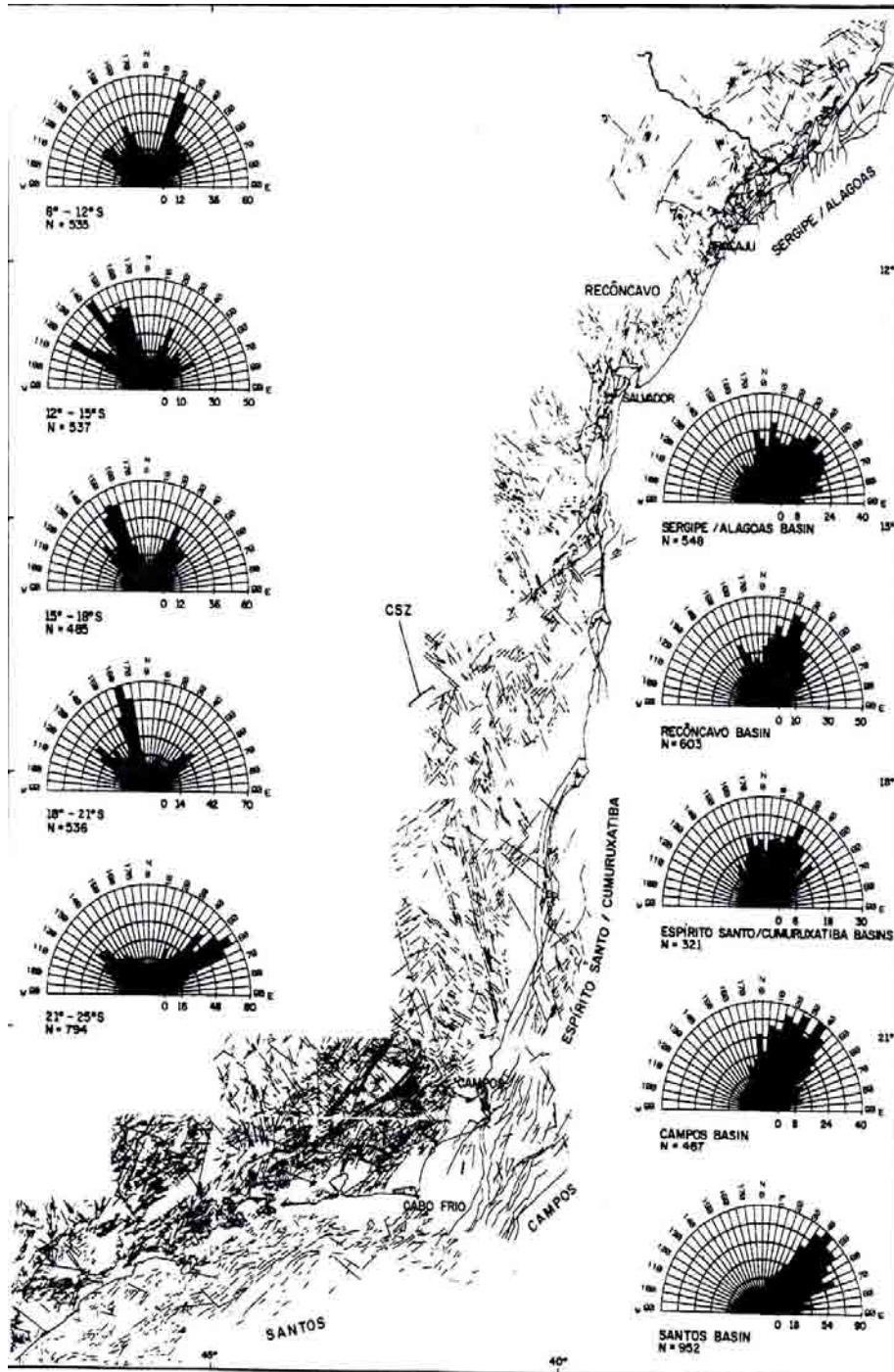


Fig. 34: Lineamentos ao longo da borda continental brasileira (segundo Chang *et. al.*, 1992). Os diagramas de roseta apresentam a distribuição de freqüência absoluta dos lineamentos; N é o número de lineamentos analisados, e CSZ é a Zona de Cisalhamento Colatina.

### 5.3) Análise Estrutural

A região estudada foi subdividida em 5 grandes domínios estruturais, com base nas direções predominantes, nas características dos atributos analisados e nas associações com os diferentes tipos litológicos (Fig. 35). As análises executadas foram:

- Elaboração de diagramas de rosetas (direções preferenciais);
- Análise de atributos dos lineamentos (comprimento, densidade e intersecções);
- Execução de mapas dos atributos analisados através de *grids* poligonais regulares (células de 6 x 6 km), incluindo filtragens direcionais dos sistemas predominantes.

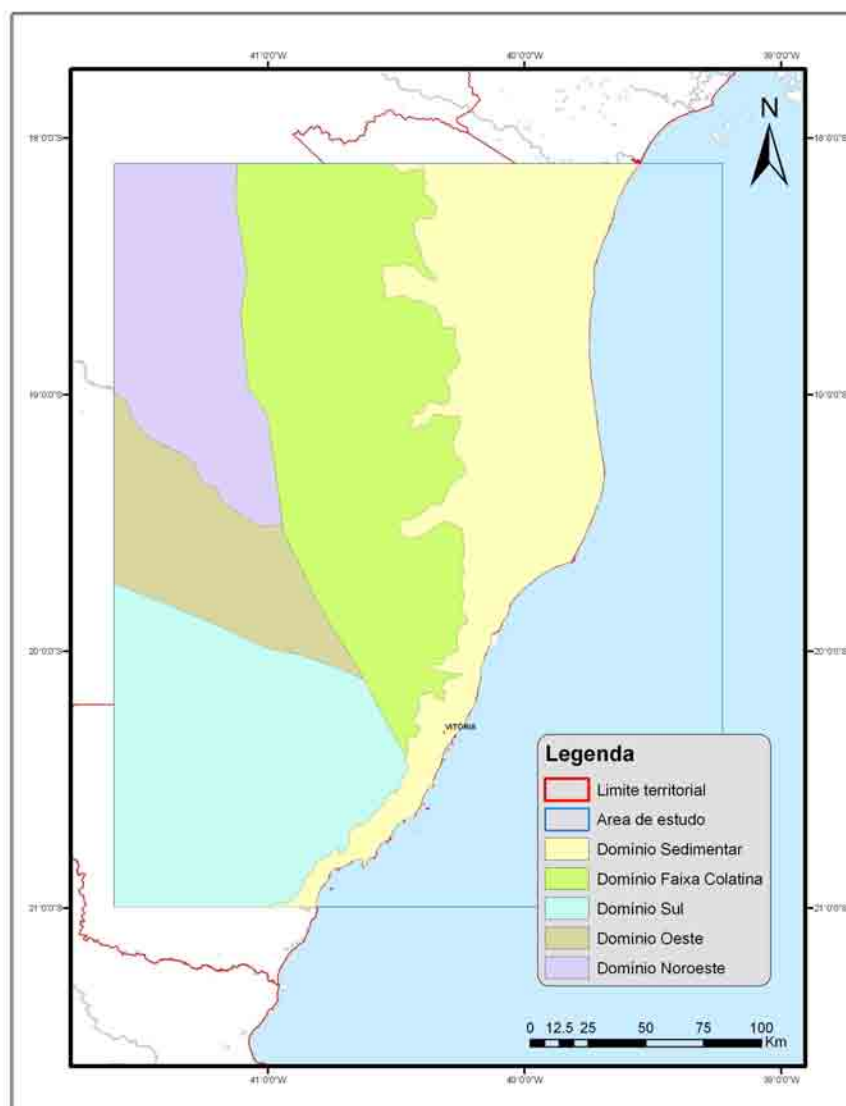


Fig. 35: Domínios estruturais identificados na área de estudo.

Para a realização das análises estatísticas e direcionais dos lineamentos, foi utilizado o aplicativo *LinAnalyst 1.0.0*, desenvolvido por Freitas *et. al.* (2004); para a elaboração dos *grids*, os softwares utilizados foram o *RockWorks 7.8.30* e o *ArcGIS 9.1*. Outros softwares também foram usados nas etapas intermediárias, como o *ER Mapper 6.3* e o *SPRING 4.3.2*.

De acordo com modelos conceituais desenvolvidos em trabalhos de caráter regional, em áreas de rochas sedimentares (Rostirolla *et. al.*, 2003; Freitas *et. al.*, 2006), as estruturas de maior ordem de grandeza, contínuas ou não, estão relacionadas a células de fluxo regionais, exercendo forte controle sobre as principais rotas de migração e sobre os volumes de hidrocarbonetos deslocados. Tais estruturas envolvem basicamente o embasamento, podendo ou não se refletir nas seqüências sedimentares associadas. Já as estruturas de menor ordem de grandeza, cuja detecção está condicionada à resolução dos sensores superficiais utilizados e são características dos terrenos sedimentares, podem localmente delimitar células de convergência do fluxo ou atuar como barreiras para fluidos.

Independentemente da escala de observação, nota-se que o padrão deformacional e o estilo estrutural se repete nas diversas ordens de grandeza dos lineamentos mapeados. Assim, as estruturas observadas em diferentes escalas estão provavelmente associadas aos mesmos eventos tectônicos.

### **5.3.1) Dados gerais**

Os sistemas identificados confirmaram a existência de quatro direções estruturais predominantes, como já havia sido descrito por Cunha (1985) utilizando mosaicos de radar do Projeto Radambrasil. Além disso, observou-se, em todos os domínios estruturais, a presença constante e uniformemente distribuída das direções E-W (representada principalmente por entalhes da drenagem) e N-S (geralmente condicionada por cristas alinhadas). Estes sistemas não foram detectados por Cunha (*op. cit.*) em função da direção de iluminação E-W (dificultando a observação de feições paralelas a esta direção) e também do processo de montagem do mosaico, que ocasiona a perda das informações paralelas à direção de vôo (N-S no caso do Radambrasil) devido à atenuação por compressão dos dados, restringindo deste modo a detecção das feições na direção N-S.

Para o conjunto total dos dados obtidos, observa-se uma predominância das direções N 30-50 E e NW-SE (N 130-150 E), como pode ser observado na figura 36. Estas direções predominantes são correlacionáveis com os sistemas descritos na literatura: os lineamentos NE representam a direção preferencial herdada do embasamento e os lineamentos NW-SE representam fraturas de cisalhamento originadas durante o *break-up*, como resposta a esforços distensivos de direção aproximadamente E-W. O sistema NW-SE, como será visto adiante, revelou-se de grande importância na estruturação dos terrenos da área estudada, apresentando forte persistência e ampla distribuição espacial.

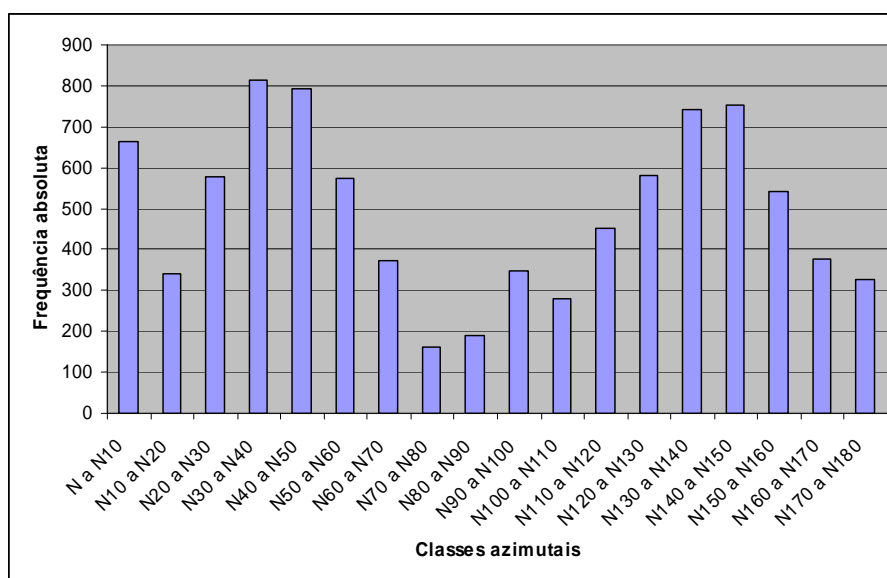


Fig. 36: Histograma de frequência absoluta dos lineamentos por direção.

Calculou-se um comprimento acumulado total de 29.696 km para os 8.890 lineamentos identificados. O maior lineamento possui uma extensão de 36,6 km (situado dentro do Domínio da Faixa Colatina) e o menor 665 m (no Domínio Sul); o comprimento médio atingiu uma extensão de 3.340 m (Fig. 38). Na figura 37, observa-se que a quase totalidade dos lineamentos possui extensão entre 1 e 6 km, com predominância marcante da faixa entre 2 e 3 km (mais de 3.000 feições). Além disso, os intervalos entre 1 e 2 km e entre 3 e 4 km são igualmente representativos. Em razão do critério de extração adotado e do tipo de sensor mais utilizado (SRTM), apenas 23 lineamentos apresentaram

comprimentos inferiores a 1 km, número bastante reduzido em comparação ao espaço amostral. Da mesma forma, 674 lineamentos apresentaram comprimentos superiores a 6 km, o que pode ser interpretado como resultado do caráter rúptil do substrato e da superposição de vários eventos deformacionais, provocando o truncamento das estruturas.

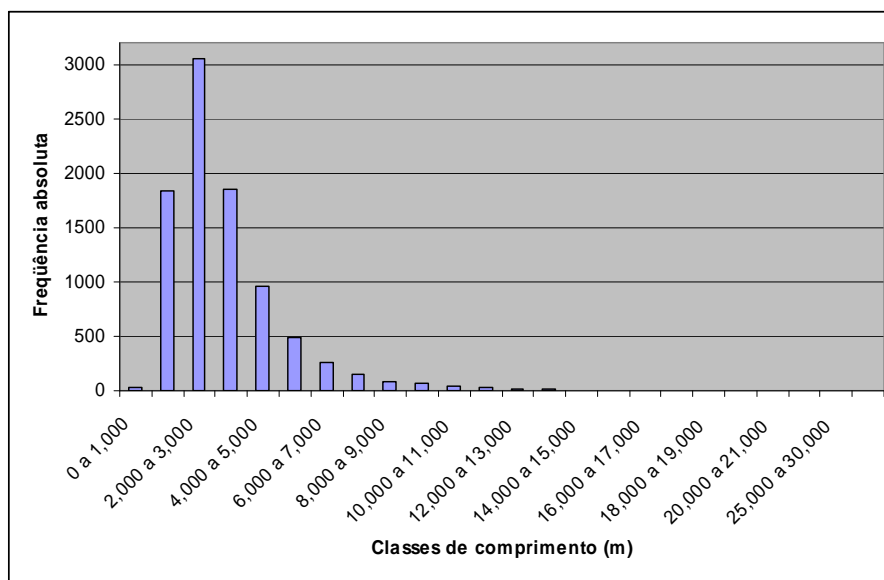


Fig. 37: Histograma de frequência absoluta dos lineamentos por comprimento.

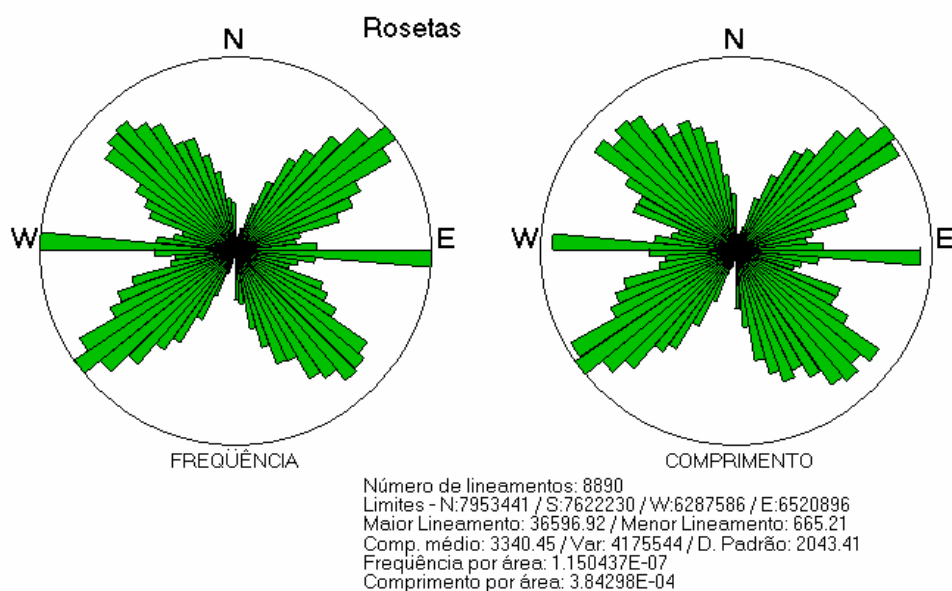


Fig. 38: Diagramas de roseta para o conjunto total de lineamentos.

### 5.3.2) Domínio Sedimentar

Corresponde à área de exposição dos sedimentos terciários da Formação Barreiras, em parte repousando diretamente sobre o embasamento, e dos depósitos costeiros recentes. Foram identificados 1.815 lineamentos, que atingem uma extensão acumulada de aproximadamente 5.516 km (Fig. 39).

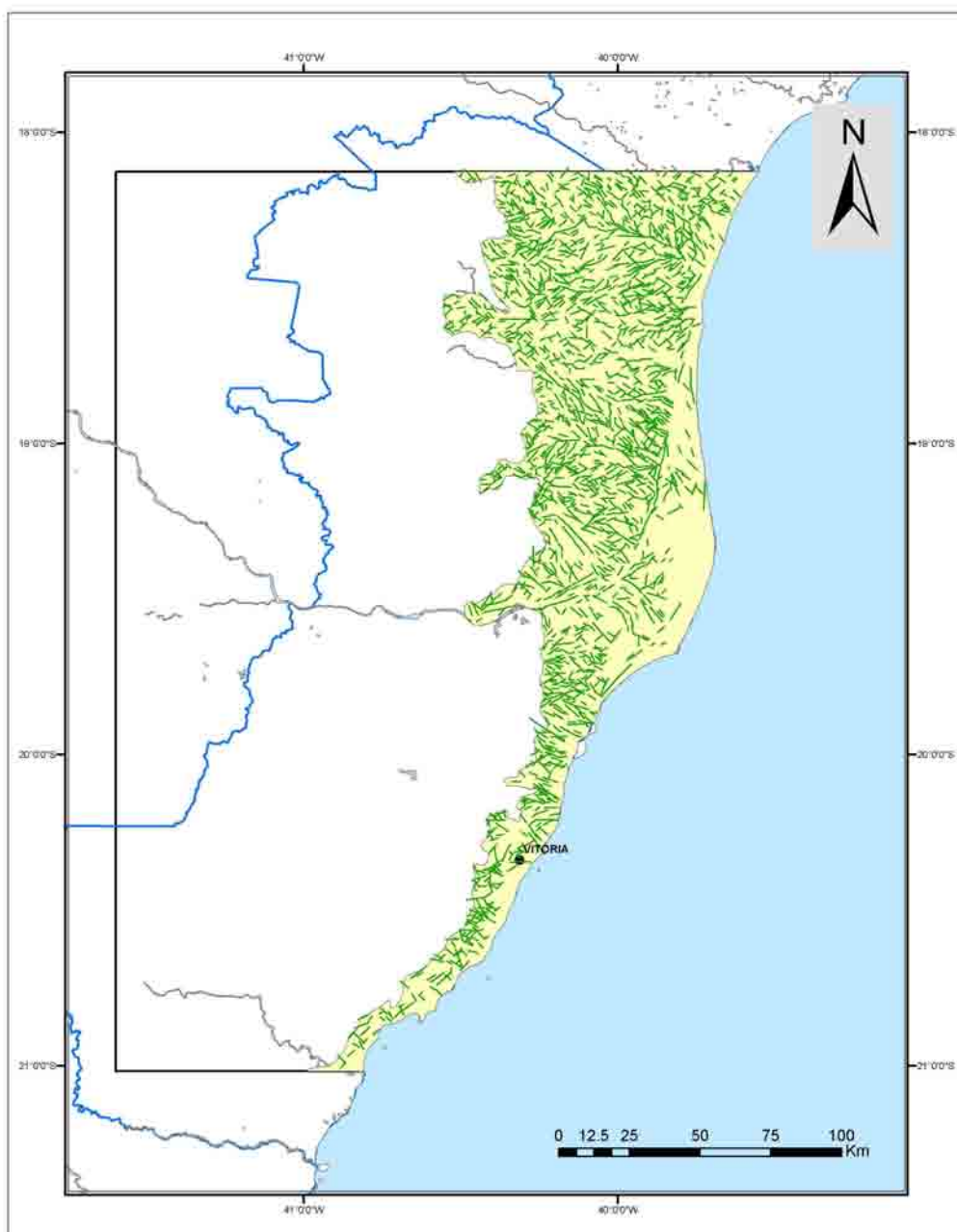


Fig. 39: Distribuição dos lineamentos identificados no Domínio Sedimentar.

De uma maneira geral, os lineamentos identificados apresentam uma densidade espacial inferior ao embasamento, são mais descontínuos e possuem comprimentos menores. O maior comprimento identificado possui extensão de 17.842 m, enquanto o menor possui 809 m; o comprimento médio calculado atingiu o valor de 3.039 m. Os sistemas predominantes apresentam direção N 30 a 60 W e N 40 a 70 E, além do sistema E-W já mencionado (Fig. 40 e 41). O sistema NE é caracterizado por lineamentos com menor comprimento acumulado do que o sistema NW (Fig. 42), sendo bastante evidente no controle do curso baixo do rio Doce. A projeção deste feixe descontínuo de lineamentos para norte é marcada por um notável alinhamento das desembocaduras do sistema de lagos no entorno de Linhares, onde visivelmente truncam os lineamentos do sistema NW-SE. Este sistema teria sido gerado, segundo Mello *et. al.* (2005), pela reativação neotectônica de estruturas pretéritas através de uma extensão NW-SE.

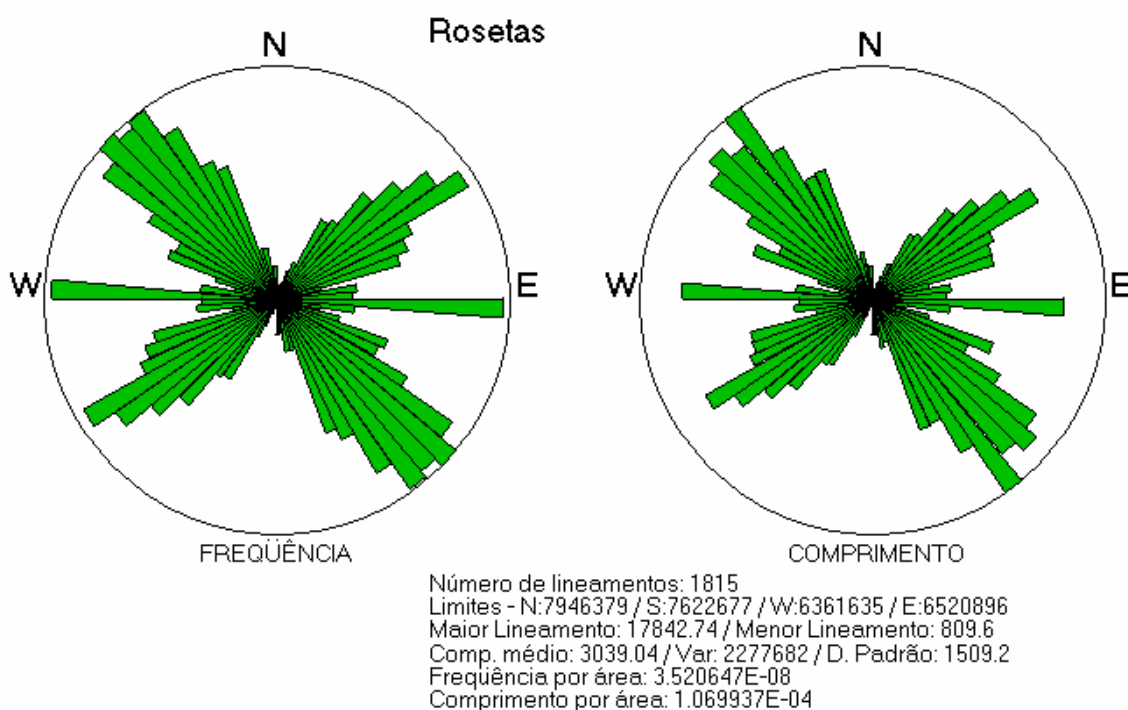


Fig. 40: Diagramas de roseta para os lineamentos da área sedimentar.

Na estreita faixa de sedimentos quaternários, dominada por extensos cordões arenosos paralelos à linha de costa, os lineamentos praticamente deixam de existir.

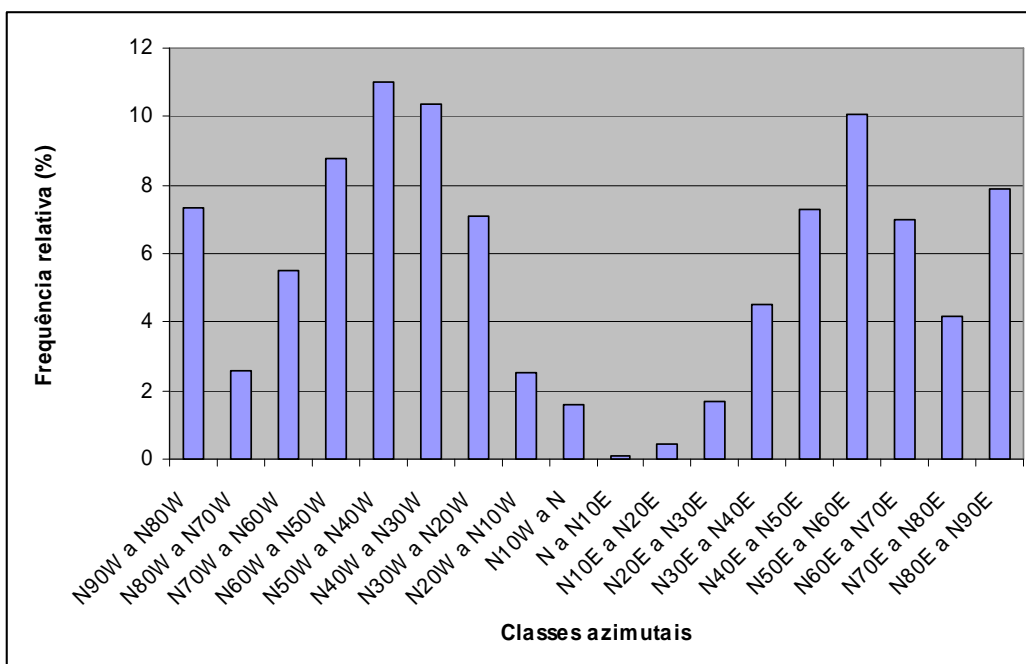


Fig. 41: Histograma de frequência relativa dos lineamentos por direção na área do Domínio Sedimentar.

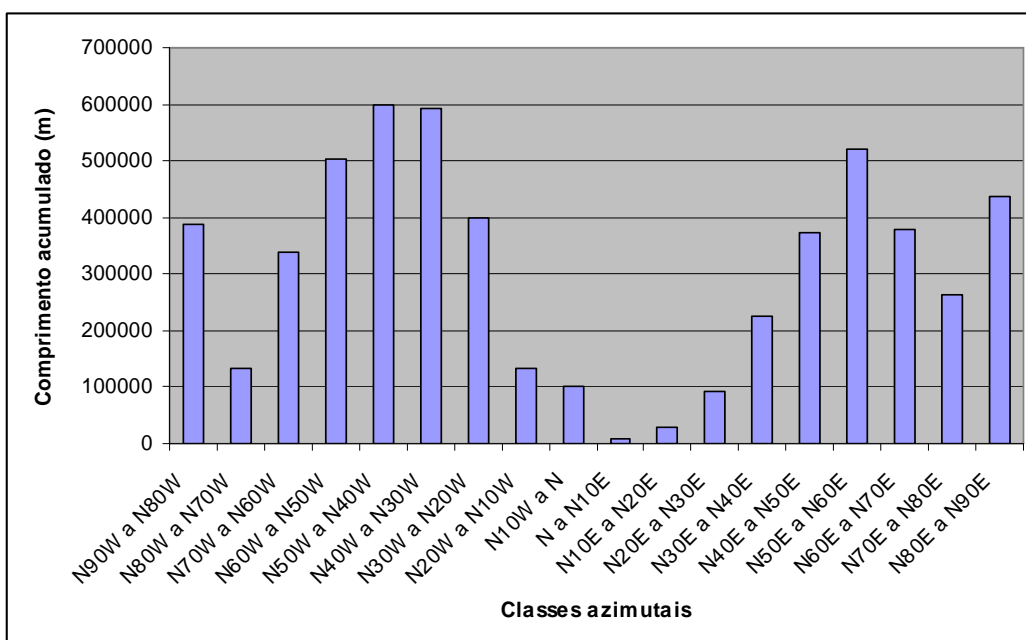


Fig. 42: Histograma de comprimentos acumulados por direção na área do Domínio Sedimentar.

O sistema NW-SE é o mais expressivo na área de ocorrência da Formação Barreiras, sendo o fator determinante na orientação do sistema de lagos da região de Linhares, onde se destaca a Lagoa de Juparanã (Hatushika *et. al.*, 2005). De acordo com Mello *et. al.* (2005), tal estruturação reflete uma reativação neotectônica destas estruturas através de uma transcorrência dextral de direção E-W, durante o final do Pleistoceno e início do Holoceno. Este sistema controla o trecho final do rio Doce, junto à sua foz, e é praticamente absoluto na estreita faixa sedimentar que vai das proximidades de Aracruz até o final da área de estudo, ao sul. Ao norte do rio Doce, este sistema forma um extenso e descontínuo feixe de lineamentos, que se estende desde o embasamento até as proximidades dos campos terrestres da região ao sul de São Mateus.

A distribuição da frequência absoluta dos lineamentos por comprimentos, mostrada na figura 43, apresenta um padrão praticamente idêntico ao observado na análise da área total (item 5.3.1). De uma maneira geral, o sistema NW-SE apresenta lineamentos com maior comprimento médio do que o sistema NE (Fig. 44), sendo freqüentemente seccionado por este último. Entretanto, a frequência é bastante irregular, sendo alta na porção sul e mais baixa na região ao norte do rio Doce, onde os sedimentos da Fm. Barreiras atingem sua maior largura (até 100 km). A figura 45 apresenta o resumo estatístico para os lineamentos do Domínio Sedimentar, com base na frequência.

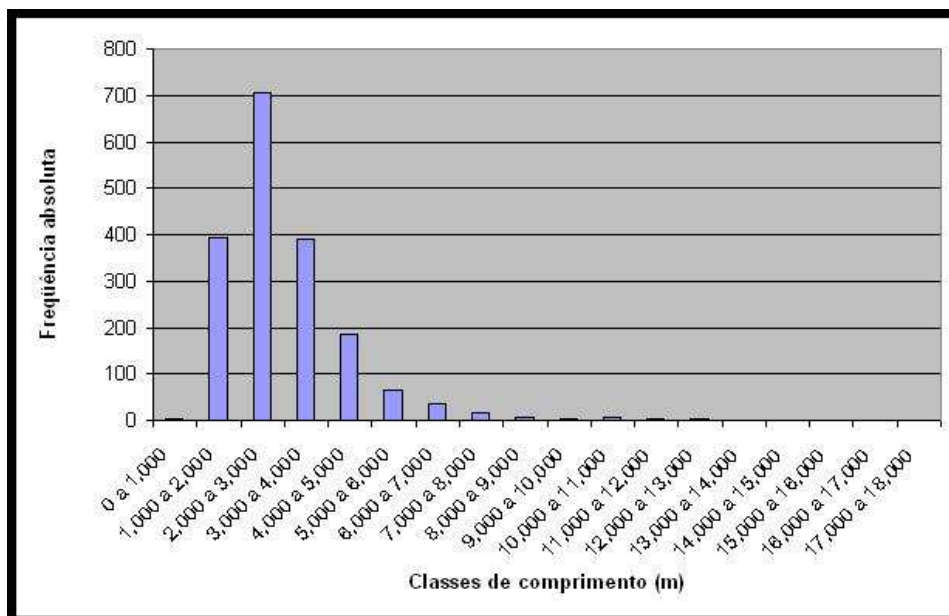


Fig. 43: Histograma de frequência absoluta dos lineamentos por classes de comprimento no Domínio Sedimentar.

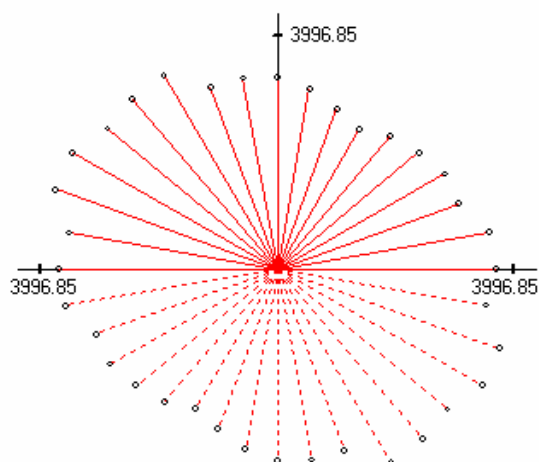


Fig. 44: Diagramas direcionais para comprimento médio dos lineamentos no Domínio Sedimentar.

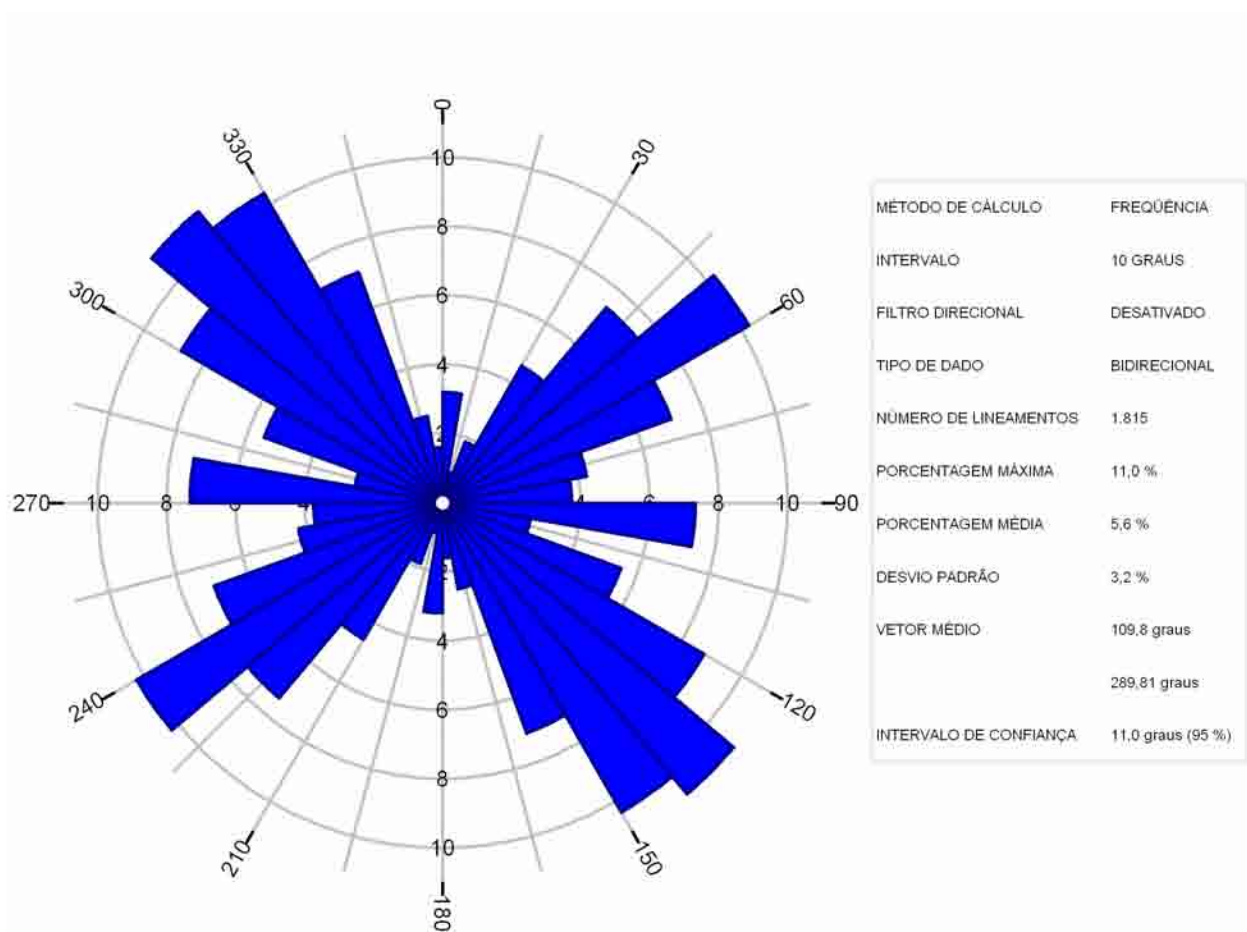


Fig. 45: Diagrama de rosetas com o resumo estatístico para o Domínio Sedimentar.

### 5.3.3 Domínio da Faixa Colatina

Estende-se, de maneira geral, por toda a porção central da área de estudo, formando uma faixa alongada na direção N-S, desde o limite norte até as proximidades de Vitória (Fig 47). Esta área de ocorrência coincide com associações litológicas bem definidas, representadas pelos gnaisses graníticos de alto grau metamórfico do Complexo Montanha (ao norte) e pelos migmatitos, anfibolitos e gnaisses kinzigíticos do Complexo Paraíba do Sul (ao sul).

Neste domínio, foi identificada uma maior quantidade de lineamentos (2.940 no total), com um comprimento total acumulado de 10.762 km (Fig. 46). Este caráter rúptil mais acentuado reflete, por um lado, a influência de zonas de fraqueza pré-existent (rochas dotadas de foliação tectônica e/ou bandamento composicional), e, por outro lado, o padrão deformacional predominante, com a superposição de diferentes eventos tectônicos.

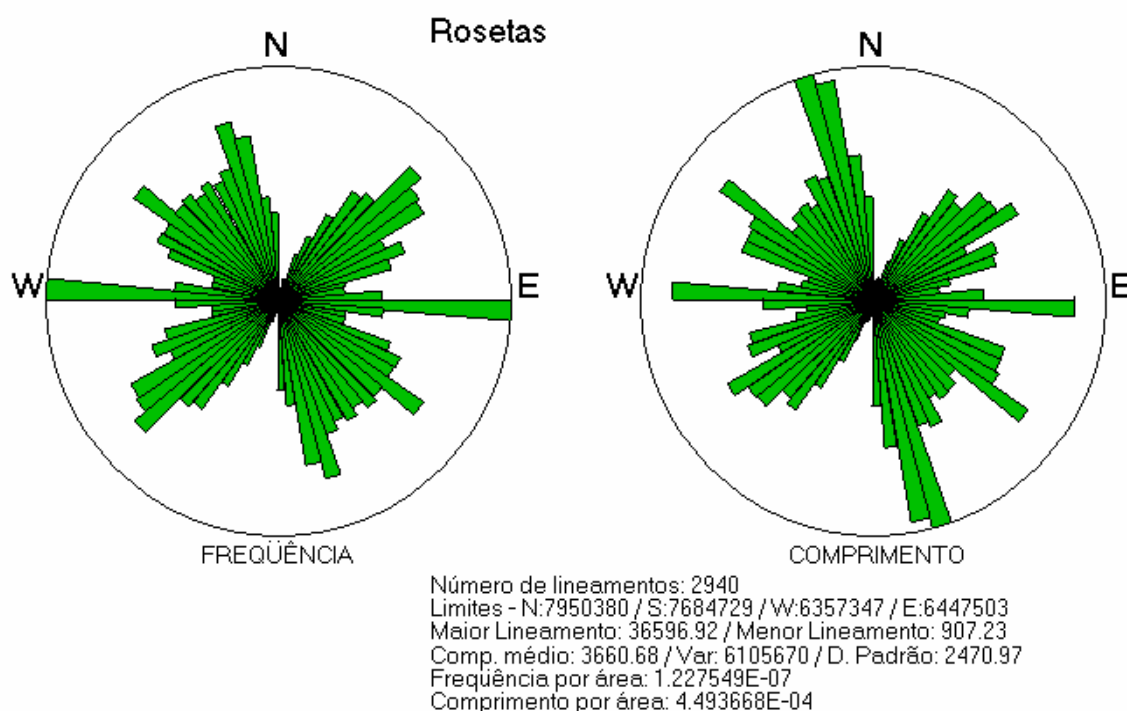


Fig. 46: Diagramas de roseta para os lineamentos da Faixa Colatina.

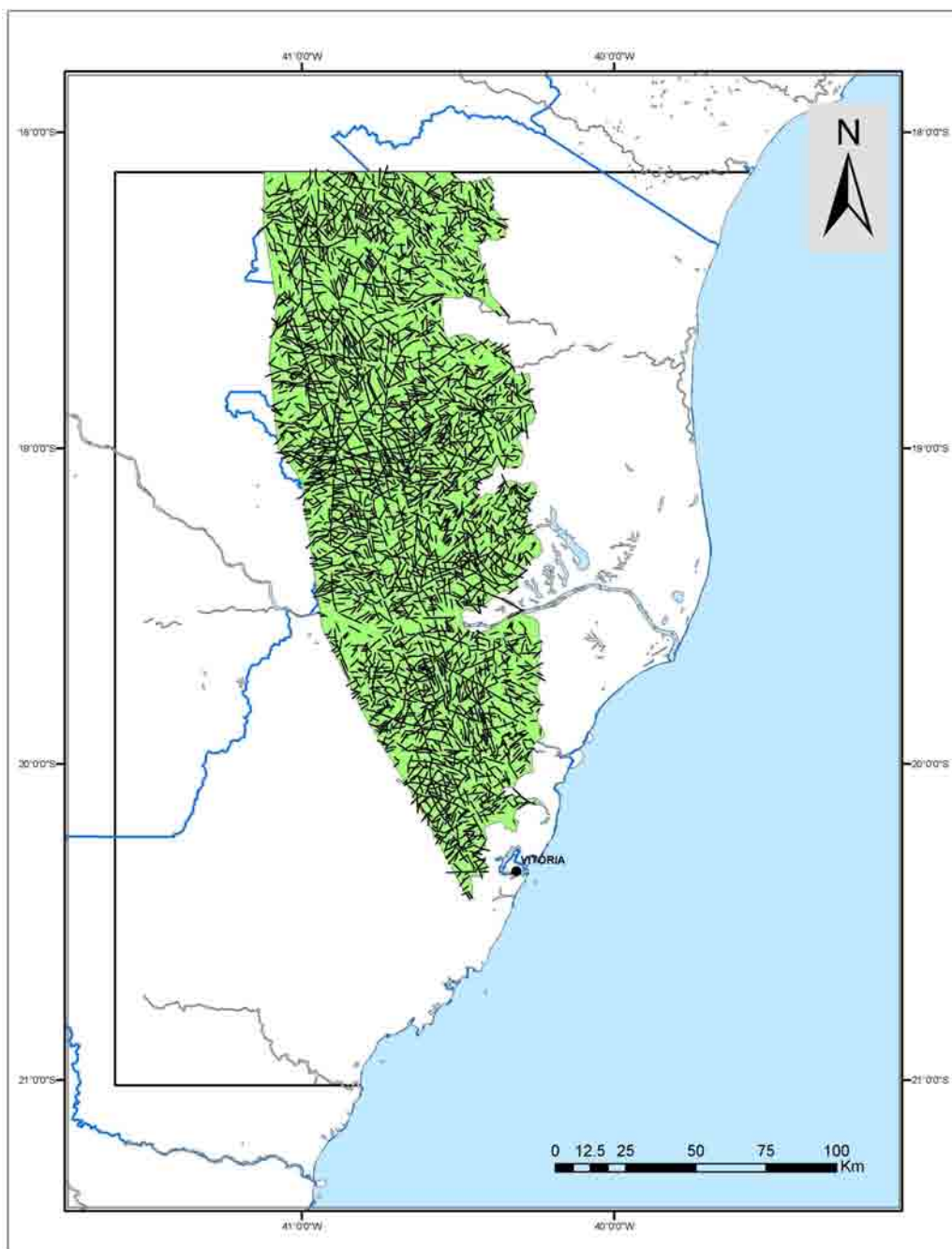


Fig. 47: Distribuição dos lineamentos no Domínio da Faixa Colatina.

A maior parte das feições apresenta extensão entre 2 e 3 km, podendo atingir mais de 30 km de comprimento na porção central da Faixa Colatina. Entretanto, há um predomínio da classe de 3 a 4 km sobre a classe de 1 a 2 km, destoando do quadro obtido

para o total das feições (Fig. 48). Além disso, quase metade dos lineamentos com extensão superior a 6 km encontra-se neste domínio (330 de um total de 674). Dentre os lineamentos mais extensos (superiores a 20 km), 8 pertencem a este domínio, de um total de 12 para toda a área de estudo. O comprimento médio calculado foi de 3.660 m, e apenas 3 feições apresentam comprimentos inferiores a 1 km, sendo que o menor possui 907 m (Fig. 46).

Estes dados evidenciam a importância dos atributos comprimento e intensidade para os lineamentos deste domínio (Fig. 51 e 52). De acordo com Chiang (1984), os lineamentos que apresentam as maiores extensões exibem uma tendência a serem os mais antigos, sendo, portanto, mais propensos a sofrer reativações tectônicas recorrentes.

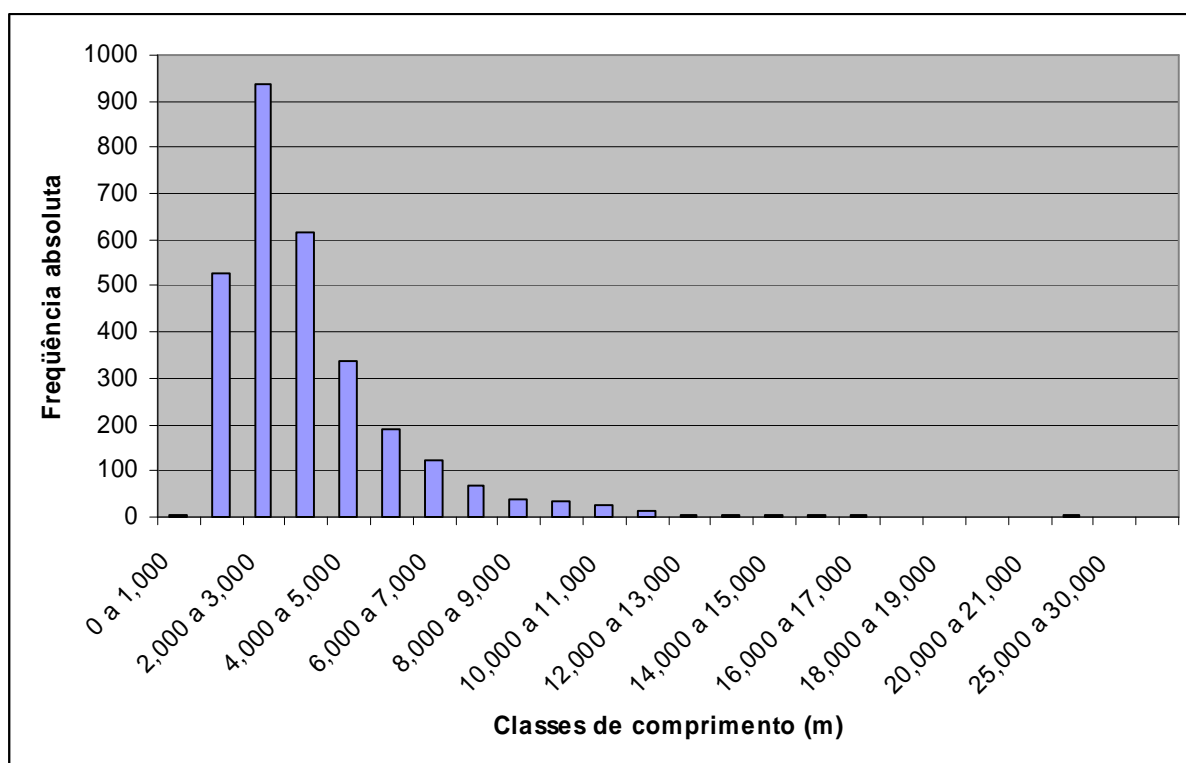


Fig. 48: Histograma de frequência absoluta dos lineamentos por classes de comprimento na área do Domínio da Faixa Colatina.

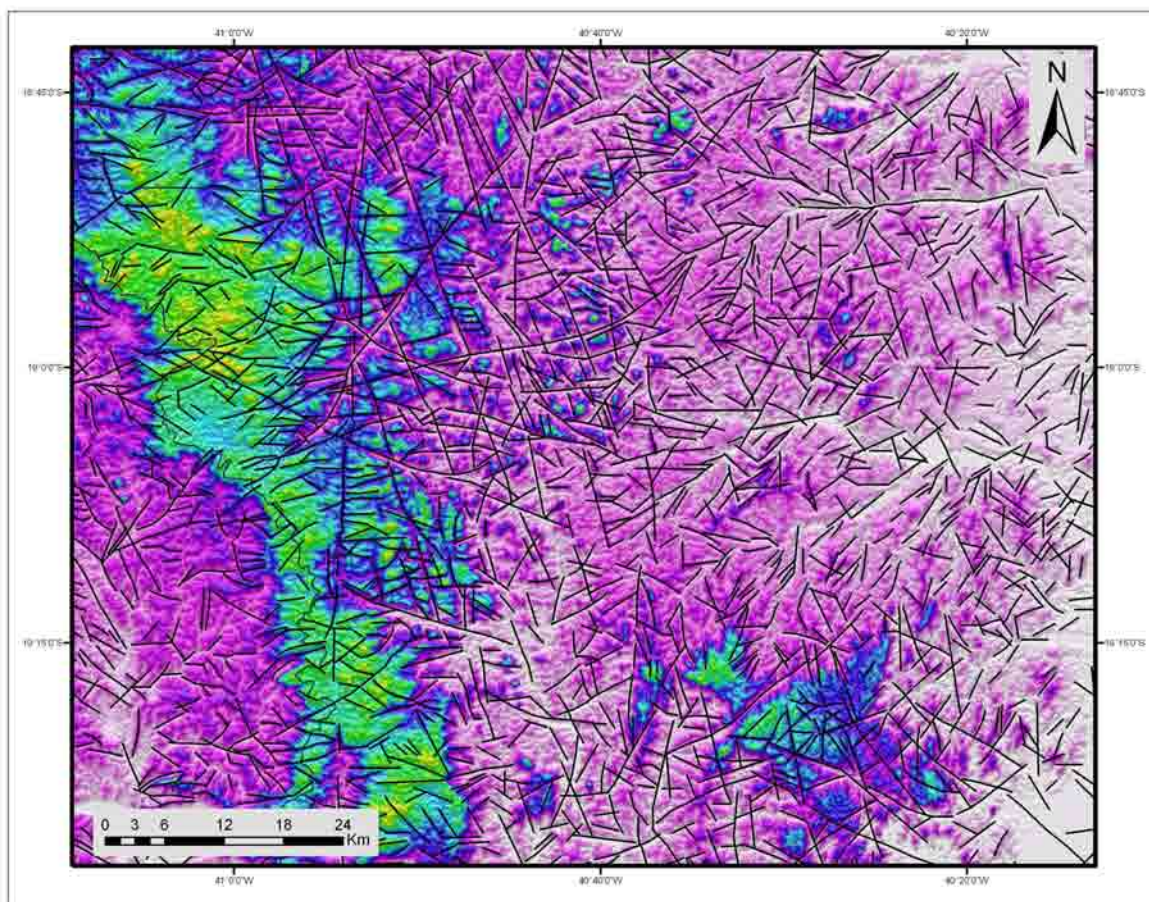


Fig. 49: Modelo digital de elevação sombreado (SRTM), onde as cores verde-amareladas indicam as áreas de topografia mais elevada. Observa-se as relações entre os lineamentos presentes na faixa central da área de estudo, com destaque para as estruturas NNW-SSE e N 45-60° W.

Os lineamentos NNW-SSE tendem a se concentrar na região central da área de estudo (Fig. 49), desde o norte do Espírito Santo até as proximidades de Vitória, onde são recobertos pelos sedimentos terciários do Grupo Barreiras. Quando possível, observou-se que estes lineamentos seccionam e/ou deslocam as estruturas de direção N 20-30° E, mais antigas e cuja herança tectônica representou o controle principal na estruturação da fase rifte. Ao mesmo tempo, frequentemente os lineamentos NNW-SSE aparecem deslocados pelas estruturas de direção N 60-80° E e N 45-60° W, geradas durante o *break-up*.

O sistema de lineamentos NNW-SSE é identificado, principalmente, por extensos alinhamentos e trechos retilíneos da rede de drenagem, descontínuos e bem definidos. Segundo Vieira *et. al.* (1994), os diques de diabásio da Suíte Intrusiva Fundão, de idade

Neojurássica, possuem orientação concordante com esta direção, estando distribuídos ao longo da Faixa Colatina.

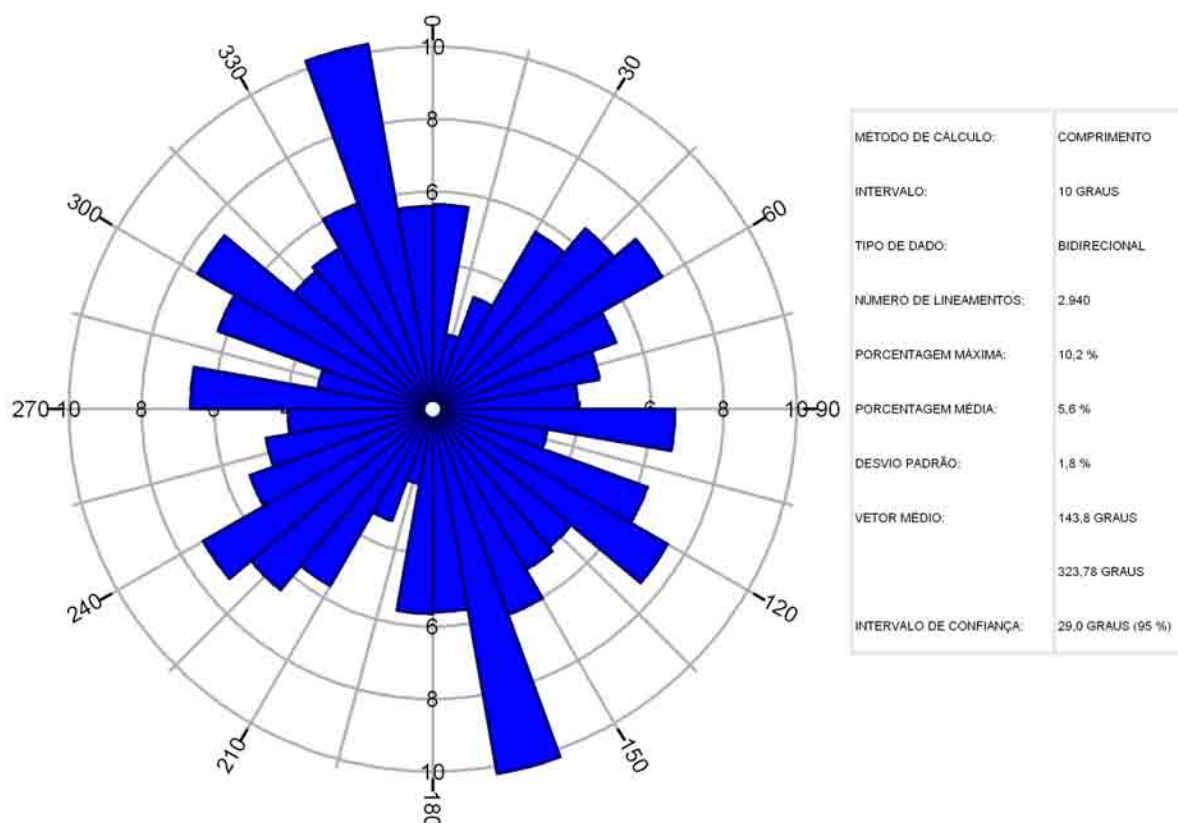


Fig. 50: Diagrama de rosetas com o resumo estatístico no Domínio da Faixa Colatina.

Por fim, os lineamentos com direção predominante NNE distribuem-se amplamente na área de ocorrência do embasamento, tanto no Domínio da Faixa Colatina como nos Domínios Sul, Oeste e Noroeste, sendo freqüentemente seccionados e/ou deslocados pelos outros sistemas. Apresentam densidade espacial bastante variável, sendo que os mais extensos podem atingir mais de 20 km de comprimento na região ao sul do rio Doce. É comum exibirem terminações encurvadas, razão pela qual muitos são classificados como curvilineamentos (O'Leary *et. al.*, 1976). Segundo Chiang (1984), esta característica pode ser indicativa de deformação em regime dúctil, o que é compatível com uma origem profunda destas estruturas e coerente com o predomínio destas feições na interpretação dos mapas gravimétricos, como será visto adiante.

A figura 50 apresenta o resumo estatístico para os lineamentos do Domínio da Faixa Colatina, tomando-se o atributo comprimento como base de cálculo. Na figura 53, pode-se observar a complexidade das relações entre os sistemas estruturais presentes neste domínio.

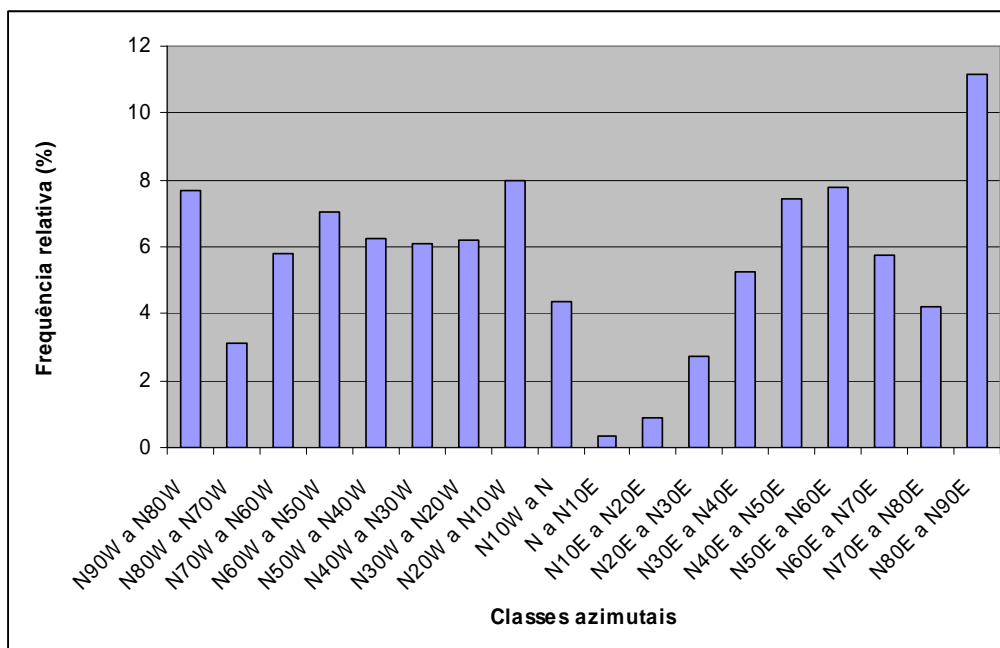


Fig. 51: Histograma de frequência relativa dos lineamentos por direção na Faixa Colatina.

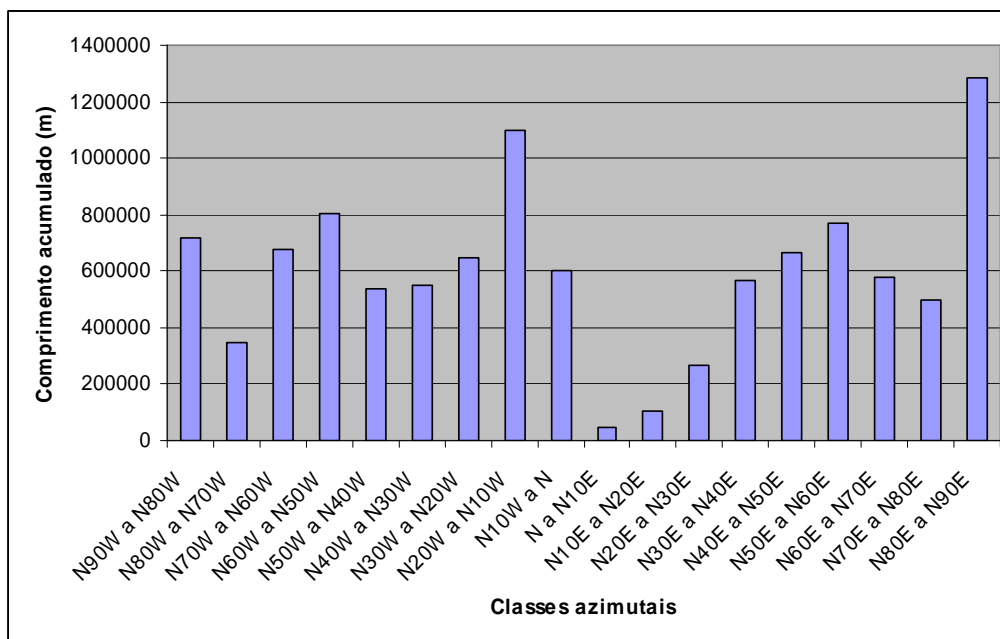


Fig. 52: Histograma de comprimentos acumulados por direção no Domínio da Faixa Colatina.

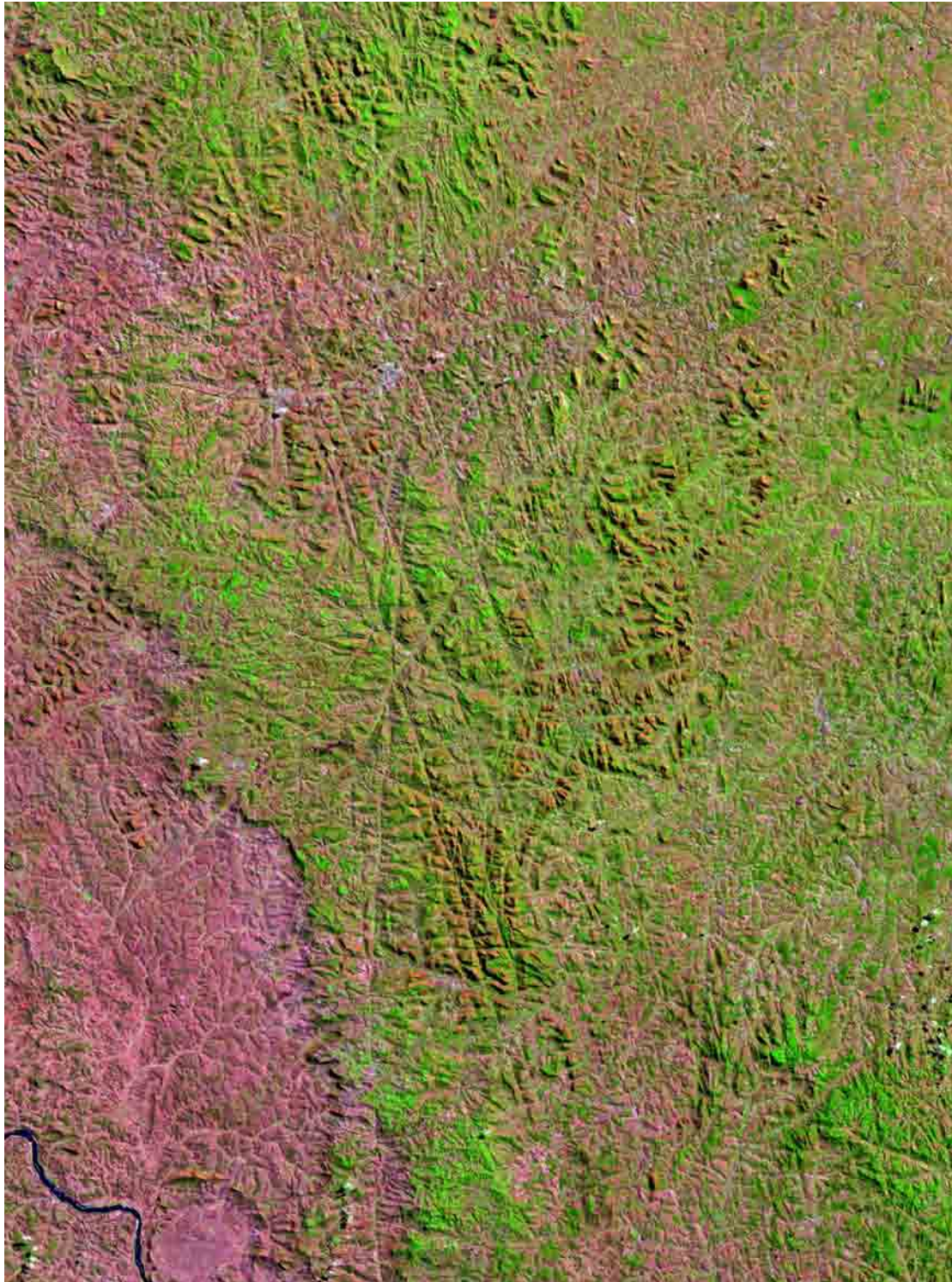


Fig. 53: Parte da imagem LANDSAT-7 216/73, composição 5R4G3B, destacando os lineamentos NNW-SSE (associados à Faixa Colatina) e N 45-60 W (relacionados a fraturas de cisalhamento contemporâneas à fase rifte). Escala aproximada 1:580.000.

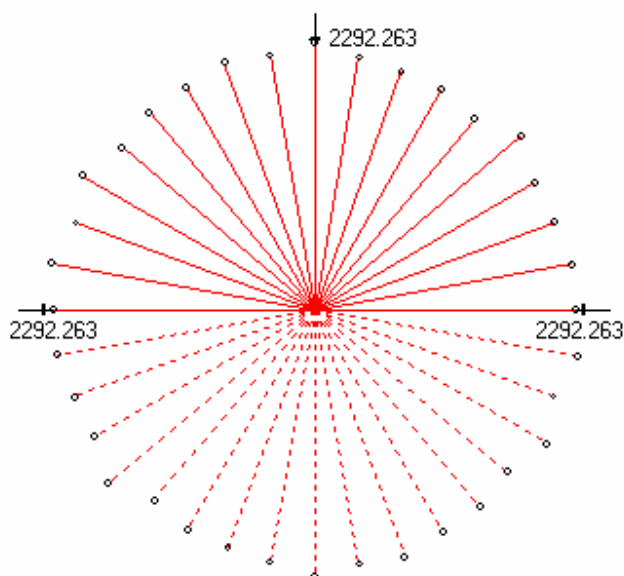


Fig. 54: Diagramas direcionais para o comprimento médio dos lineamentos no Domínio da Faixa Colatina.

#### 5.3.4) Domínio Sul

Corresponde à região situada a sul e sudoeste de Vitória, sendo limitado pela estreita faixa sedimentar que acompanha o litoral sul do Espírito Santo. Grande parte de sua área localiza-se além do limite da bacia do Espírito Santo, refletindo a estruturação dominante no embasamento da vizinha bacia de Campos (Fig. 55).

Foram identificados 2.025 lineamentos, com uma direção preferencial N50-60E (Fig. 56 e 57). O maior lineamento apresenta extensão de 27,45 km e o menor 665 m, sendo que o comprimento médio calculado foi de 3.355 m (Fig. 56 e 58). O comprimento total acumulado é de 6.795 km. A densidade das feições é bastante irregular, sendo alta nas porções leste e oeste e baixa na área central.

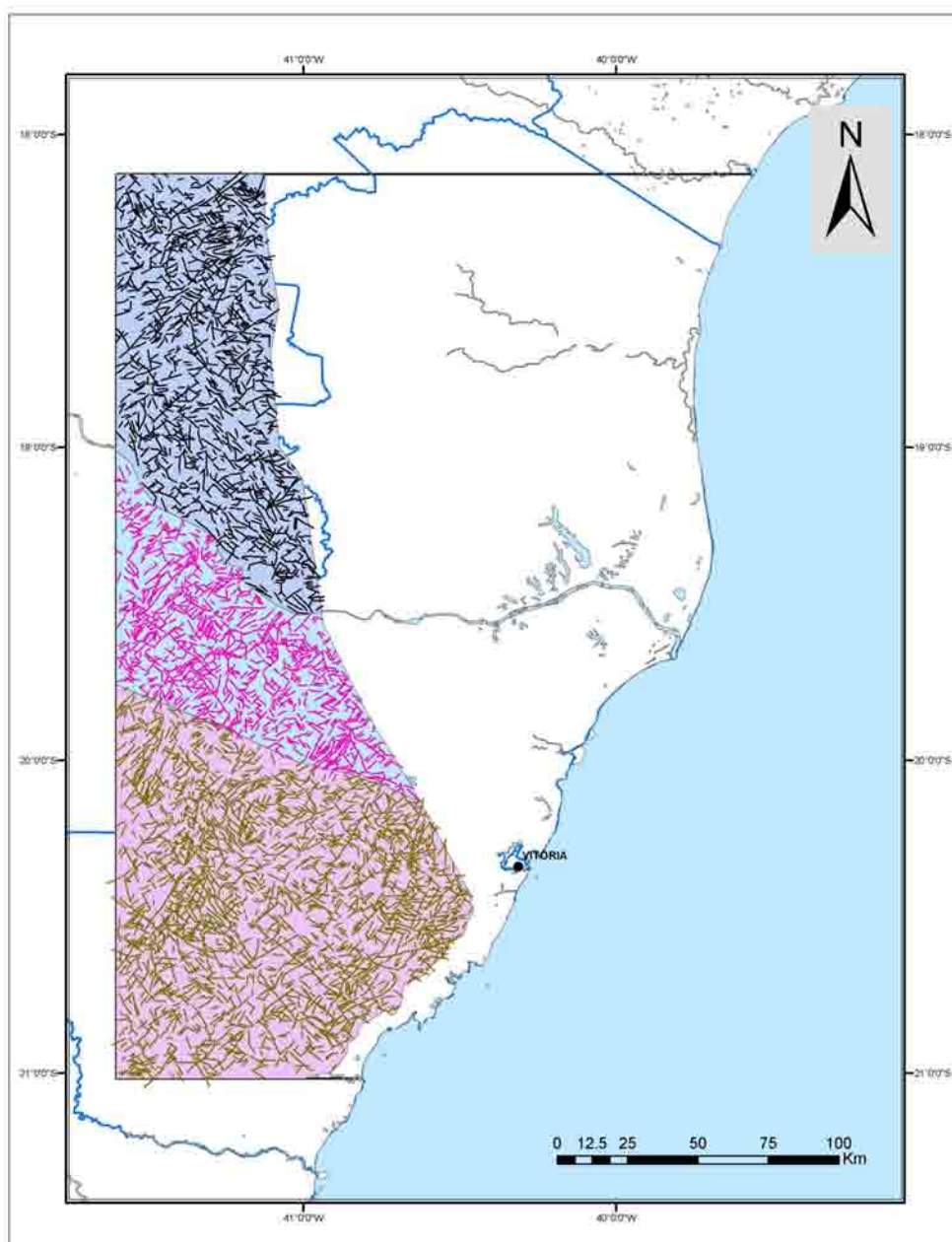


Fig. 55: Distribuição dos lineamentos nos domínios Sul, Oeste e Noroeste.

Os domínios Oeste e Noroeste, em função da distância em relação à área sedimentar e do fato de apresentarem, respectivamente, padrões estruturais semelhantes aos dos Domínios Sul e Faixa Colatina, não serão detalhados individualmente. Os parâmetros estatísticos e direcionais dos atributos estão incluídos na análise geral dos lineamentos, descrita no item 5.3.1., e também podem ser observados nas figuras 60 e 61.

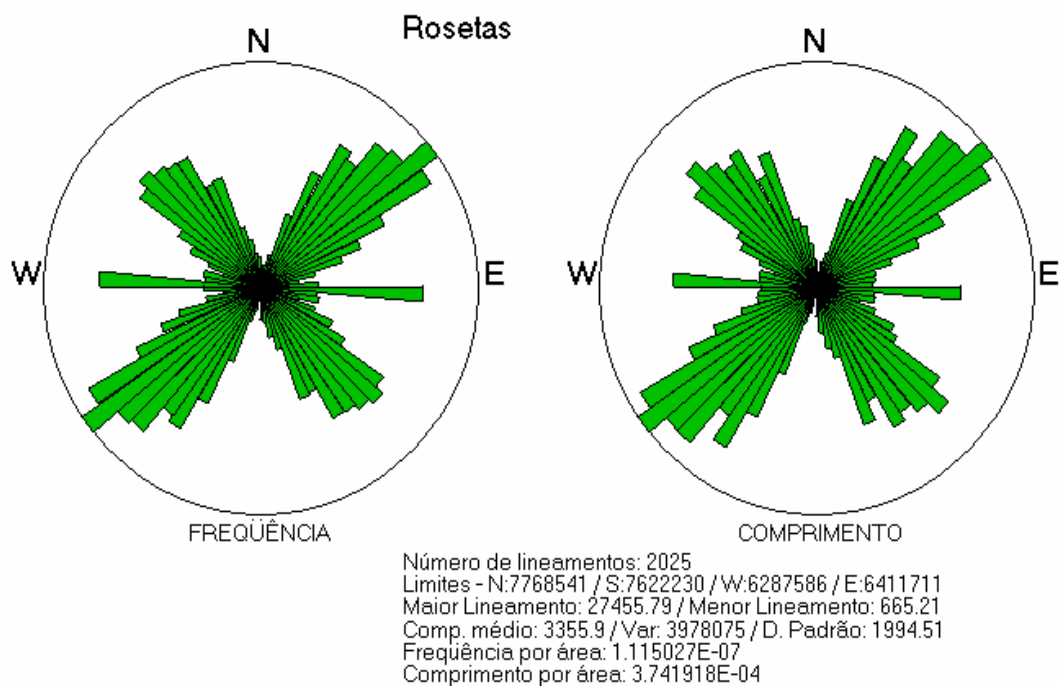


Fig. 56: Diagramas de roseta para os lineamentos do Domínio Sul.

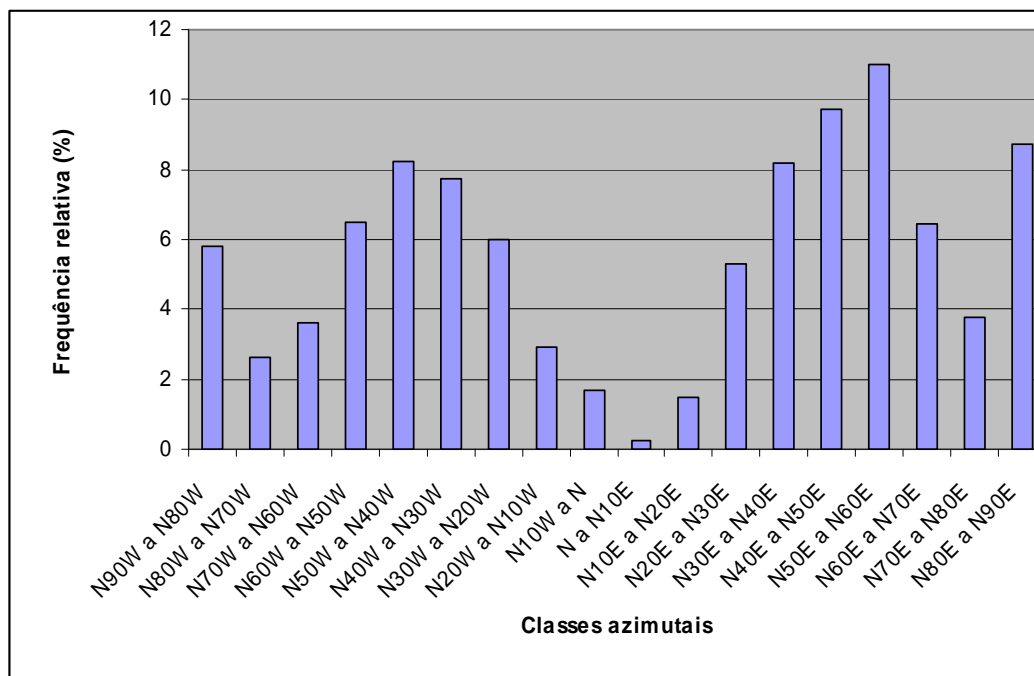


Fig. 57: Histograma de frequência relativa dos lineamentos por direção no Domínio Sul.

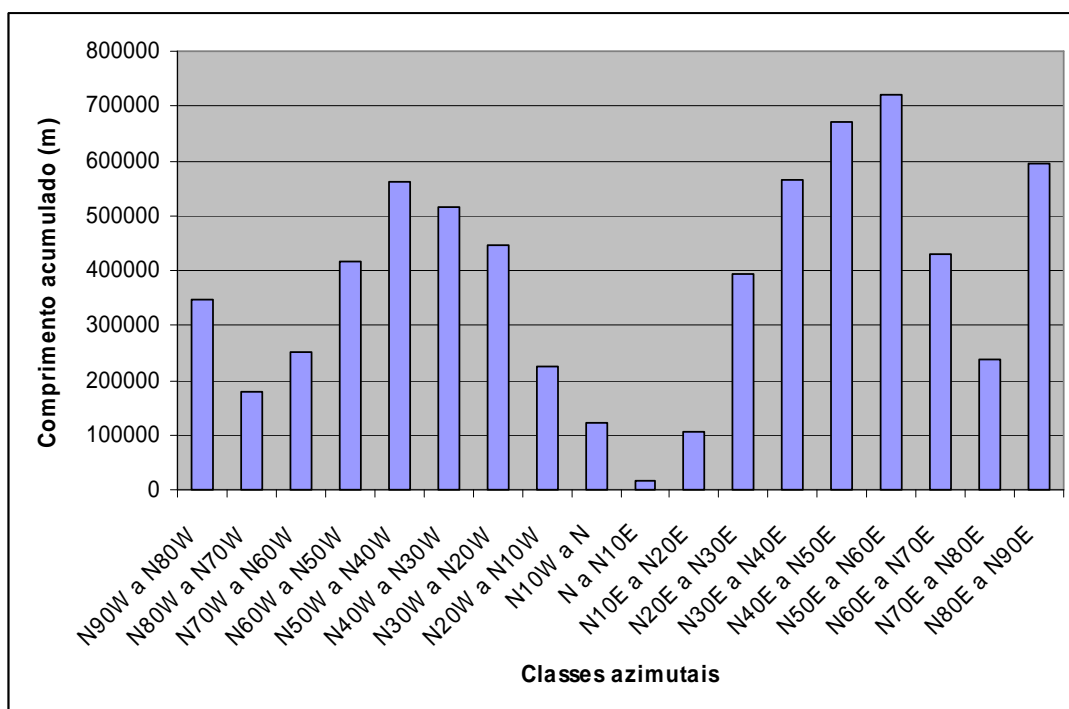


Fig. 58: Histograma de comprimentos acumulados por direção no Domínio Sul.

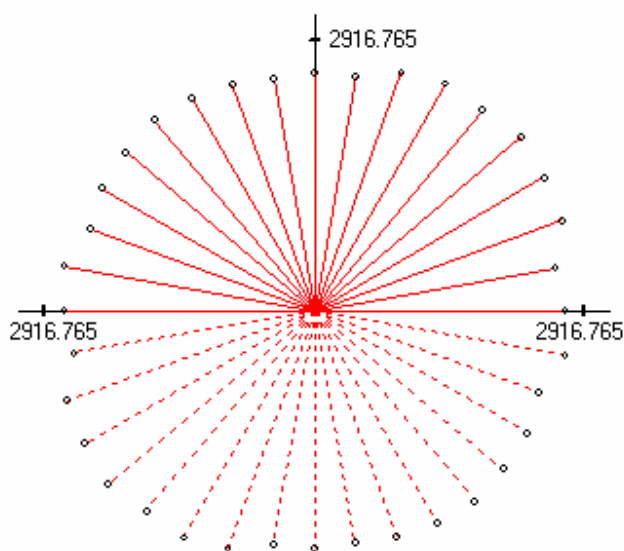


Fig. 59: Diagrama direcional para o comprimento médio dos lineamentos no Domínio Sul.

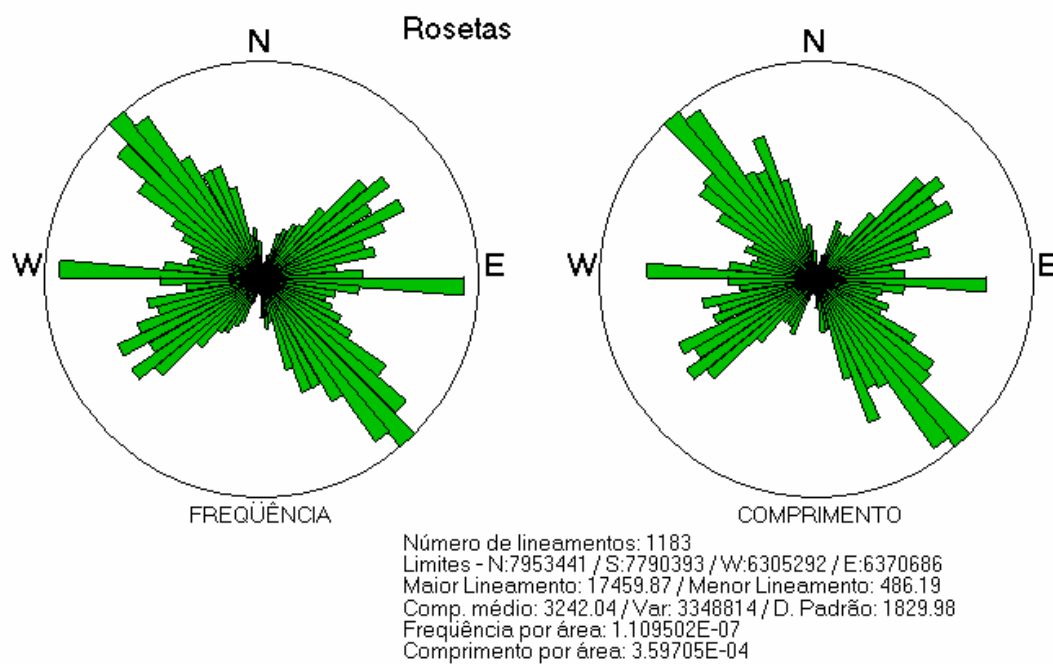


Fig. 60: Diagrama de rosetas para os lineamentos do Domínio Noroeste.

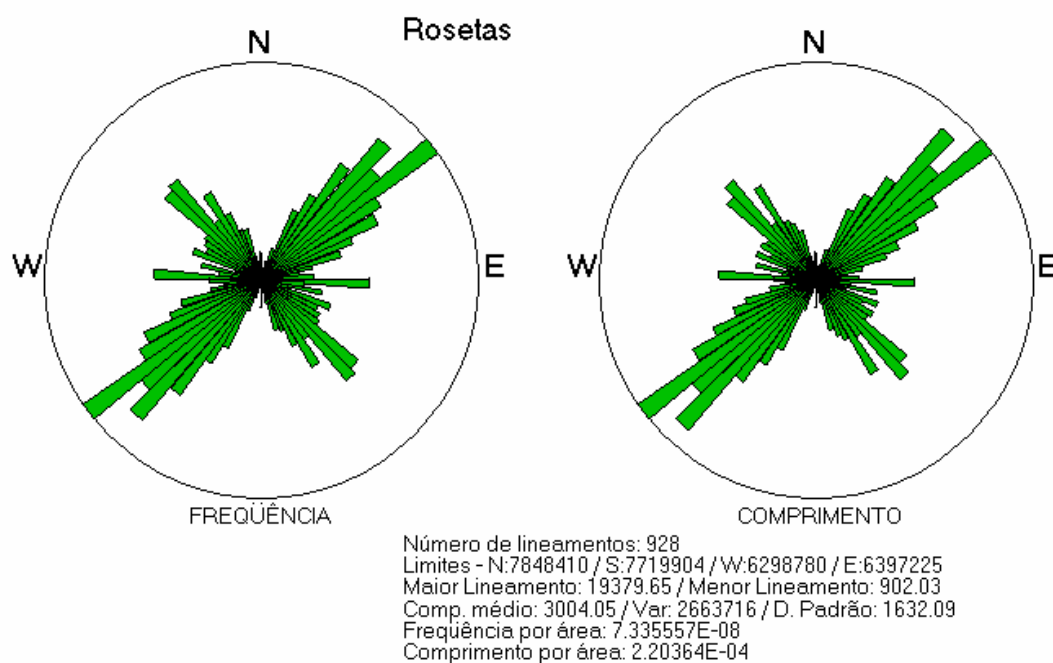


Fig. 61: Diagrama de rosetas para os lineamentos do Domínio Oeste.

### 5.3.5) Análise de atributos

Com o objetivo de uma melhor compreensão das feições estruturais da área e dos fatores geológicos potencialmente importantes para o fluxo de fluidos, foram elaborados mapas de atributos dos lineamentos distribuídos por toda a área investigada. Além disso, também foram individualizados mapas para o Domínio Sedimentar e para a Faixa Colatina, os mais importantes para os objetivos da pesquisa. Os alvos das análises foram: distribuição de frequência em todas as direções, densidade, comprimento acumulado e intersecções para o conjunto total de lineamentos. Os mapas foram gerados através de contagem em *grid* regular com células de 6 x 6 km. Também foram executadas análises através de filtros direcionais para as classes mais representativas (NW-SE e NE-SW).

Para facilitar a correlação das feições obtidas na porção emersa da bacia com as informações prévias disponíveis, foram traçados os principais *trends* estruturais referentes aos lineamentos obtidos nas imagens, em escala aproximada de 1:500.000 (Fig. 62).

Nos mapas gerados para toda a área estudada, observa-se uma maior concentração da frequência total na região central e no extremo sudoeste (Fig. 63), com picos de até 22 lineamentos por célula. Já os atributos comprimento (máximo de 320 km na soma da extensão total dos lineamentos que atravessam cada célula) e intersecções (máximo de 34 cruzamentos por célula) apresentam uma concentração gritante de altos valores na porção central da Faixa Colatina (Fig. 64 e 65). Entretanto, no Domínio Sul, é significativa a ocorrência de altos valores de frequência na sua porção ocidental (Fig.63), enquanto a porção oriental exhibe valores moderados a altos de comprimento acumulado (Fig. 64) e intersecções (Fig. 65). No mapa de frequência total, é possível notar uma estreita faixa de direção aproximada E-W, seccionando ao meio a área estudada, onde os baixos valores de frequência se devem ao curso do rio Doce e seu entorno, que dificulta a detecção de feições através de sensores remotos.

Observa-se também que, em todos os mapas analisados, a porção leste-nordeste da região (área de ocorrência do Domínio Sedimentar) é a que apresenta os mais baixos valores de frequência, comprimento e intersecções, notadamente a faixa costeira, onde os depósitos recentes mascaram quase que totalmente as estruturas do substrato quando observadas através de sensores orbitais.

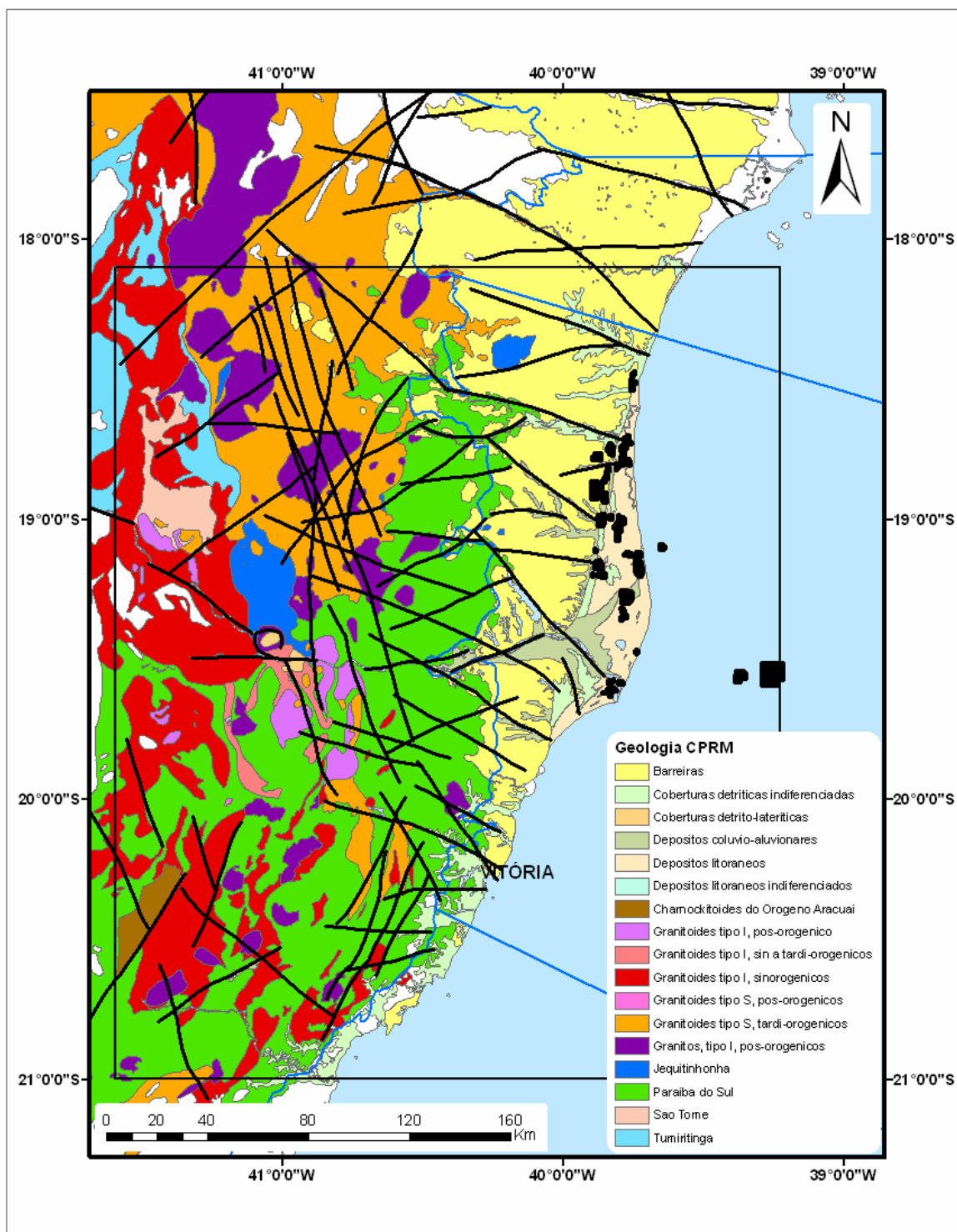


Fig. 62: *Trends* estruturais de 1ª ordem (traços pretos) sobrepostos ao mapa geológico da região (CPRM, 2001). Campos de produção (polígonos pretos) e limites das bacias (azul) de acordo com a ANP (2006).

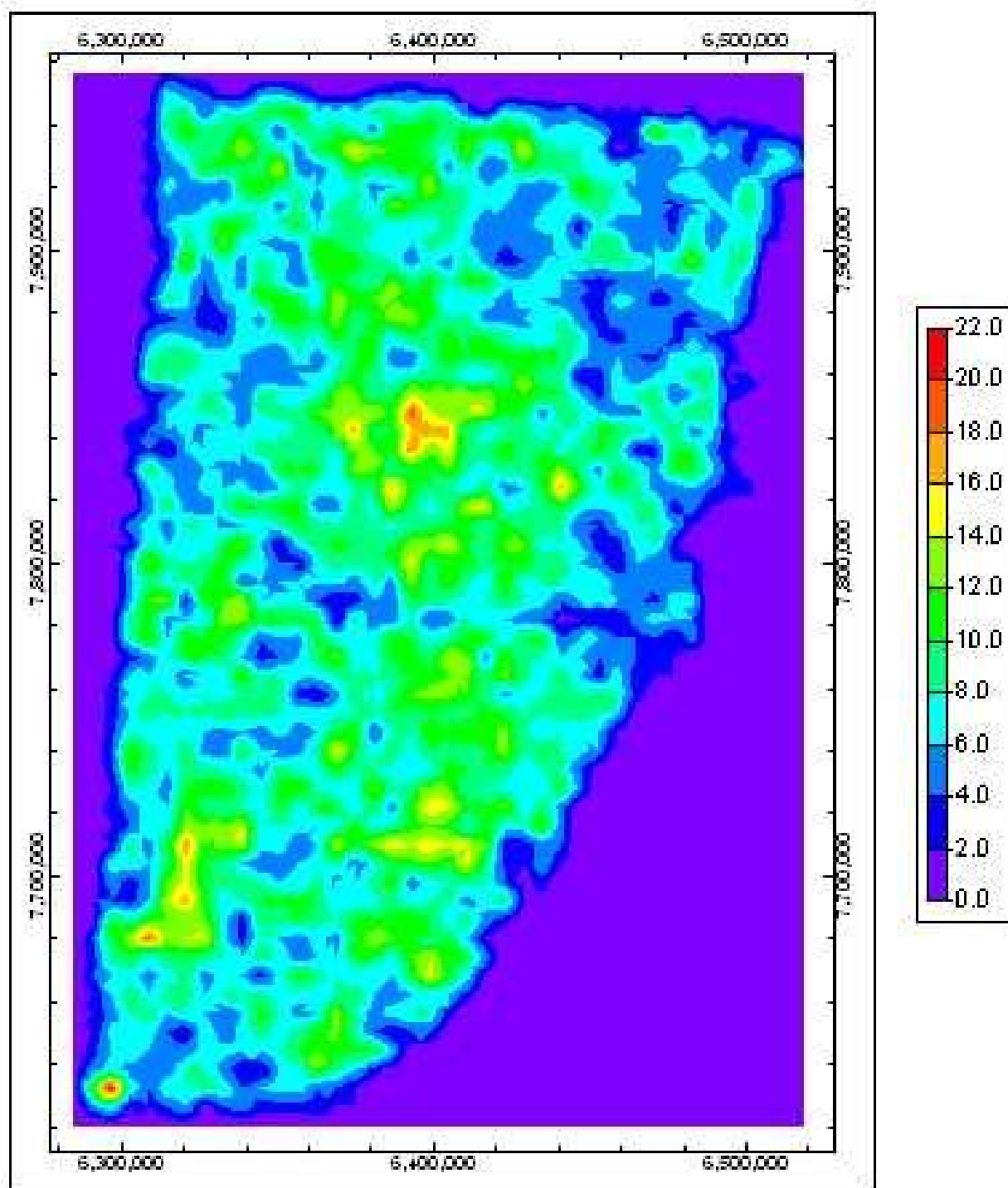


Fig. 63: Frequência de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km. A tabela de cores indica o número de lineamentos em cada célula. Projeção Policônica, datum SAD 69.

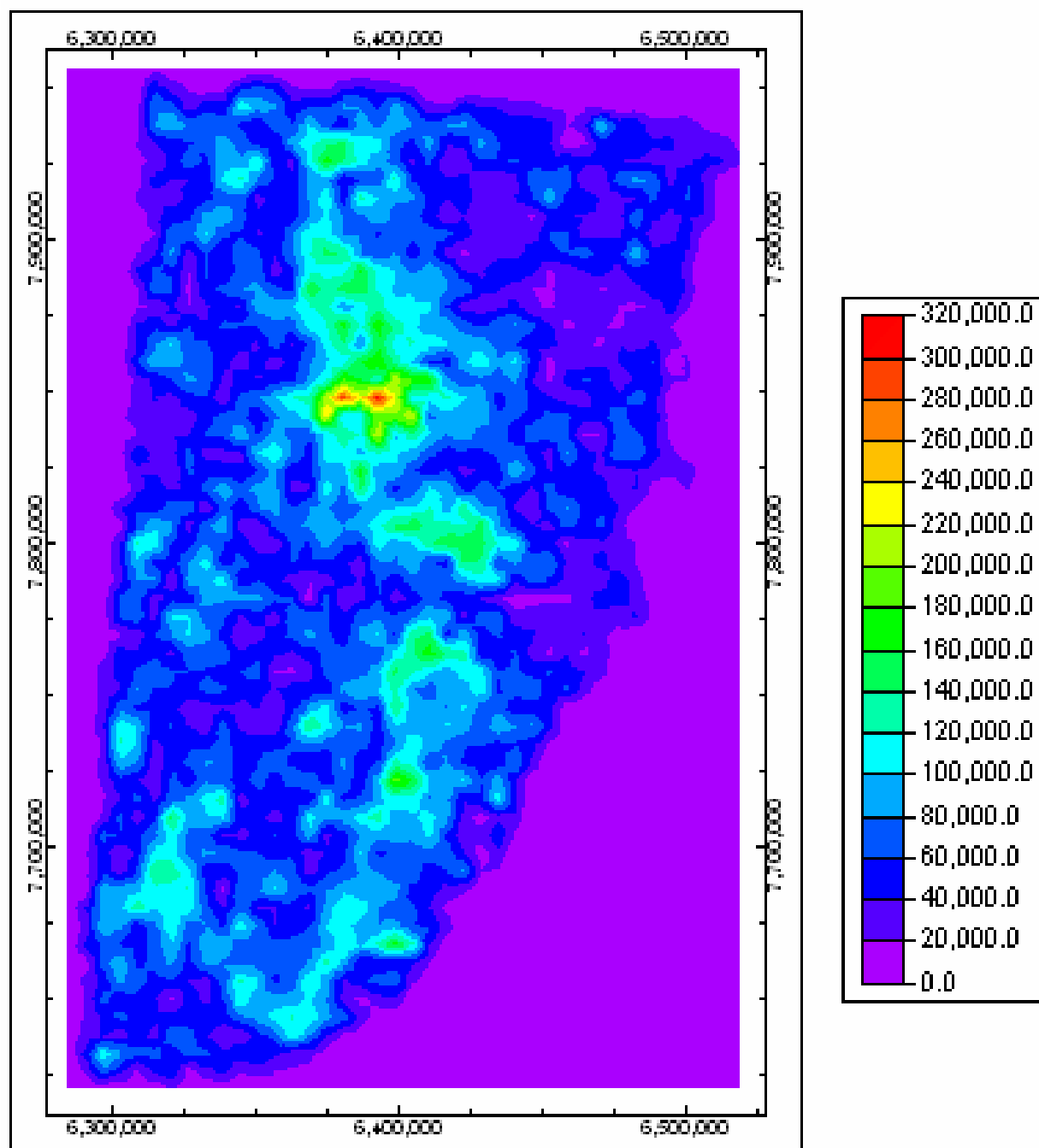


Fig. 64: Comprimento acumulado de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km. A tabela de cores indica a soma da extensão total (em metros) de cada lineamento que atravessa uma célula. Projeção Policônica, *datum* SAD 69.

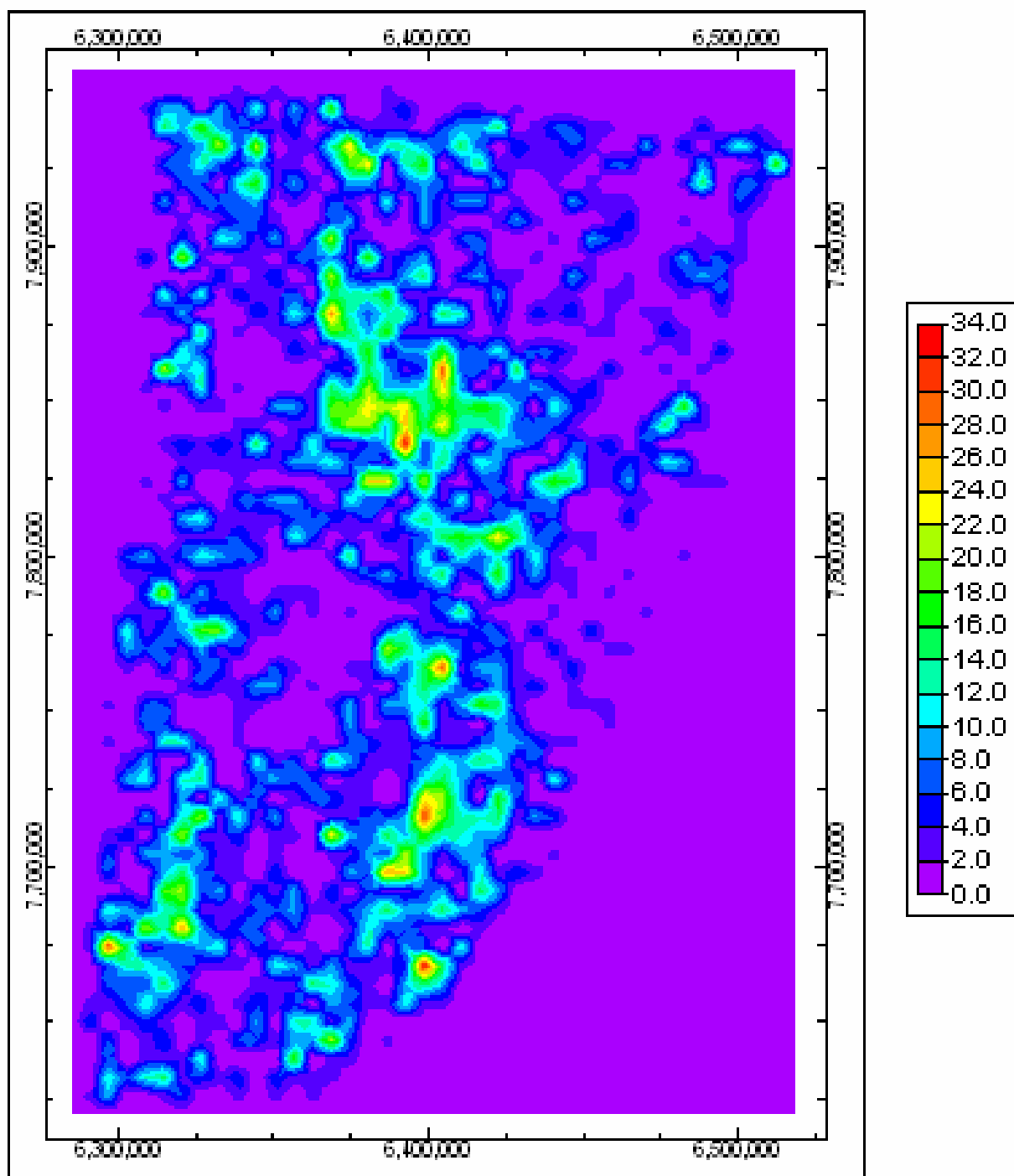


Fig. 65: Intersecções de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km. A tabela de cores indica o número de cruzamentos em cada célula. Projeção Policônica, datum SAD 69.

O Domínio da Faixa Colatina exhibe claramente os valores mais altos de frequência total (Fig. 66), com até 19 lineamentos por célula, e comprimento acumulado (Fig. 67), com até 300 km de extensão (considerando o comprimento total de cada lineamento que atravessa uma célula). O mapa de densidade total também reflete a concentração de lineamentos na sua porção central (Fig. 68), com a ocorrência de altos valores também na região ao sul do rio Doce.

Esta concentração de altos valores dos atributos analisados na porção central deste domínio reflete a grande complexidade estrutural presente, sendo a região de cruzamento entre os *trends* estruturais NNW-SSE, NE-SW, NW-SE e E-W (ver também figura 53).

Embora a classe N10-25W se destaque pela grande extensão e continuidade dos lineamentos, sua área de ocorrência é restrita à faixa central do domínio. Deste modo, as classes N50-70W e N40-60E aparecem como as mais penetrativas, pois apresentam frequências da mesma ordem de grandeza da classe N10-25W distribuídas por uma área de ocorrência muito maior (Figuras 69 e 70).

A classe N50-70W apresenta concentrações de densidade expressivas ao longo de vários feixes subparalelos (Figura 69), definindo compartimentos ao longo dos *trends* regionais identificados desde a região de São Gabriel da Palha até os arredores de Vitória. Já a classe N40-60E possui os valores mais altos de densidade no extremo oriental do domínio (entre as cidades de Nova Venécia e Colatina) e no extremo sul, entre Aracruz e Vitória (Figura 70).

De um modo geral, nota-se que há uma continuidade dos sistemas estruturais predominantes neste domínio em direção à região emersa da bacia, representada pelo Domínio Sedimentar adjacente, com exceção do *trend* NNW-SSE. Observa-se também que há uma ligeira discordância nas direções dos lineamentos da classe NW-SE quando se comparam os dados destes domínios estruturais. Enquanto no Domínio da Faixa Colatina este sistema concentra a maior parte das feições no intervalo N50-70W, no Domínio Sedimentar a maioria das estruturas distribui-se ao longo do intervalo N30-60W.

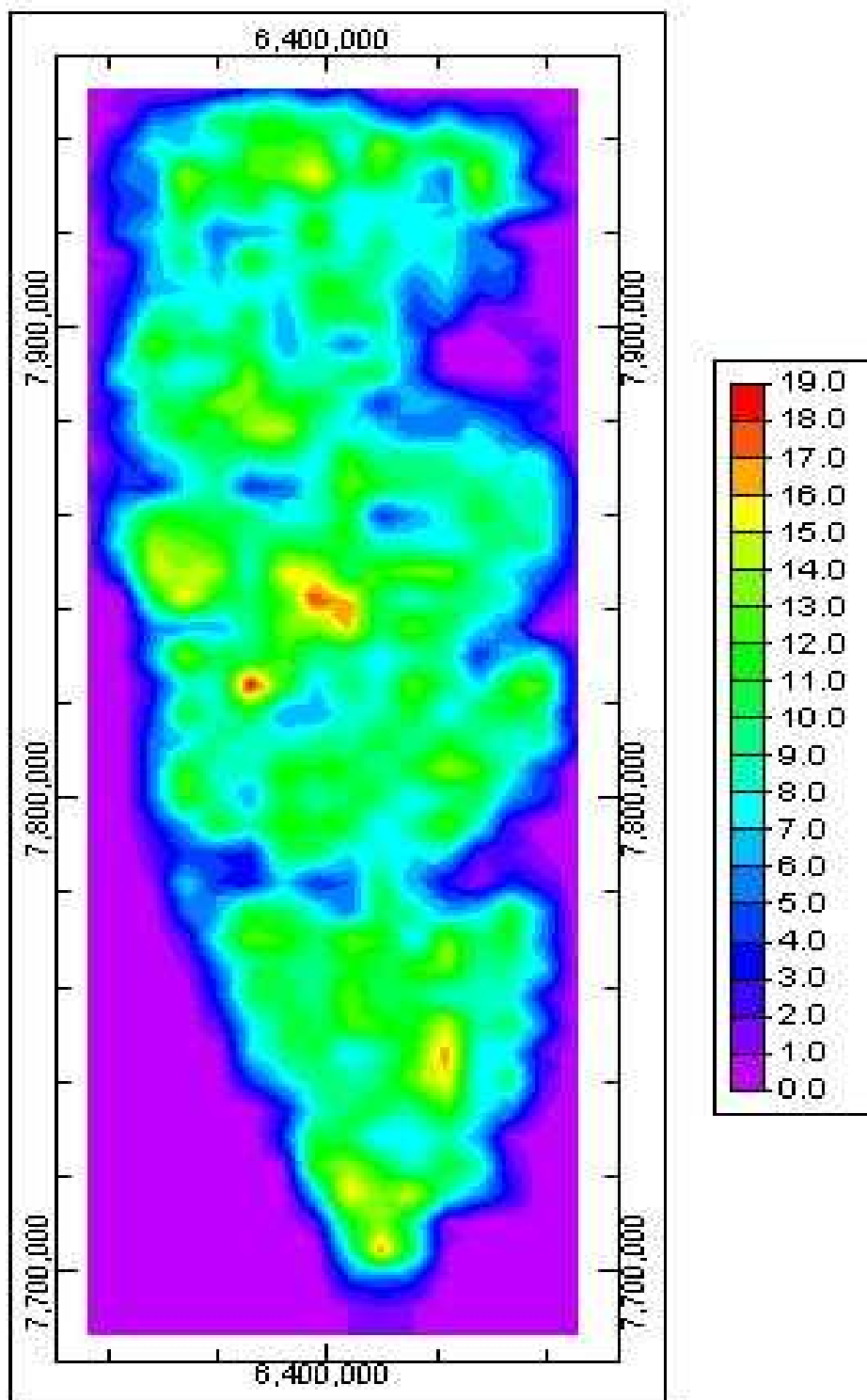


Fig. 66: Frequência de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km, no Domínio da Faixa Colatina. Projeção Policônica, datum SAD 69.

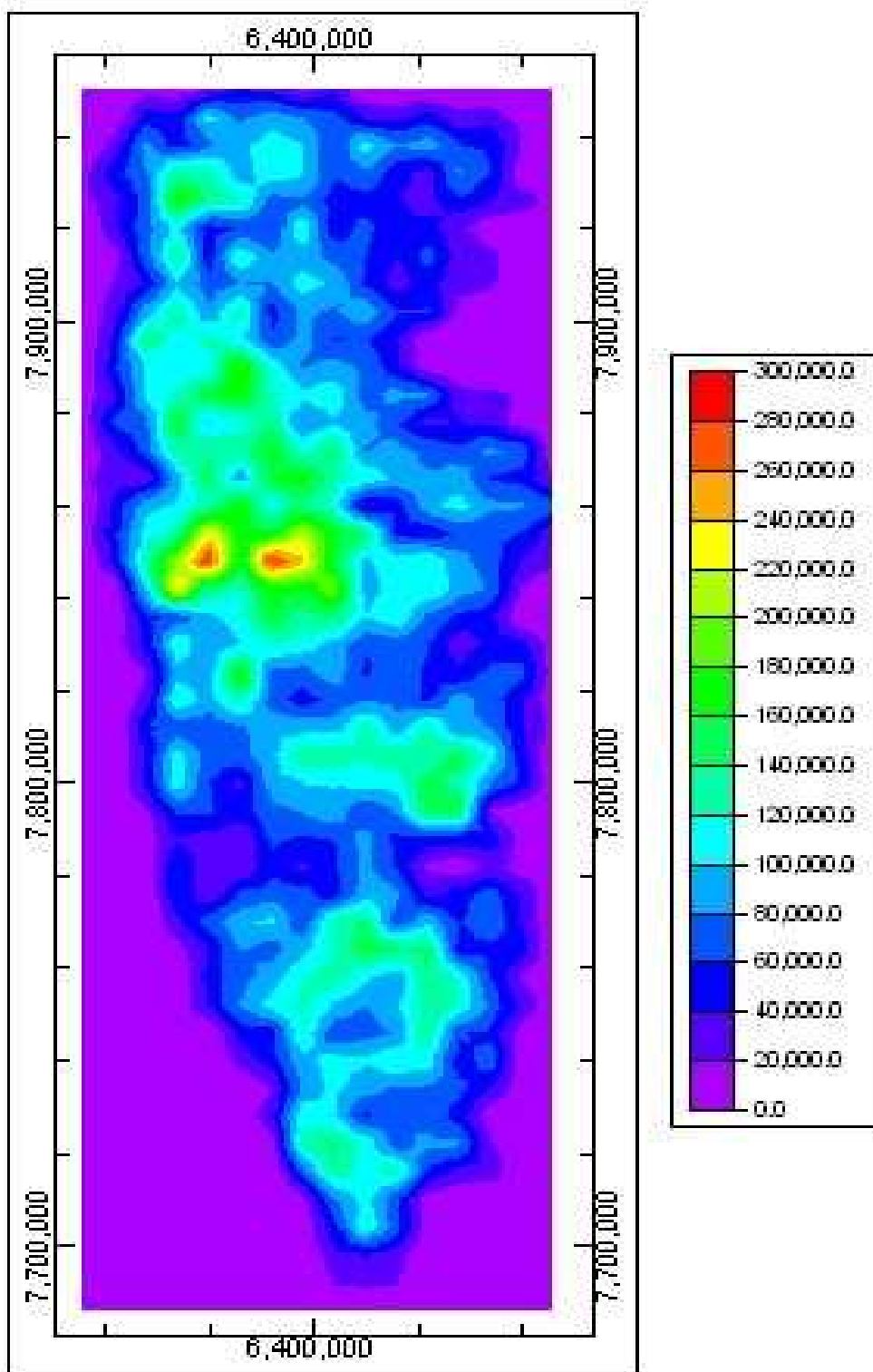


Fig. 67: Comprimento acumulado de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km, no Domínio da Faixa Colatina. Projeção Policônica, *datum* SAD 69.

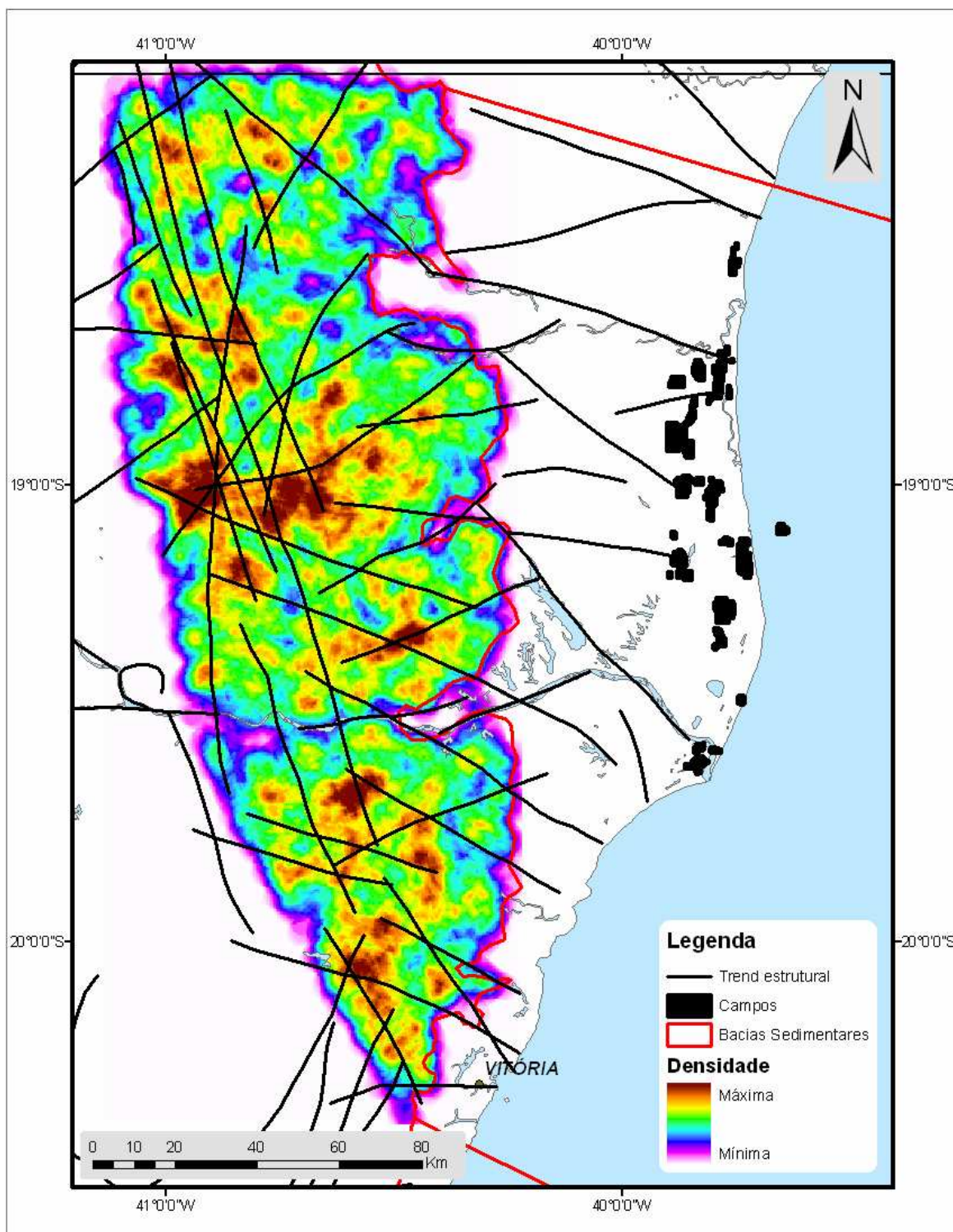


Fig. 68: Densidade de lineamentos em todas as direções no Domínio da Faixa Colatina.

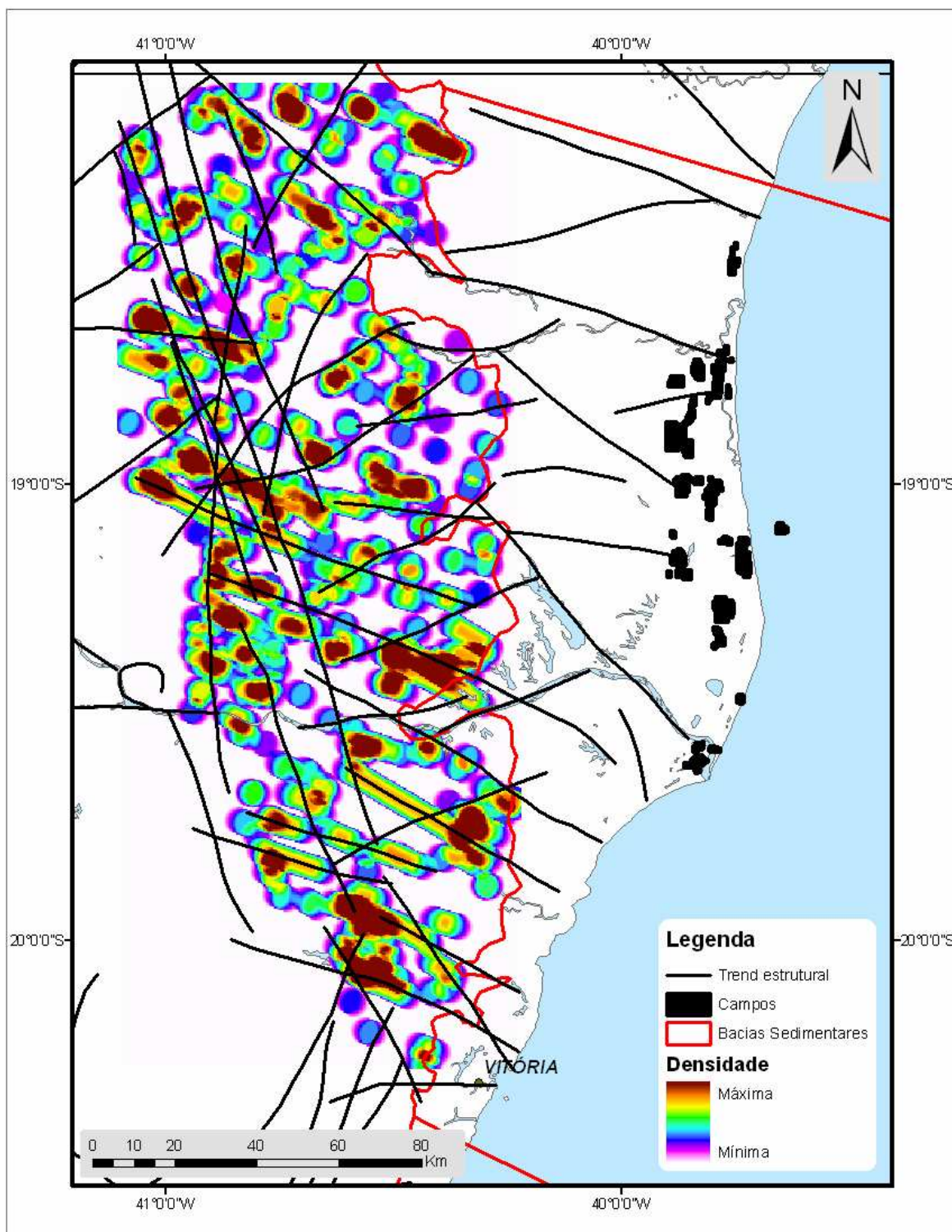


Fig. 69: Densidade de lineamentos para a classe N50-70W no Domínio da Faixa Colatina.

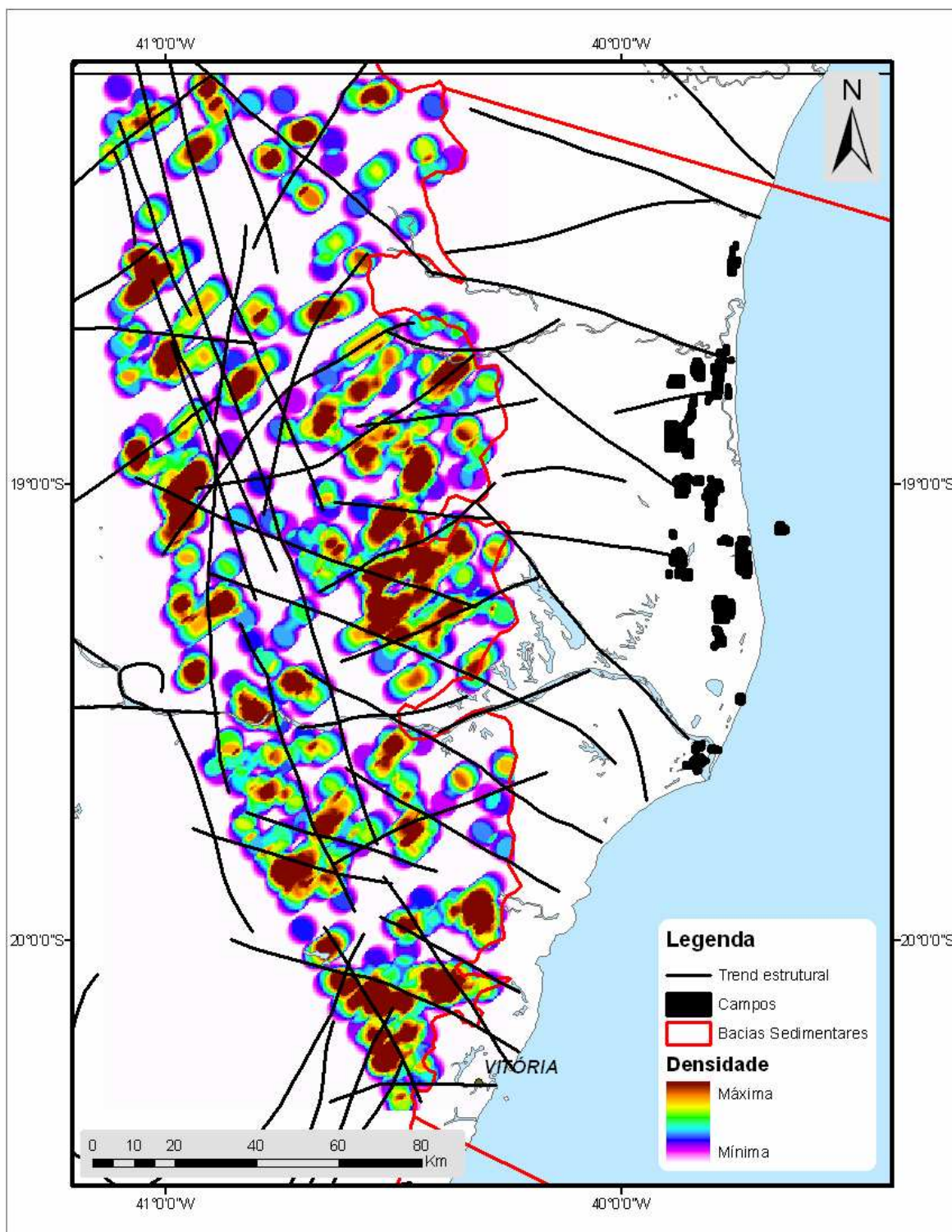


Fig. 70: Densidade de lineamentos para a classe N40-60E no Domínio da Faixa Colatina.

No Domínio Sedimentar, os valores mais altos de frequência total (até 13 lineamentos por célula) ocorrem na região centro-norte do mesmo (Figuras 71, 72 e 73). O comprimento acumulado segue aproximadamente esta distribuição (Fig 74). É possível notar que os valores mais altos de densidade em todas as direções estão inseridos em compartimentos (Fig. 76), os quais são delimitados pelos lineamentos aqui denominados de Pedro Canário e Boa Esperança (ao norte), Jaguaré e Linhares (na porção central). A norte de Vitória, também aparecem algumas regiões isoladas com altos valores de densidade.

Na análise por classes direcionais, observa-se que as direções mais representativas são N30-60W e N40-70E, um padrão muito semelhante ao encontrado no embasamento adjacente. A relação das classes predominantes com os *trends* estruturais regionais pode ser verificada na figura 75.

A classe N30-60W apresenta os valores mais altos de comprimento, formando feixes contínuos e transversais às estruturas NE, as quais apresentam nitidamente os menores comprimentos neste domínio. Entretanto, embora a classe NW também apresente os valores mais altos de frequência, observa-se nos diagramas de roseta que a diferença para a classe NE é pequena, podendo-se afirmar que a predominância de uma em relação à outra neste atributo não é significativa. Observa-se ainda que a densidade de lineamentos para as duas classes apresenta uma distribuição inversamente proporcional, onde uma classe predomina nas regiões de baixa ocorrência da outra. Os valores mais altos de densidade para esta classe são encontrados ao norte do lineamento de Pedro Canário, nos arredores do lineamento de Jaguaré (onde há uma grande concentração na área dos campos de Inhambu, Nativo e Fazenda Alegre) e ao longo do lineamento de Linhares, desde a Lagoa de Juparanã até a foz do rio Doce (Fig. 76).

Além disso, observa-se que a classe NW segmenta a porção emersa da bacia em compartimentos, sendo possível observar pelo menos 4 feixes principais atuando como limites dos blocos estruturais. A orientação de dois destes feixes coincide com alinhamentos de alguns campos de produção: o Lineamento de Jaguaré (com os campos da parte sul do *Paleocanyon* de Fazenda Cedro e os campos *offshore* de Cangoá e Peroá) e o Lineamento de Linhares (com os campos da foz do rio Doce e o campo de Golfinho).

Já a classe N40-70E apresenta valores menores de comprimento médio dos lineamentos quando comparados com a classe NW. Entretanto, como já citado, a

frequência apresenta uma ordem de grandeza semelhante, inclusive em números absolutos (449 lineamentos contra 547 da classe NW).

Os valores mais altos de densidade para esta classe ocorrem de maneira bastante clara no extremo norte da bacia (Fig. 77), ao longo de um *trend* aqui denominado Lineamento de Pinheiros, em um compartimento delimitado pelos Lineamentos de Pedro Canário e Boa Esperança (ambos de direção WNW). Entretanto, os lineamentos desta classe distribuem-se por toda a área emersa da bacia, de uma forma mais homogênea do que a classe NW. Apenas ao longo dos lineamentos de Jaguaré e Linhares os lineamentos desta classe quase desaparecem. Por este motivo, esta classe pode ser considerada mais penetrativa do que a classe NW.

Por fim, na figura 78 pode-se observar o mapa de intersecções entre os lineamentos das classes N30-60W, N40-70E e E-W, de acordo com a densidade de cruzamentos identificados. Observa-se que há uma certa associação deste atributo com o sistema NE na porção norte da bacia e com o sistema NW nas porções central e sul (ao norte de Vitória). Isto se deve a uma certa diferenciação na herança tectônica dos lineamentos deste domínio, já que a região norte da área emersa da bacia está situada a uma maior distância da Faixa Colatina e, assim, tende a ser menos afetada pela área de influência das estruturas NNW-SSE e NW-SE. Além disso, a estruturação desta parte da bacia é fortemente influenciada pelos falhamentos normais de direção NNE-SSW que condicionaram a instalação da linha de charneira, durante o rifteamento, e que podem ter atuado como zonas de fraqueza determinantes nas reativações tectônicas posteriores.

Ao mesmo tempo, a partir da área de Fazenda Cedro, em direção ao sul, nota-se uma crescente e gradual predominância da classe NW, combinada com uma maior proximidade do extremo sul da Faixa Colatina (em sua área aflorante).

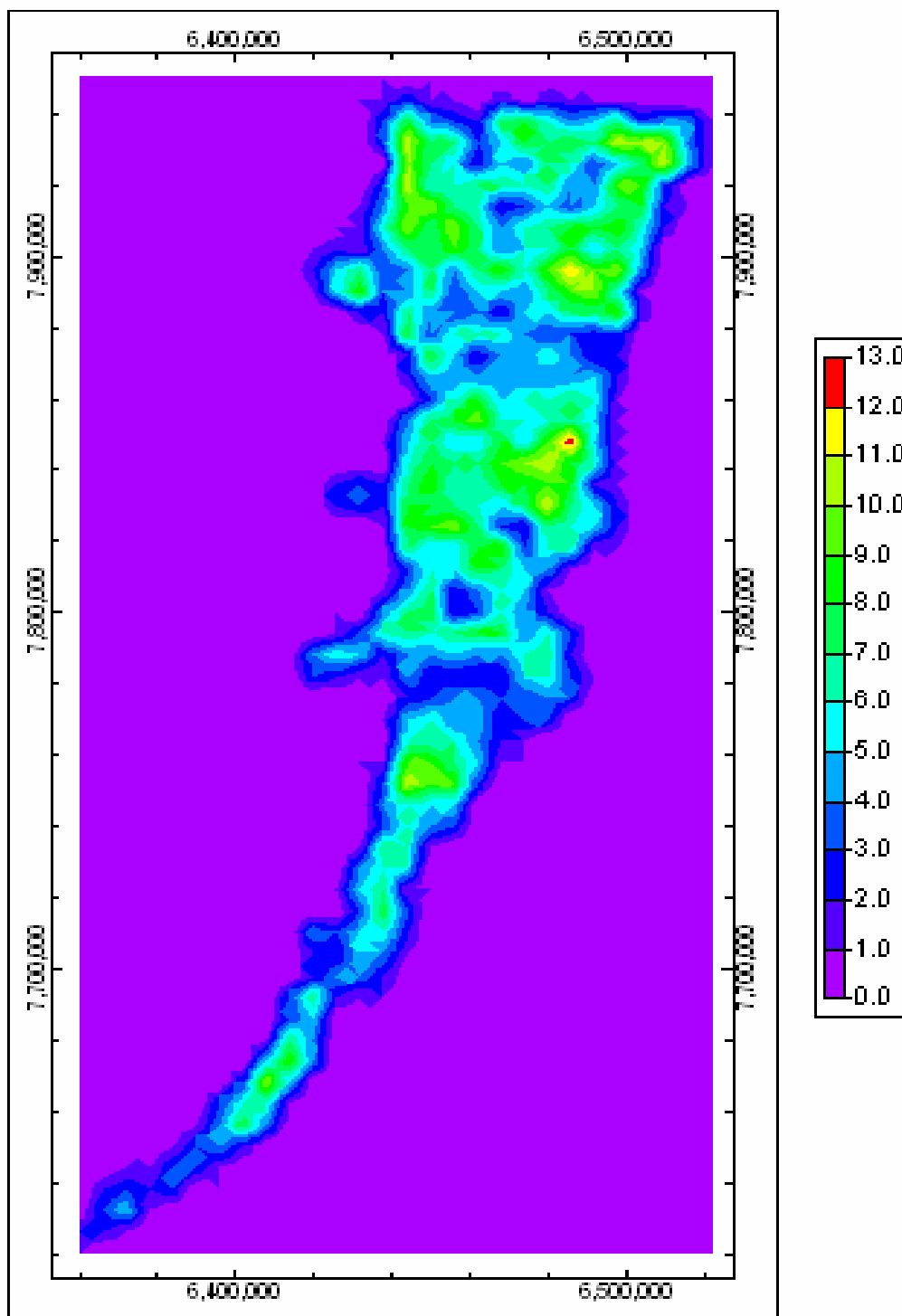


Fig. 71: Freqüência de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km, do Domínio Sedimentar. A tabela indica o número de lineamentos em cada célula. Projeção Policônica, *datum* SAD 69.

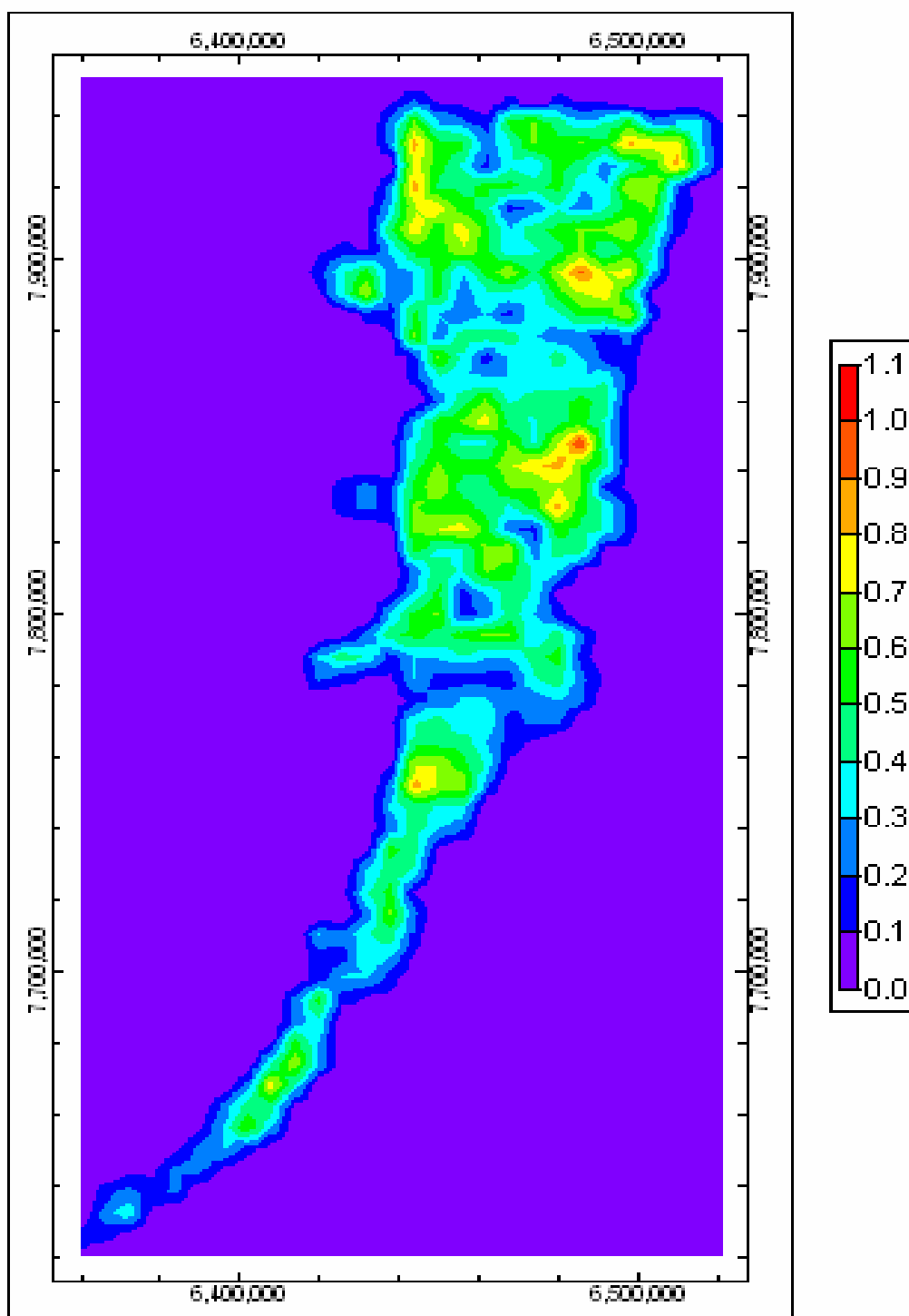


Fig. 72: Frequência normalizada de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km, no Domínio Sedimentar. A tabela indica a quantidade normalizada de lineamentos em cada célula.

Projeção Policônica, datum SAD 69.

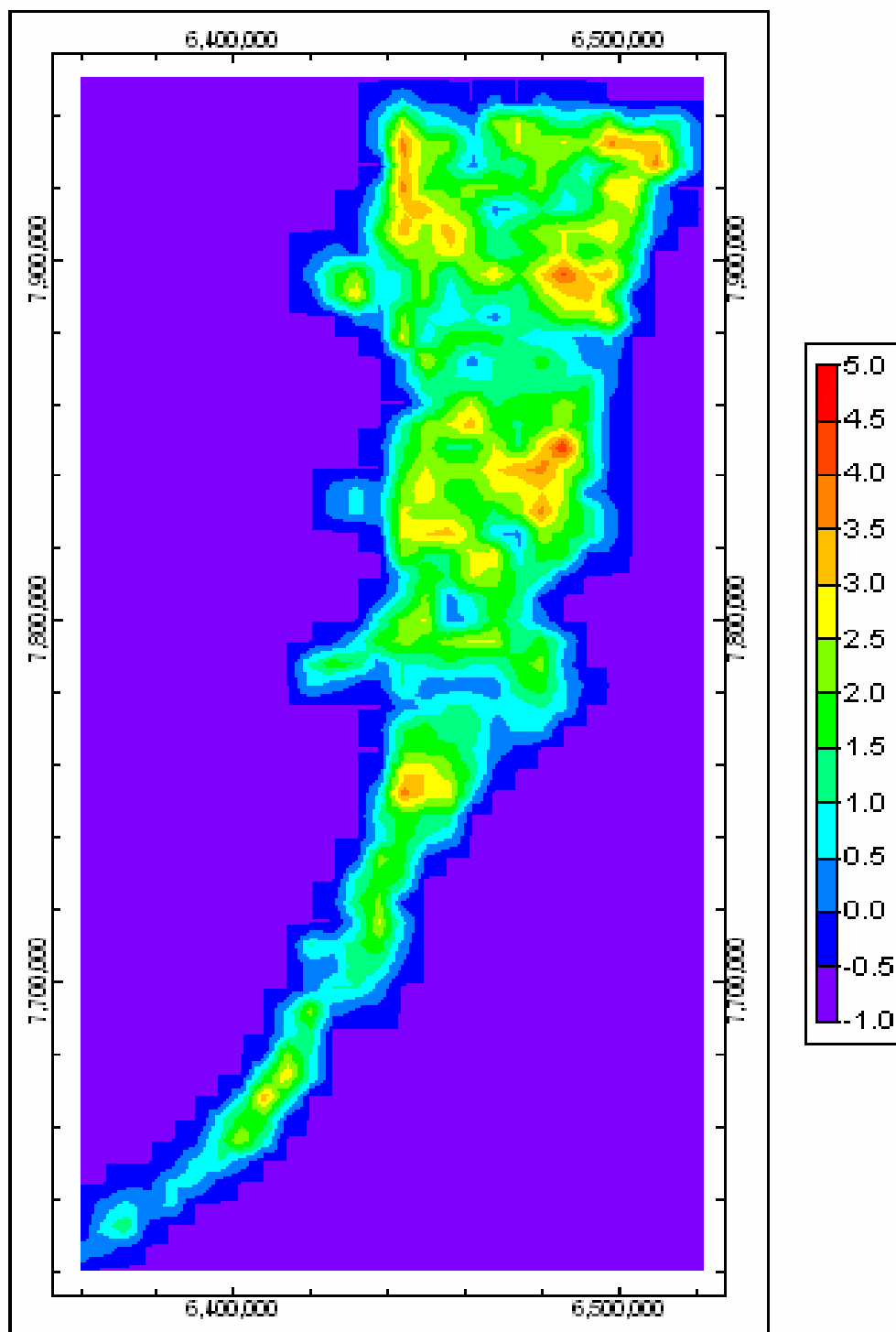


Fig. 73: Frequência de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km, do Domínio Sedimentar. A tabela indica o desvio padrão abaixo e acima da média. Projeção Policônica, *datum* SAD 69.

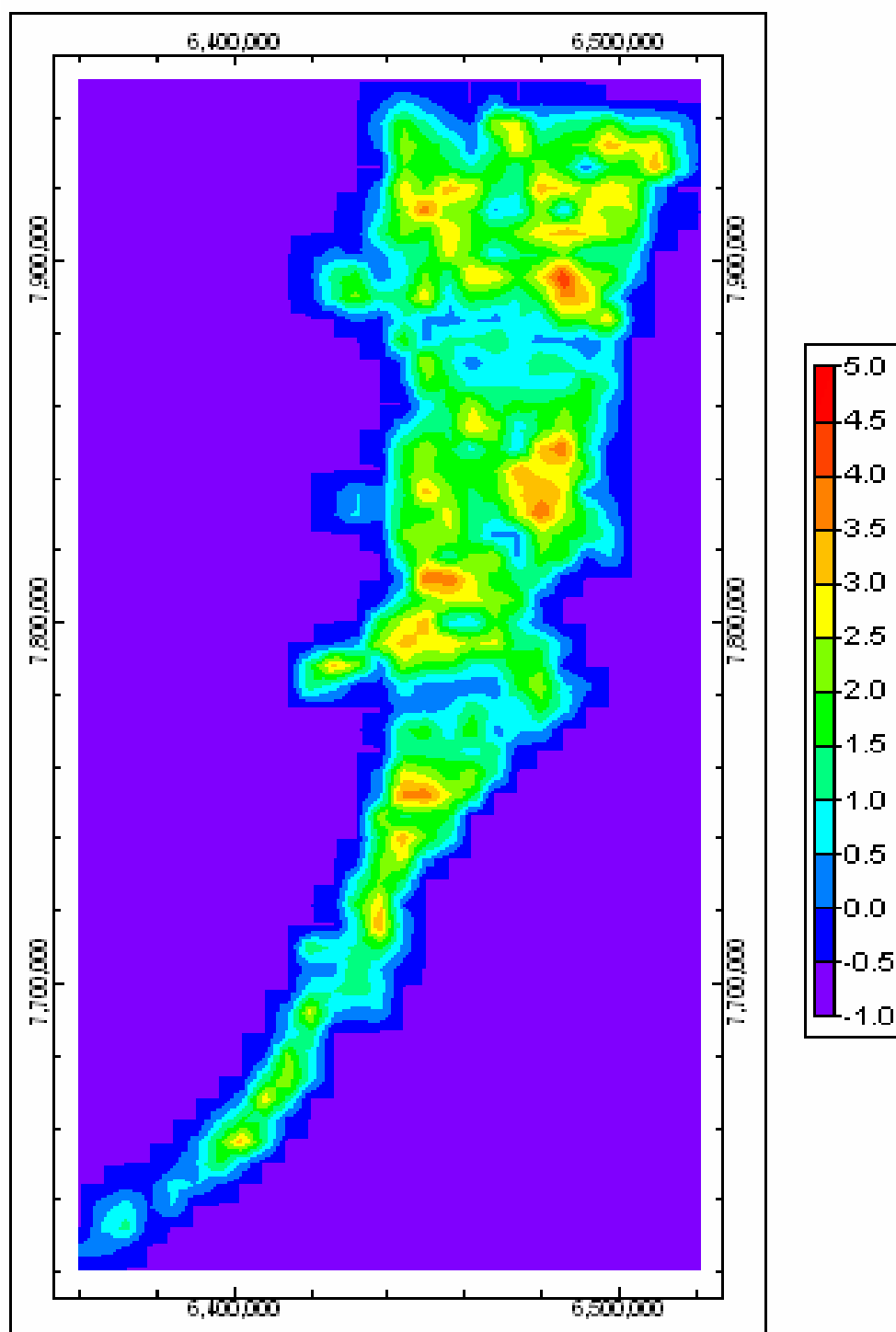


Fig. 74: Comprimento acumulado de lineamentos em todas as direções, por área de 6 x 6 km, do Domínio Sedimentar. A tabela indica o desvio padrão abaixo e acima da média. Projeção Policônica, datum SAD 69.

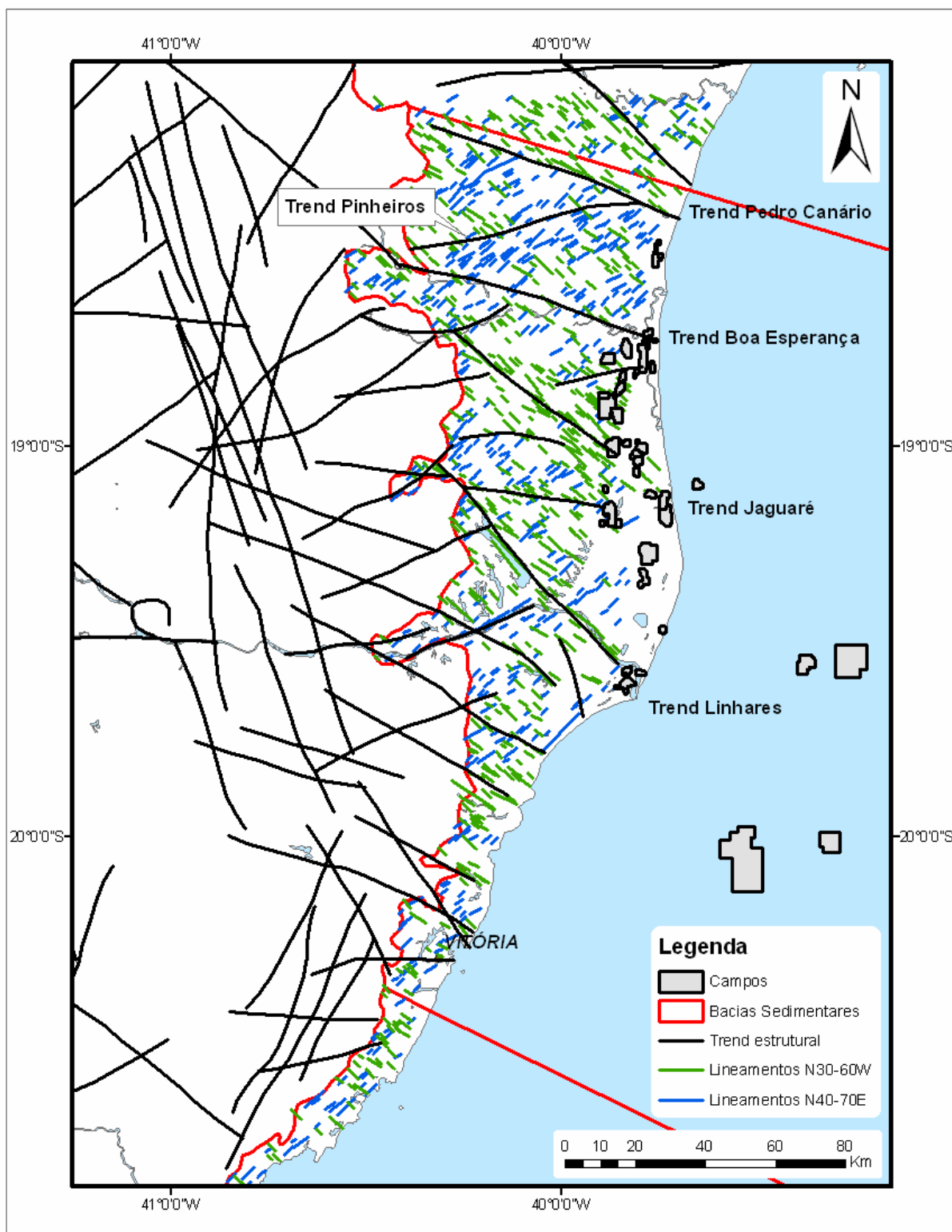


Fig. 75: Trends estruturais e principais classes direcionais identificadas no Domínio Sedimentar.

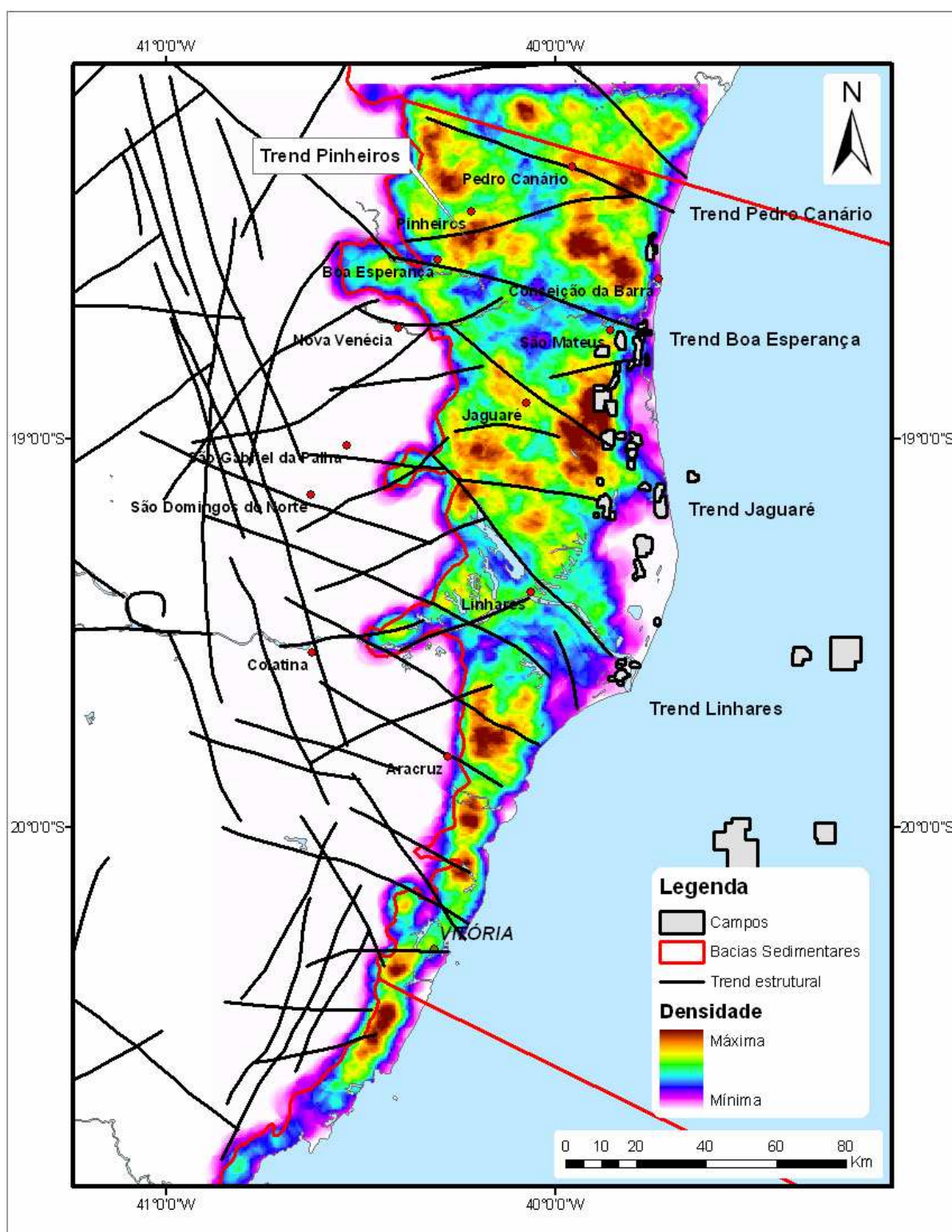


Fig. 76: Densidade de lineamentos em todas as direções no Domínio Sedimentar.

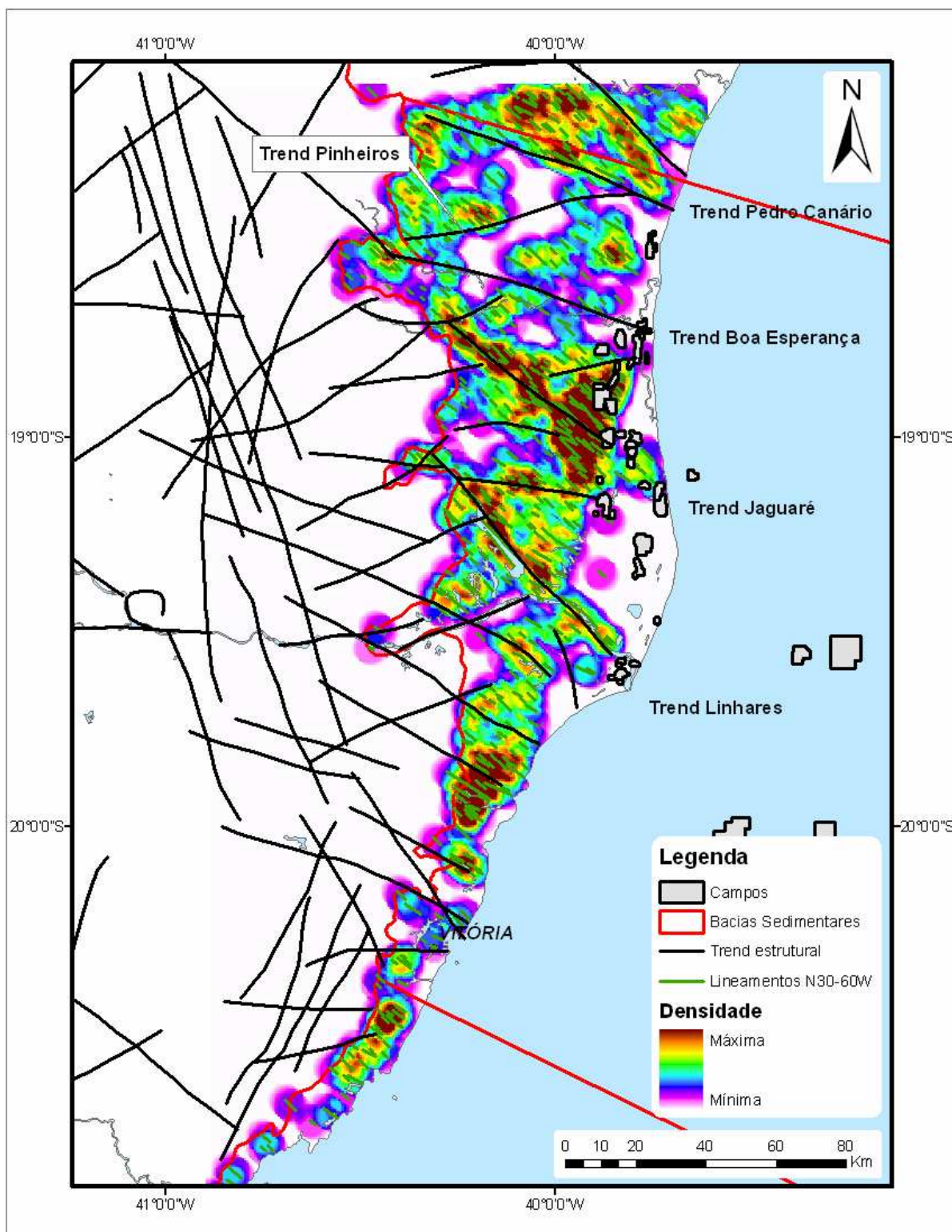


Fig. 77: Densidade de lineamentos para a classe N30-60W no Domínio Sedimentar.

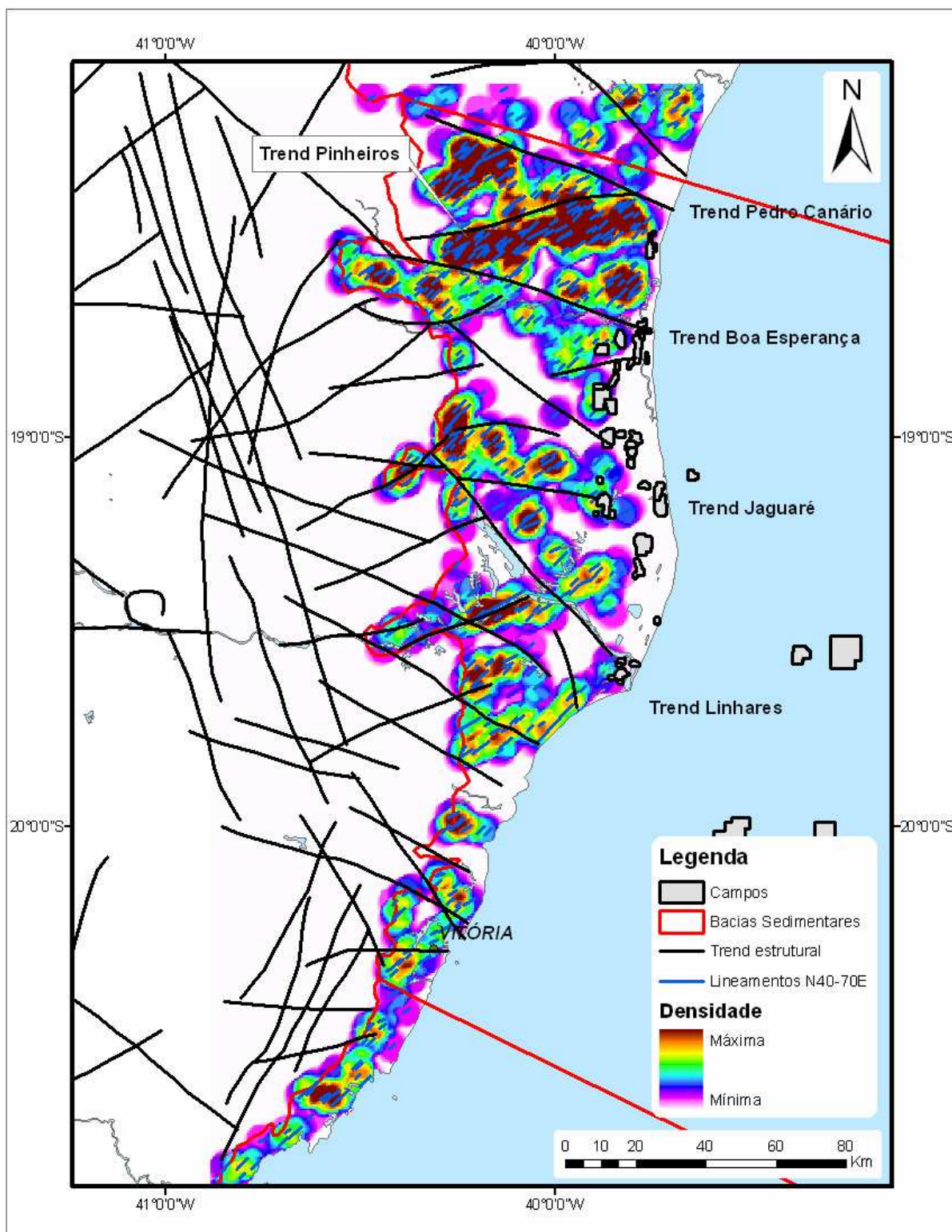


Fig. 78: Densidade de lineamentos para a classe N40-70E no Domínio Sedimentar.

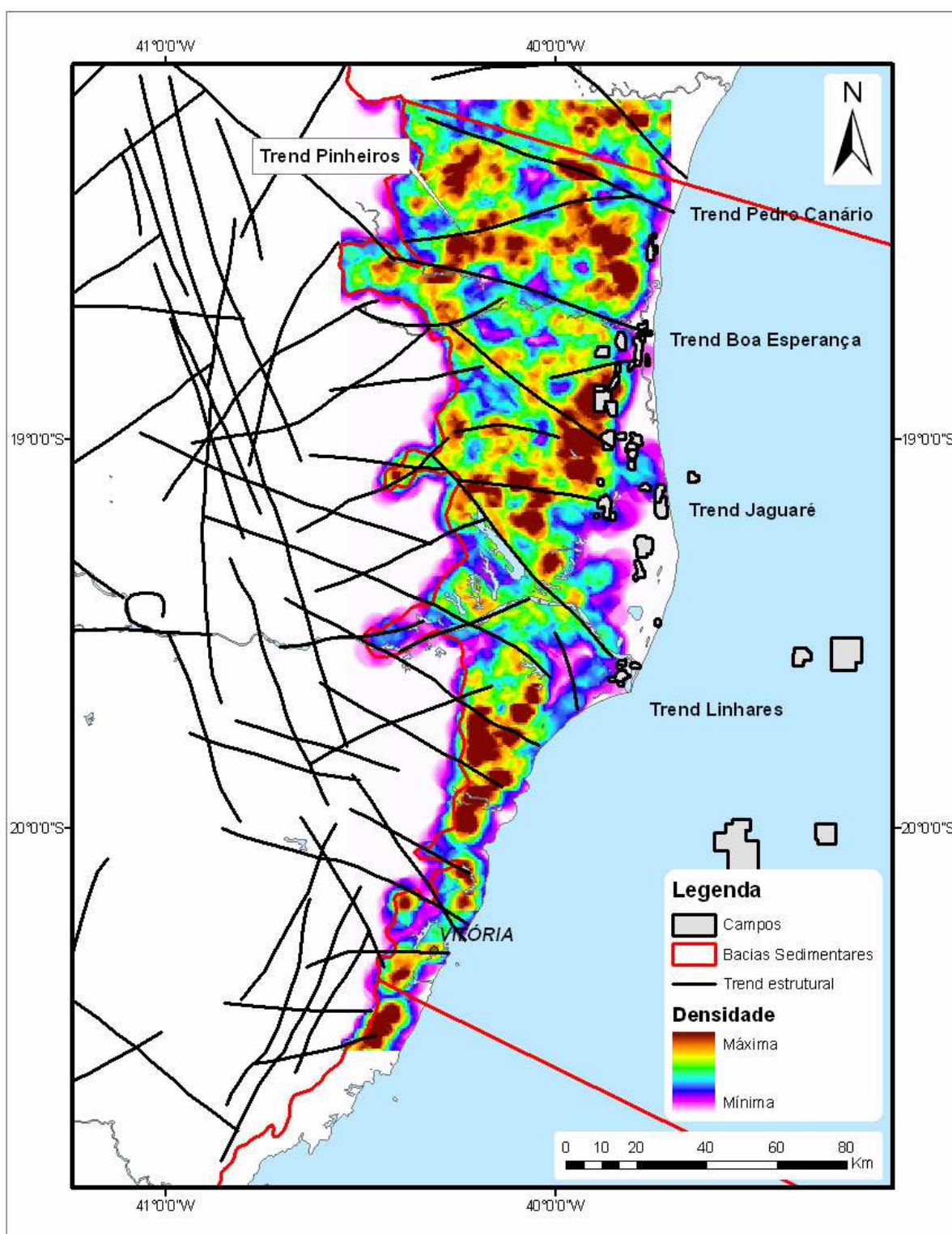


Fig. 79: Intersecções de lineamentos entre as classes N30-60W, N40-70E e E-W na área do Domínio Sedimentar.

#### 5.4) Análise dos dados gravimétricos

Os levantamentos utilizados neste trabalho, citados no item 4.5, apresentam características de aquisição e distribuição amostral distintas. Enquanto o GEOSAT (*Geodetic Satellite*) caracteriza-se por uma malha regular de amostragem ao redor do globo terrestre (cerca de 4.000 metros na região de águas profundas), os levantamentos efetuados pela Petrobras utilizaram metodologias distintas quanto à aquisição dos dados, caracterizadas por uma distribuição irregular das estações. O levantamento EG 13 possui uma malha com espaçamento amostral entre 1.000 e 4.000 metros, cobrindo a região da plataforma continental até a isóbata de 400 metros. Já o levantamento DEXBA-DEXES cobriu a porção emersa da bacia e alguns trechos do embasamento adjacente, com um espaçamento amostral entre 300 e 500 metros. A figura 80 mostra a região de abrangência de cada um dos levantamentos.

A integração dos três levantamentos foi realizada através do software *Geosoft Oasis Montaj*, mediante a geração de *grids* da anomalia Bouguer para cada um dos levantamentos. A técnica utilizada foi a interpolação dos dados pelo método da mínima curvatura, com malha quadrada de 500 metros.

##### 5.4.1) Tratamento dos dados

Inicialmente, foi realizada uma pré-filtragem nos dados dos levantamentos EG 13 e GEOSAT, denominada *Butterworth*, que converte as informações para o domínio do número de onda (*wavenumber*) através da Transformada de Fourier bidimensional. Através deste procedimento, são removidos os pequenos números de onda (ou comprimentos de onda maiores, já que comprimento de onda =  $1 / \text{número de onda}$ ) do conteúdo regional do dado, sendo aplicada uma transformação inversa para a reconstituição dos dados. Neste caso, a filtragem foi realizada com um comprimento de onda de 0,07 e uma função de grau 3 (tipo passa-baixa).

Em seguida, foi aplicado um filtro de comprimento de ondas passa-baixa de 500 m no *grid* gerado para o levantamento DEXBA-DEXES, com o objetivo de eliminar os ruídos inerentes à aquisição terrestre.

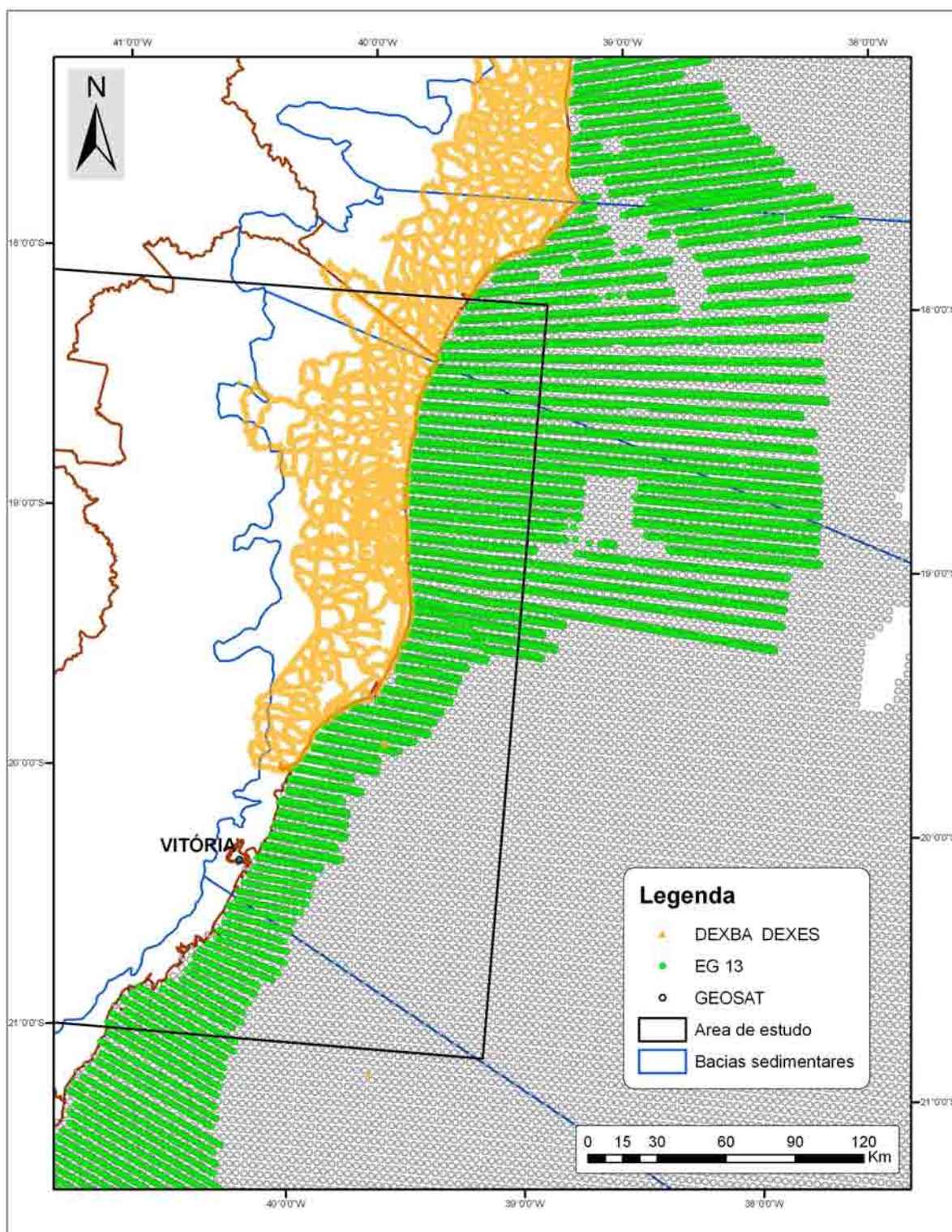


Fig. 80: Distribuição das estações e área de abrangência dos levantamentos gravimétricos utilizados neste trabalho. Projeção Policônica, datum SAD 69.

Após estas filtrações iniciais para remoção de ruídos, foram gerados dois *grids* de anomalia Bouguer total: um referente à soma da parte terrestre com a região da plataforma continental (Fig. 81), e outro referente à região de águas profundas. O primeiro utilizou os dados do levantamento EG 13, que possui uma ampla cobertura da porção marítima até a cota batimétrica de 400 m, e do levantamento DEXBA-DEXES, que cobre a porção emersa da bacia. Ambos foram unidos por meio de um algoritmo de blendagem, o qual executa a sutura mais adequada dos levantamentos nas áreas de superposição dos dados. O segundo utilizou somente os dados referentes ao levantamento de gravimetria por satélite (GEOSAT), o único a cobrir a região de águas profundas. Esta separação dos *grids* é necessária devido às diferentes malhas de aquisição dos dados e às diferenças de resolução entre os levantamentos executados pela Petrobras e pelo GEOSAT.

Tendo em mãos os *grids* da anomalia Bouguer prontos, a etapa final de tratamento dos dados consistiu em uma série de filtrações nos mesmos com o objetivo de realçar feições específicas de interesse, difíceis de visualizar na anomalia Bouguer total. Para isso, são aplicados filtros de derivação e deconvolução.

Inicialmente, foi gerado o mapa de gradiente vertical ou 1ª derivada vertical (Fig. 82), responsável pelo cálculo da medida do gradiente da anomalia em relação ao eixo z (profundidade). Este filtro tende a realçar as feições gravimétricas associadas a fontes mais rasas e destacar as maiores inclinações do campo potencial.

Posteriormente, foi elaborado o mapa de gradiente horizontal ou 1ª derivada horizontal total (Fig. 83), feito a partir da raiz quadrada da soma dos gradientes (teorema de Pitágoras) nas direções horizontais ortogonais (eixos x e y). A filtração assim realizada tende a realçar a fonte das anomalias e o posicionamento de seus limites (bordas) em subsuperfície, sendo um bom marcador de falhamentos e contatos geológicos.

O último filtro aplicado gerou uma superfície de tendência de 3ª ordem, calculada pelo método dos mínimos quadrados, obtendo-se um mapa aqui denominado de Bouguer crustal (Fig. 84). Este filtro é indicado para delimitar as estruturas internas da bacia, notadamente os baixos estruturais (anomalias negativas), pois a superfície gerada remove os efeitos das anomalias regionais, associadas a fontes mais profundas.

Nos mapas apresentados a seguir, as cores quentes (vermelhas) representam anomalias positivas e as cores frias (azuis) correspondem a anomalias negativas.

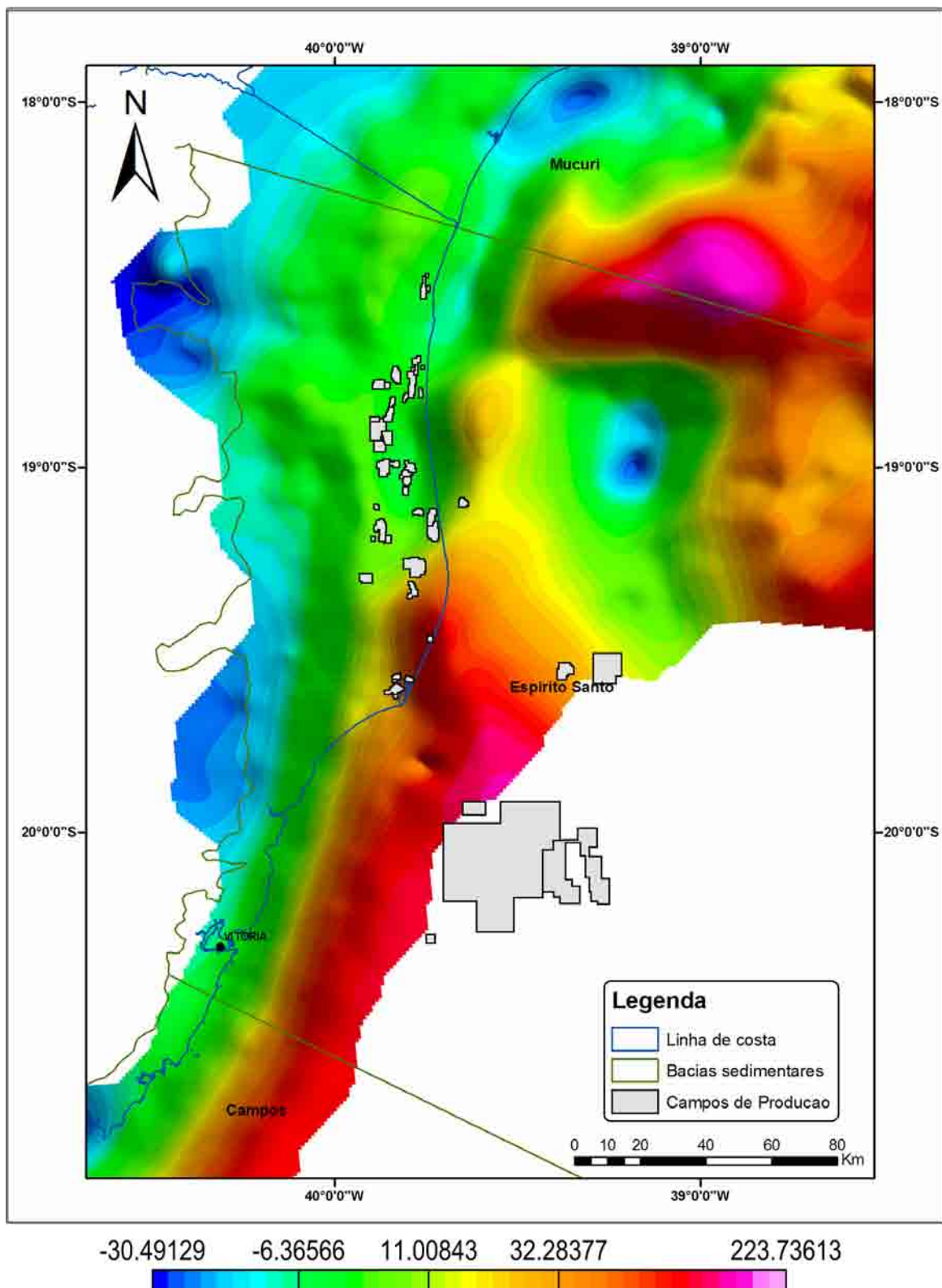


Fig. 81: Mapa de anomalia Bouguer total referente aos levantamentos DEXBA-DEXES e EG 13.

Escala de cores em miliGals.

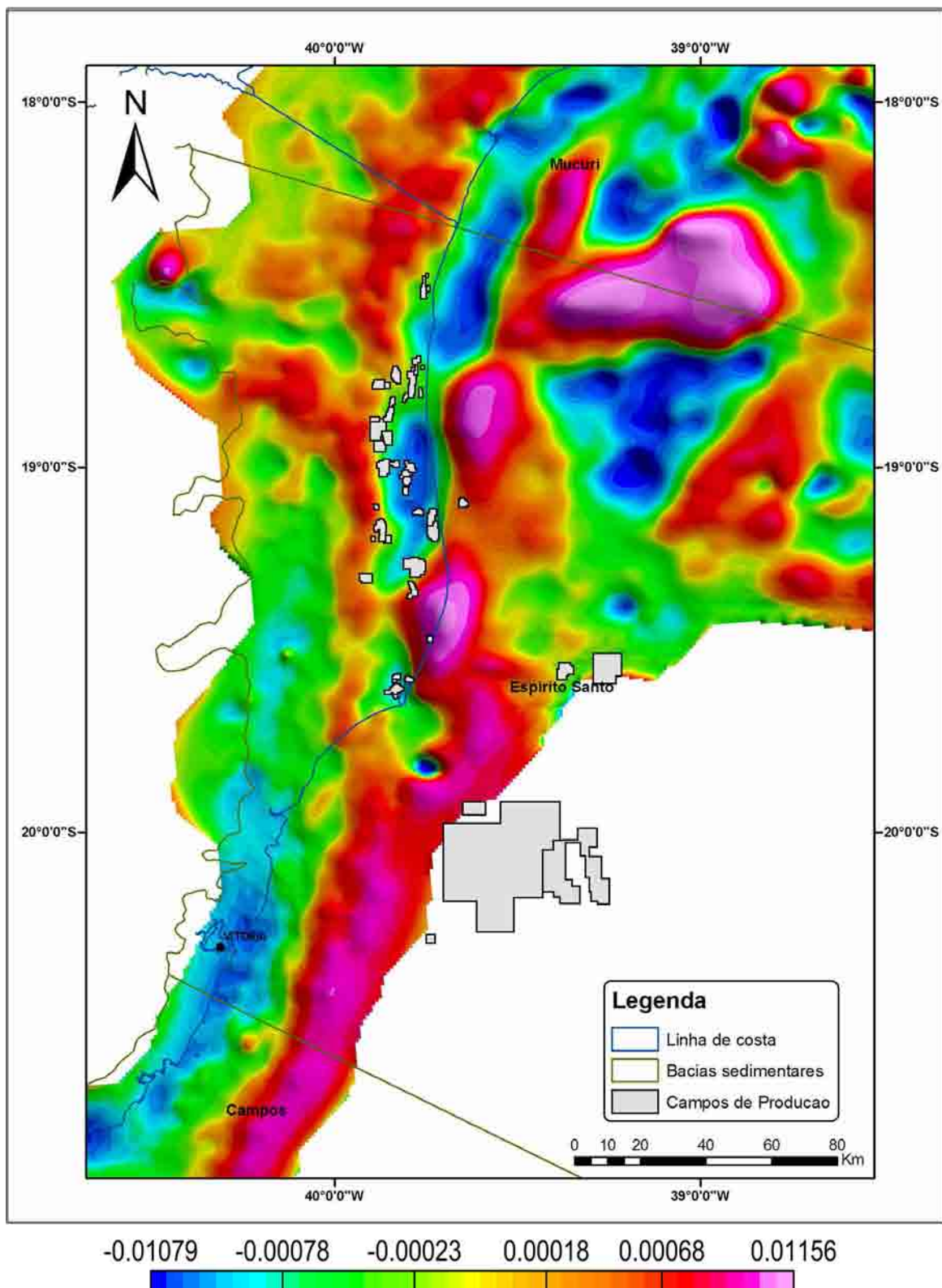


Fig. 82: Mapa da 1<sup>a</sup> derivada vertical (anomalia Bouguer) referente aos levantamentos DEXBA-DEXES e EG 13. Escala de cores em miliGals/m.

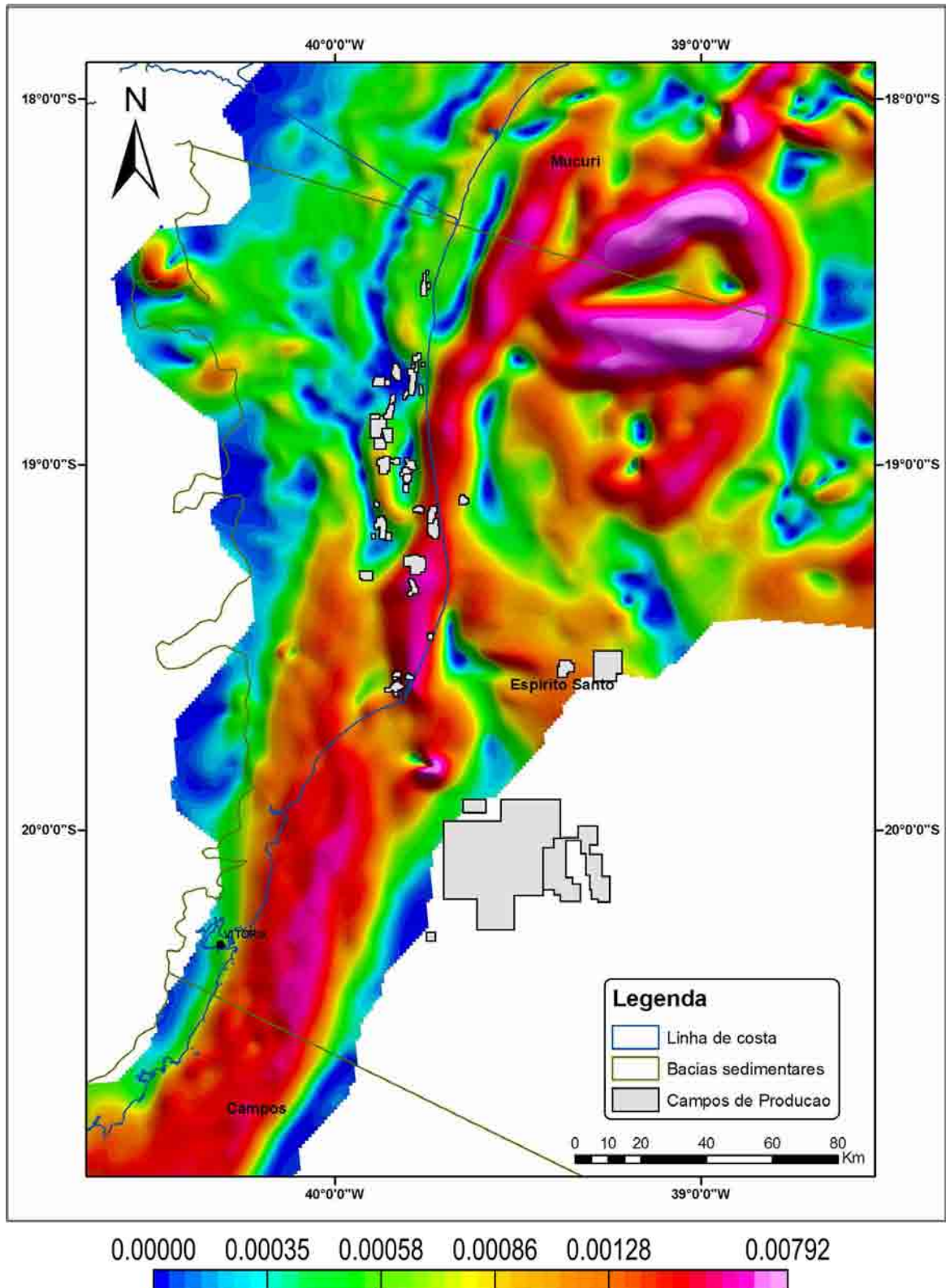


Fig. 83: Mapa da 1ª derivada horizontal total (anomalia Bouguer) referente aos levantamentos DEXBA-DEXES e EG 13. Escala de cores em miliGals/m.

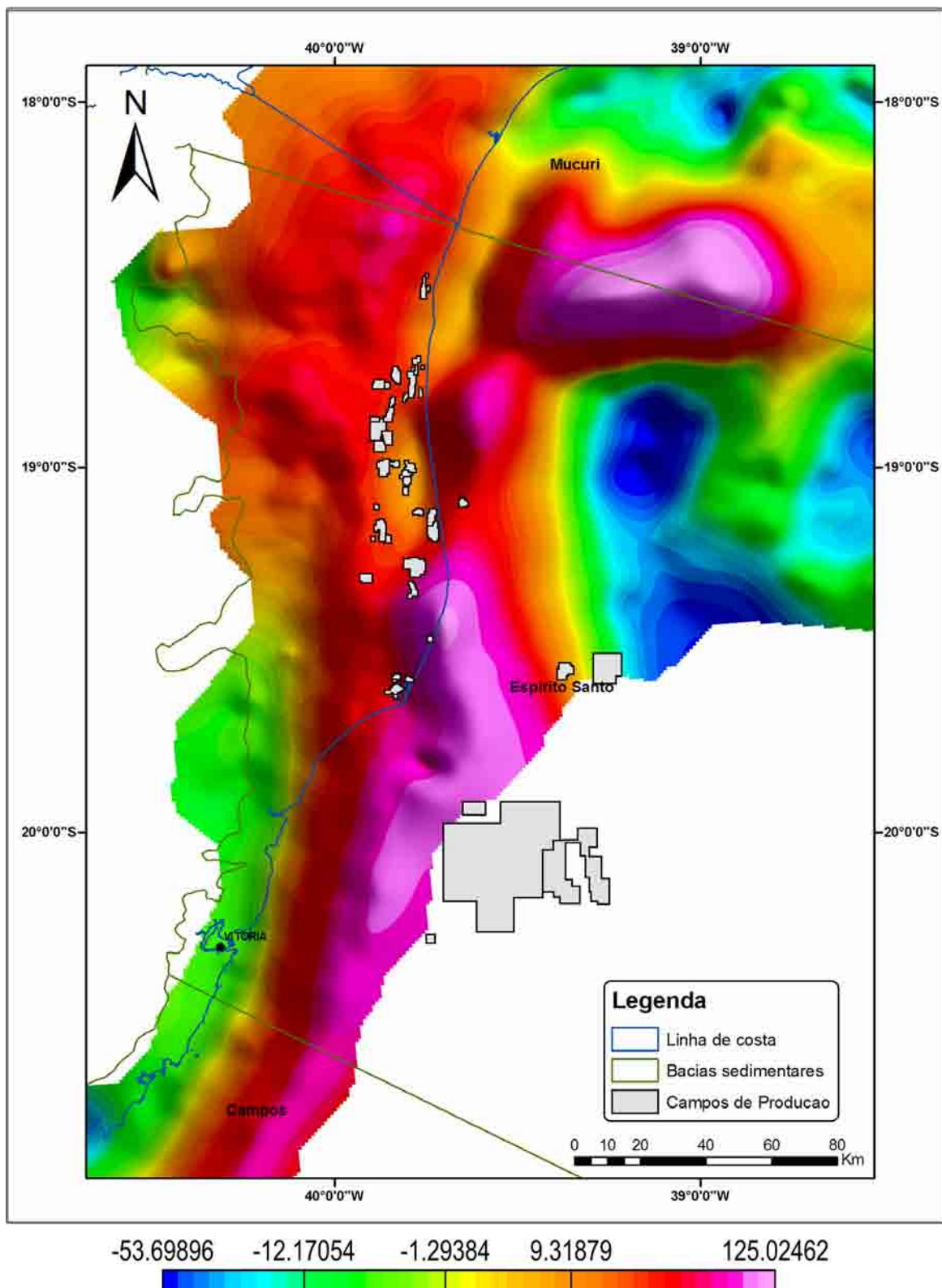


Fig. 84: Mapa de anomalia Bouguer crustal referente aos levantamentos DEXBA-DEXES e EG 13.

Escala de cores em miliGals.

#### 5.4.2) Interpretação gravimétrica

Neste trabalho, as feições de maior importância para a integração com as estruturas observadas em terra são as estruturas lineares (falhas, linhas de charneira, alinhamentos estruturais) presentes na porção *offshore* da bacia. Desta forma, a interpretação foi executada priorizando-se a identificação destas feições nos mapas gravimétricos gerados.

Antes da interpretação estrutural, é necessária a delimitação da máxima extensão sedimentar na porção *offshore*, a fim de reduzir a área de investigação. Este procedimento foi realizado no mapa de anomalia Bouguer total do levantamento GEOSAT (Fig. 85), através da digitalização do limite entre a crosta continental afinada e a crosta oceânica, ou COB (*Continental-Oceanic Boundary*). Como na região estudada não se conseguiu identificar com clareza as terminações das falhas transformantes típicas do ambiente oceânico, o critério utilizado para a separação foi a variação marcante e abrupta na textura e nos valores absolutos das anomalias gravimétricas na região de águas profundas. Neste caso, esta mudança é notada nas imediações da isolinha de 200 miligals do referido mapa, a cerca de 300 km da linha de costa.

Na identificação das feições lineares, foram utilizados conjuntamente os mapas de 1ª derivada vertical e 1ª derivada horizontal total dos levantamentos DEXBA-DEXES e EG 13. Também foram traçados nestes mapas os limites dos *paleocanyons* de Fazenda Cedro e de Regência (Fig. 86 e 87).

Nos dois mapas, pode-se observar que as estruturas mais proeminentes identificadas são os lineamentos N-NNE e N30-60W. O primeiro conjunto é aqui interpretado como constituinte da linha de charneira, que pode ser individualizada em dois feixes (interno e externo). No mapa da 1ª derivada vertical (figura 86), observa-se que o feixe interno corresponde a uma anomalia positiva de forma alongada na direção NNE-SSW, que define a região de ocorrência do embasamento raso no norte da bacia. Esta charneira interna delimita os domínios definidos por Gomes *et. al.* (1988) como Plataforma de Regência (ao sul do *Paleocanyon* de Fazenda Cedro) e Plataforma de São Mateus (ao norte da mesma feição).

No mapa da 1ª derivada horizontal (figura 87), é visível a localização da charneira externa na parte sul da bacia, estendendo-se de maneira contínua até a Bacia de Campos. A

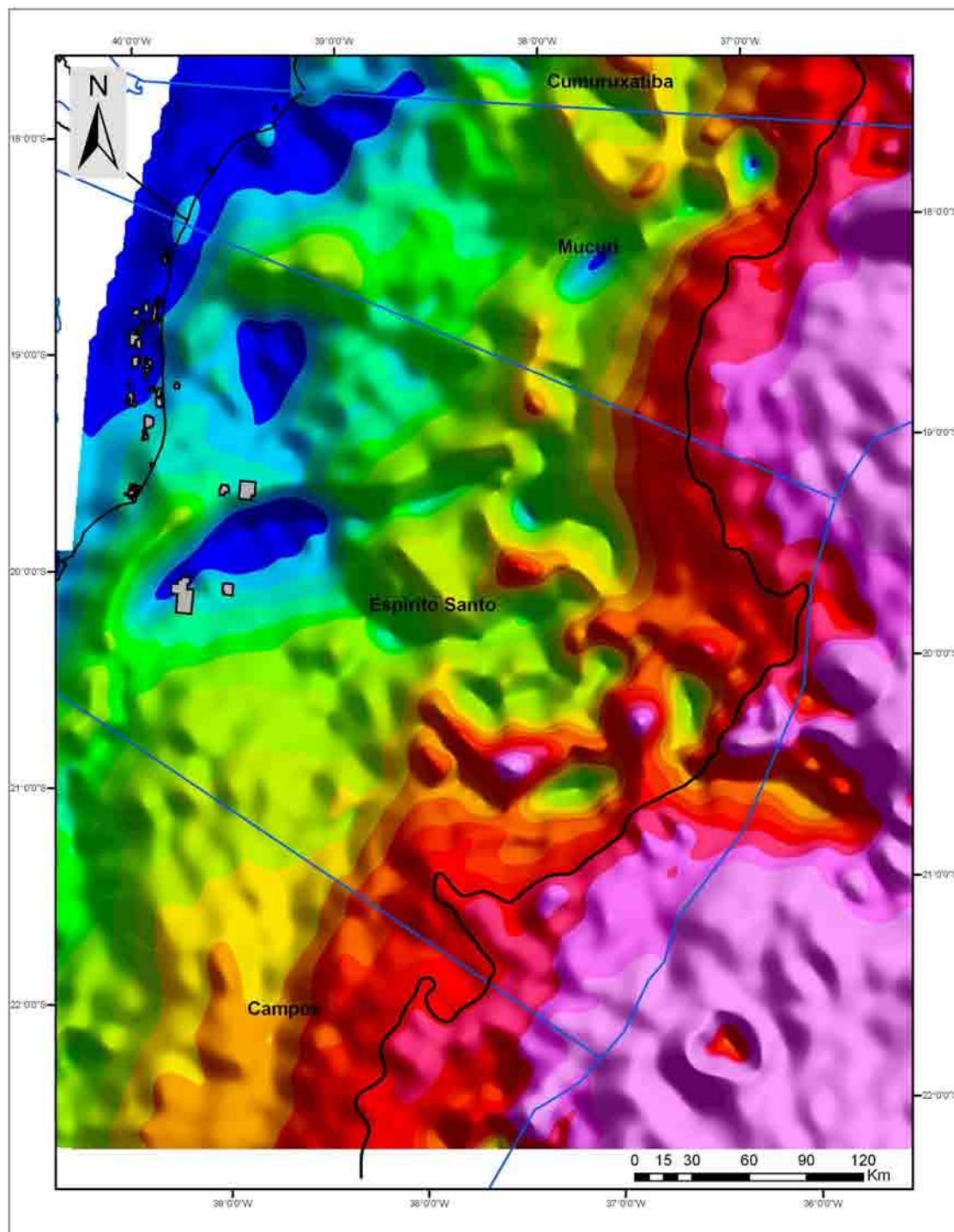
leste desta charneira, a bacia apresenta suas maiores espessuras sedimentares, sendo o domínio da região submetida às maiores taxas de subsidência. Entretanto, para norte, sua continuação é imprecisa devido à presença do Complexo Vulcânico de Abrolhos.

O outro sistema presente (NW) é identificado tanto na parte emersa quanto na região de plataforma. A feição mais expressiva é a continuação do lineamento de Jaguaré em direção à porção *offshore*, formando uma estrutura transversal ao *Paleocanyon* de Fazenda Cedro. Esta feição parece ser a mais importante na compartimentação da parte emersa da bacia, já que limita blocos com padrões distintos de associação entre os principais sistemas de lineamentos.

No extremo norte da bacia também são identificados lineamentos de direção NW e WNW, que no entanto mostram uma correlação discreta com as feições identificadas nas imagens de sensores orbitais (*trends* de Pedro Canário e Boa Esperança).

Uma constatação importante na interpretação dos dados gravimétricos é a quase ausência de feições correlacionadas à classe N40-70E, que se mostraram tão significativas nas imagens LANDSAT e SRTM. Apenas no extremo norte da bacia foi possível identificar uma feição linear de médio porte, aparentemente correlacionada ao lineamento de Pinheiros. Isto poderia ser interpretado como o reflexo do nível crustal de ocorrência, onde os lineamentos desta classe estariam associados a feições mais superficiais, já que só foram detectados de maneira clara nas imagens dos sensores orbitais.

Nota-se que a interpretação efetuada a partir das diversas filtragens realizadas nos dados gravimétricos é mais sensível às estruturas mais profundas e de maior ordem de grandeza, associadas a maiores comprimentos de onda. Fica evidente a grande expressividade dos lineamentos NNE, mais antigos e responsáveis pelo controle da estruturação em *grabens* e *horsts* durante o processo de rifteamento no Cretáceo inferior. A anomalia positiva de forma alongada e direção NNE-SSW, observada no mapa de derivada vertical na região norte da bacia, com continuidade para a Bacia de Cumuruxatiba, é a expressão do sistema de falhas (charneira externa) que coloca o embasamento raso a oeste e origina as feições descritas por Gomes *et. al.* (1988) como Plataformas de São Mateus e de Mucuri. Paralelamente à linha de costa, a leste, é possível observar a existência de uma anomalia negativa alongada na mesma direção, que representa a calha deposicional gerada pelo basculamento do bloco baixo do sistema de falhas NNE-SSW (figura 86).



-34.62065    121.63325    239.44236    274.11821    432.05429



Fig. 85: Limite entre a crosta continental afinada e a crosta oceânica (COB – traço preto), interpretado sobre o mapa de anomalia Bouguer total do GEOSAT. Escala de cores em miliGals.

Projeção Policônica, datum SAD 69.

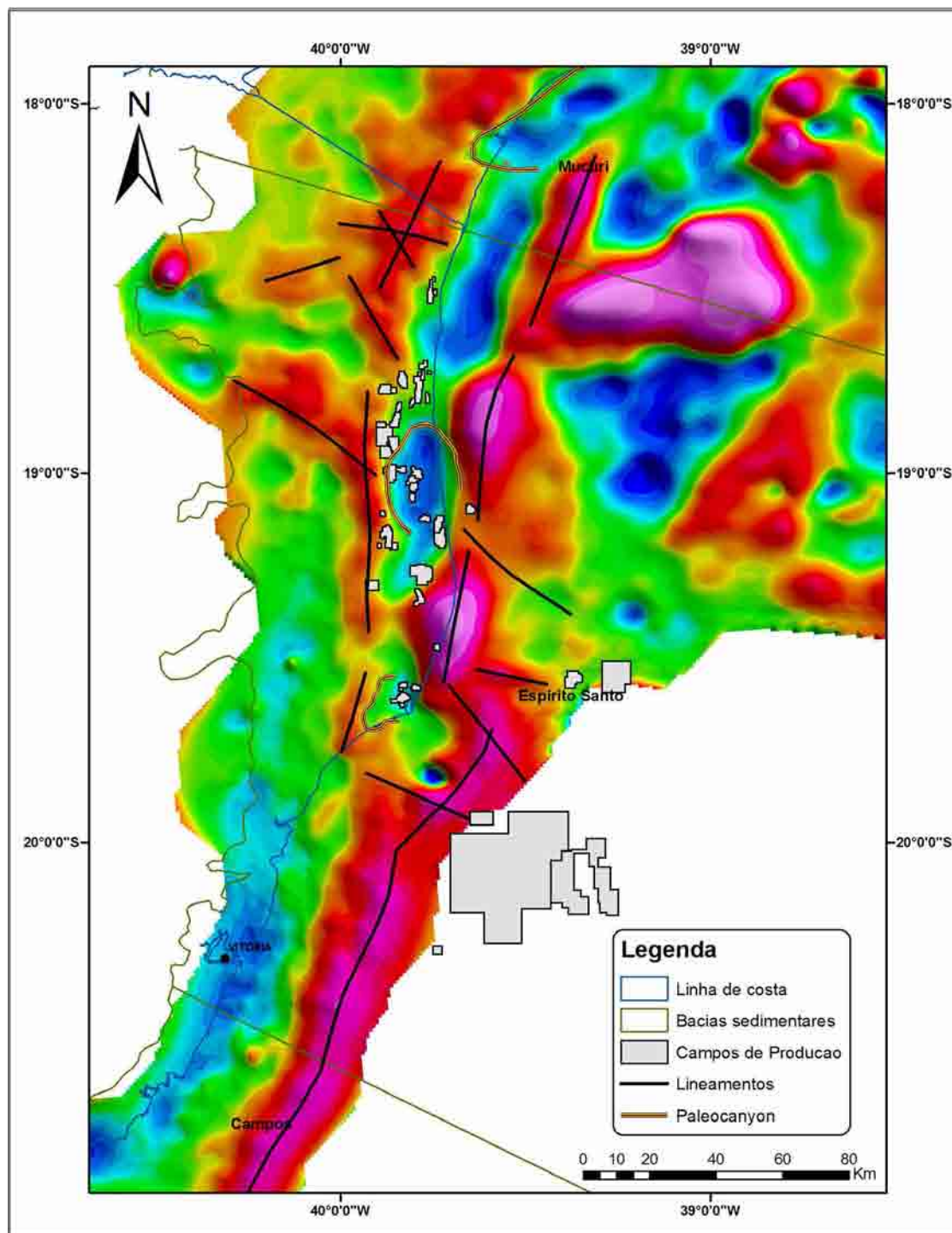


Fig. 86: Feições interpretadas (lineamentos e paleocanyons) sobre o mapa da 1ª derivada vertical (anomalia Bouguer) dos levantamentos DEXBA-DEXES e EG 13.

Escala de cores em miliGals/m.

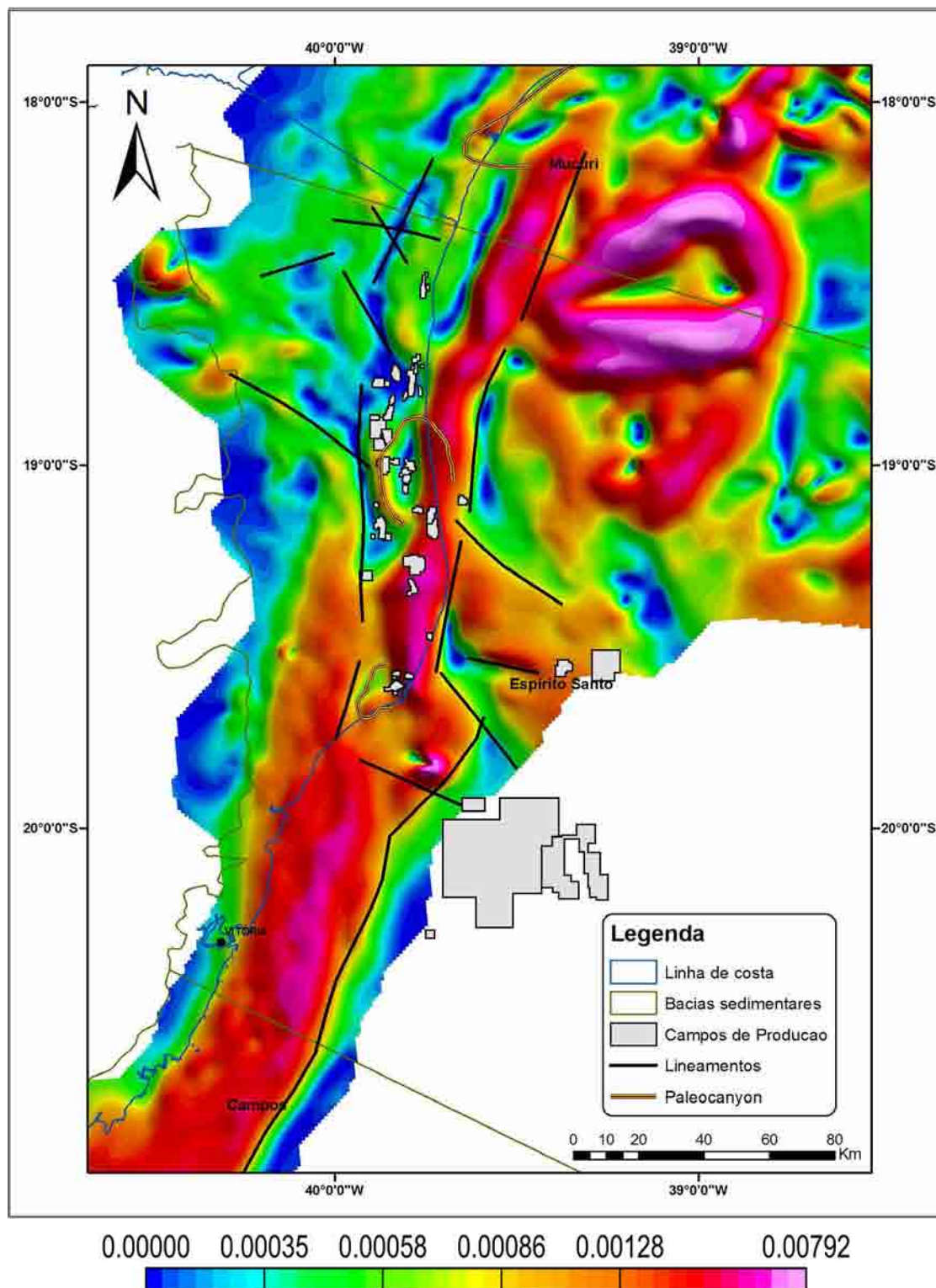


Fig. 87: Feições interpretadas (lineamentos e paleocanyons) sobre o mapa da 1ª derivada horizontal total (anomalia Bouguer) dos levantamentos DEXBA-DEXES e EG 13.

Escala de cores em miliGals/m.

### 5.5) Correlação com dados sísmicos

Com o objetivo de correlacionar as estruturas observadas em terra com a porção *offshore* da bacia, são apresentadas a seguir as feições interpretadas em seções sísmicas disponibilizadas pela ANP (Fig. 88). A figura 89 mostra parte de uma seção SW-NE situada em frente à foz do rio Doce, a cerca de 15 km da costa, onde se observa nitidamente um feixe de falhas subverticais de direção NW (traços vermelhos), com mergulho para NE, interpretadas aqui como o prolongamento do *trend* estrutural de Linhares rumo *offshore*.

A figura 90 representa parte de uma seção N-S em terra, transversal ao *trend* estrutural de Jaguaré, onde pode se observar nitidamente a influência e o controle dos falhamentos NW sobre a implantação do *Paleocanyon* de Fazenda Cedro, o qual é identificado pela deflexão dos refletores interpretados.

Nas duas seções apresentadas, os horizontes mapeados correspondem às seguintes superfícies (da base para o topo): topo do embasamento (vermelho), base dos evaporitos (rosa), topo dos evaporitos (azul claro), topo da seqüência albiana (azul escuro), superfície de inundação máxima do Maastrichtiano (verde), discordância do Paleoceno (lilás) e discordância do Eoceno inferior (amarelo).

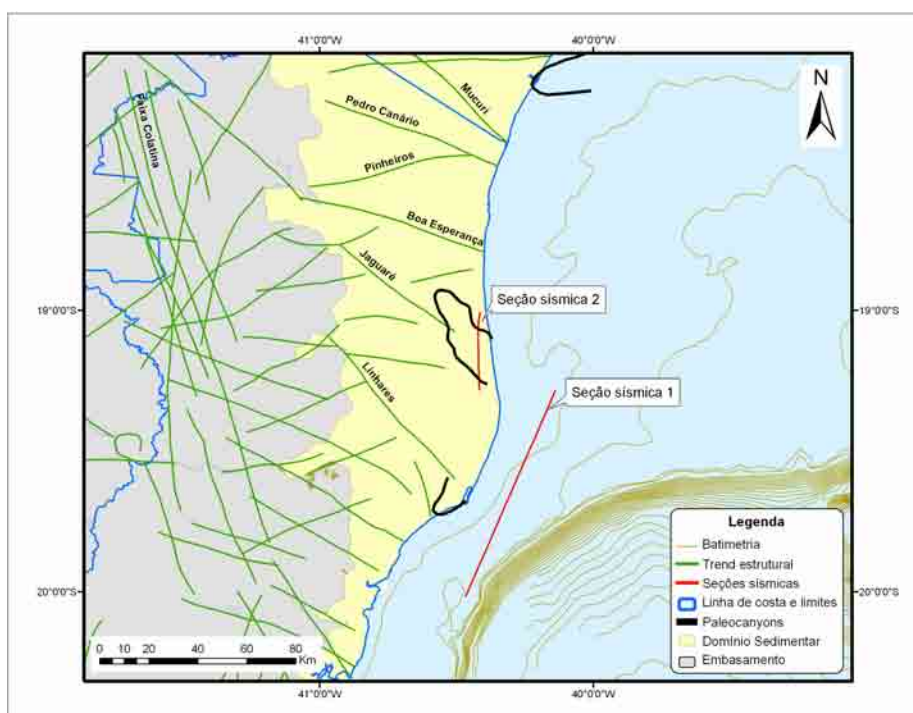


Fig. 88: Localização das seções sísmicas interpretadas, disponibilizadas pela ANP.

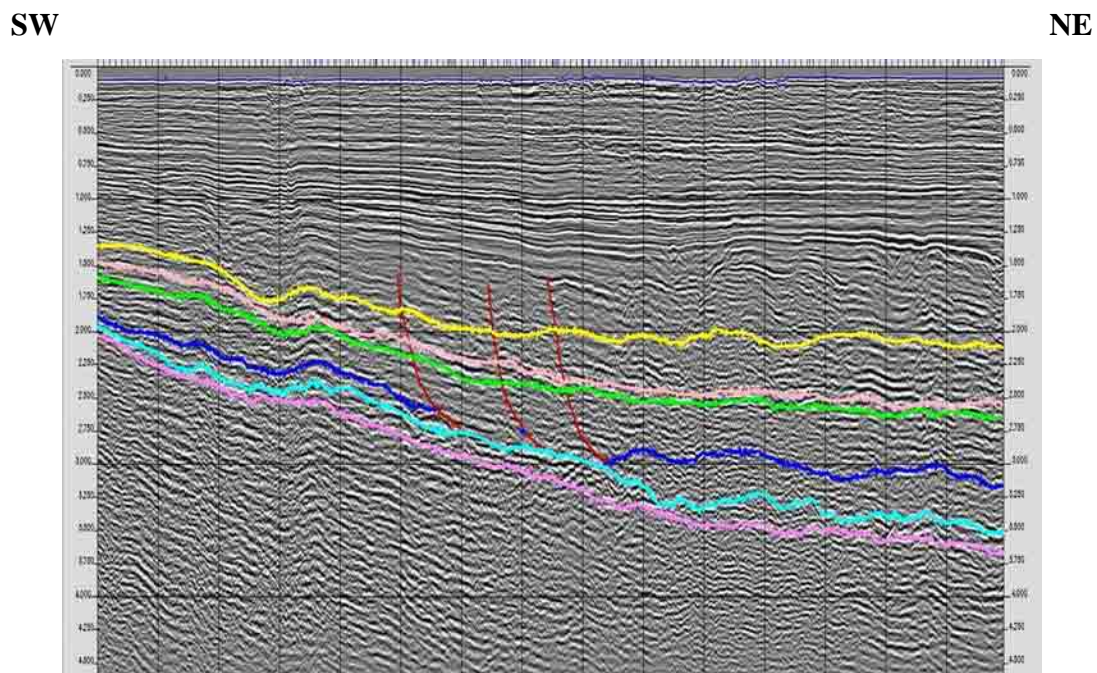


Fig. 89: Seção sísmica 1 (*strike*) interpretada na porção *offshore*, próximo à linha de costa, podendo-se observar as falhas atribuídas ao *trend* estrutural de Linhares (em vermelho).

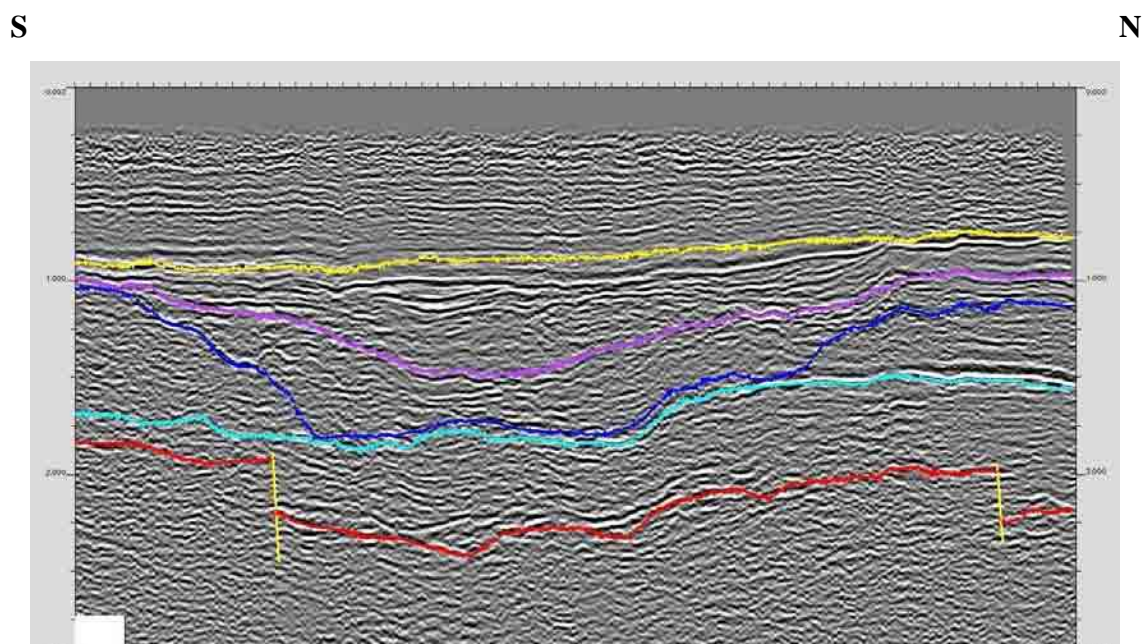


Fig. 90: Seção sísmica 2 (*strike*) interpretada, em terra, transversal ao *trend* de Jaguaré, observando-se o controle exercido pelas falhas NW (em amarelo) sobre a estruturação do *Paleocanyon* de Fazenda Cedro.

## 5.6) Discussão dos resultados

A análise estrutural dos principais sistemas de lineamentos identificados através de sensores orbitais foi direcionada para aspectos específicos dos mesmos, ou seja, seus atributos mais significativos. Tais atributos podem contribuir de forma diferenciada para os aspectos de migração e acumulação de fluidos, entre os quais os hidrocarbonetos. Desta forma, procurou-se definir um arcabouço regional dos principais *trends* estruturais e correlacionar os sistemas identificados com a interpretação de dados oriundos de técnicas distintas (métodos potenciais e sísmica) e com mapas estruturais elaborados em trabalhos de integração regional (Cordani *et. al.*, 1984; Cunha, 1985; Gomes *et. al.*, 1988).

Uma característica observada tanto em imagens de satélite quanto em modelos digitais de elevação é o traço curvilíneo de muitos lineamentos da classe NNE, principalmente nos terrenos pré-cambrianos adjacentes à parte emersa da bacia (Domínios da Faixa Colatina e Sul). Esta característica é sugestiva de deformação em regime dúctil (Chiang, 1984), compatível com uma origem mais profunda para estas estruturas. A presença generalizada destas estruturas nos mapas gravimétricos, cujo processamento tende a realçar as feições de maior comprimento de onda (portanto mais profundas), corrobora esta suposição.

Por outro lado, os sistemas NNW, NW e NE exibem traços predominantemente retilíneos, característicos de origem por deformação rúptil em níveis crustais mais rasos. Apenas o sistema NW apresentou uma discreta presença nos mapas gravimétricos, mesmo assim ao longo de *trends* específicos (Linhares e Jaguaré). A idade relativa entre os sistemas pode ser inferida através das relações de cruzamento entre eles (figuras 53 e 62), onde o sistema NNE (mais antigo) é deslocado pelos outros e o sistema NNW é freqüentemente seccionado e deslocado pelos sistemas NW e NE (mais recentes, provavelmente associados ao processo de rifteamento no Eocretáceo). O sistema NNW, com idade Proterozóica atribuída na literatura, aparece claramente afetando rochas granitóides pós-orogênicas do final do Ciclo Brasileiro (figura 62), indicando pelo menos um episódio de reativação tectônica no Fanerozóico.

A análise estatística dos dados revelou que o padrão estrutural da área emersa da bacia reflete quase que integralmente o arcabouço estrutural presente no embasamento pré-

cambriano adjacente, principalmente quanto à frequência dos lineamentos. Há uma pequena discordância quanto aos comprimentos das feições da classe NE, que são menores na área da bacia em comparação com os domínios do embasamento. Outra diferença está relacionada ao sistema NNW, predominante no domínio da Faixa Colatina mas pouco expressivo nos domínios Sedimentar e Sul.

O atributo comprimento mostrou-se de grande importância na diferenciação e compartimentação dos terrenos, notadamente no domínio Sedimentar. De um modo geral, considera-se a existência de uma relação linear e diretamente proporcional entre o comprimento de uma descontinuidade (falhas ou fraturas) e o seu deslocamento ou abertura (Cartwright *et. al.*, 1995; Clark & Cox, 1996). Entretanto, esta correlação é caracterizada por uma dispersão significativa, que pode ser provocada por vários fatores, desde medições de campo deficientes até metodologias diferentes de aquisição dos dados.

De acordo com Gudmundsson (2000), uma possível causa para parte deste problema é a influência da dimensão controladora da fratura (*strike* ou *dip*) nos deslocamentos, o que influi diretamente no regime de fluxo de fluidos ao longo da abertura gerada. Segundo o autor, em falhas normais e fraturas de distensão, a menor dimensão controla a evolução da abertura; isto leva à suposição de que descontinuidades mais rasas, onde a dimensão *dip* controla os deslocamentos, tendem a ser mais abertas do que descontinuidades que atingem níveis crustais mais profundos, onde a dimensão *strike* é a determinante no controle dos deslocamentos.

Grandes zonas de falha possuem regimes de fluxo distintos ao longo de sua abertura (Fig. 91). Enquanto o núcleo caracteriza-se por uma zona de baixa permeabilidade (dominada por brechas, rochas cataclasadas ou mesmo *gouge* se a deformação for intensa), as zonas menos deformadas no seu entorno apresentam fraturas e falhas subparalelas de dimensões variadas, por onde ocorre o fluxo (Gudmundsson *et. al.*, 2001). Nesta região, o *range* na variação das aberturas pode influenciar enormemente na taxa de fluxo; se uma fratura individual possui uma abertura 10 vezes maior do que a abertura média de um *set* de fraturas (o que é determinado pela dimensão controladora), sua taxa de fluxo ou transmissividade pode ser 1.000 vezes maior do que as demais fraturas do *set*.

A densidade (ou frequência) é um atributo que pode influir de formas distintas nos aspectos de migração e acumulação. Ao mesmo tempo em que valores moderados a altos

em estruturas de 2ª e 3ª ordem podem proporcionar uma migração lateral mais eficiente, a presença de cimentação ou *gouge* nestas mesmas estruturas podem funcionar como barreiras para fluidos, ou determinar a convergência lateral do fluxo para sítios adjacentes às superfícies de falhas/fraturas. Por outro lado, a efetividade do selo, fator fundamental para a acumulação, é favorecida pela ocorrência de baixos valores de densidade. Por fim, altos valores podem conferir uma melhor taxa de recuperação nos reservatórios, considerando-se a ausência de cimentação nas fraturas.

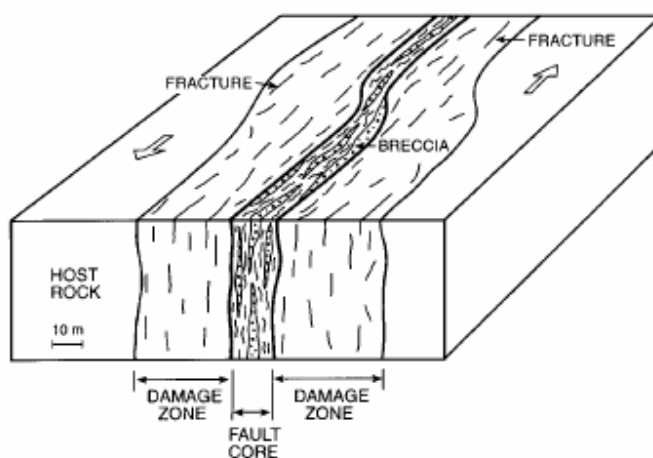


Fig. 91: Perfil esquemático ao longo de uma zona de falha transcorrente, observando-se o núcleo intensamente deformado e as zonas de fraturamento laterais, que podem atingir centenas de metros de largura (Gudmundsson *et. al.*, 2001).

Deste modo, pode-se inferir para a área emersa da bacia uma maior influência das estruturas NW no deslocamento de grandes volumes de fluidos, exercendo um papel de rotas preferenciais de migração em escala regional, já que apresentam comprimentos médios superiores aos das outras classes direcionais e uma distribuição de frequência mais heterogênea, concentrada ao longo de *trends* bem definidos. Particularmente, os *trends* de Jaguaré e Linhares assumem grande importância na estruturação da bacia, projetando-se no sentido *offshore* e definindo compartimentos que delimitam as áreas de ocorrência dos atuais campos produtores. No extremo norte da área de estudo, um outro *trend* NW (Trend de Mucuri) apresenta altos valores de frequência para esta classe, sugerindo que a compartimentação se estende também para norte em direção à bacia de Cumuruxatiba.

Na análise dos mapas gerados para o Domínio Sedimentar, observa-se que a classe NE apresenta, em geral, valores moderados de frequência com uma distribuição mais homogênea do que a classe NW, sendo por isso mais penetrativas. Entretanto, no extremo norte da bacia há uma região de altos valores de densidade para esta classe, ao longo do Lineamento de Pinheiros, cuja origem está associada a uma maior influência das estruturas NNE herdadas do embasamento e principais responsáveis pela evolução do rifte no Eocretáceo.

As estruturas E-W, com valores de frequência significativos nas análises direcionais e estatísticas apresentadas no item 5.3, não mostraram penetratividade quando analisadas do ponto de vista da distribuição espacial, sendo caracterizadas por uma dispersão muito grande das feições sem a formação de *trends* ou concentrações locais. Além disso, os lineamentos desta classe possuem comprimentos médios e individuais muito inferiores aos dos outros sistemas predominantes, principalmente no Domínio Sedimentar, onde a densidade destas feições é bastante discreta quando comparada aos sistemas NW e NE.

A intersecção de diferentes sistemas de lineamentos pode favorecer a migração vertical de fluidos, além de influir no direcionamento de rotas de migração lateral. Neste aspecto, observa-se que na porção norte da bacia os valores mais altos de intersecções coincidem com altos valores de densidade da classe NE, principalmente entre os Lineamentos de Pedro Canário e Boa Esperança, o que pode direcionar a migração vertical ao longo das estruturas NE. Já na região ao sul de São Mateus, particularmente na área dos campos de Fazenda Cedro e ao longo dos Lineamentos de Jaguaré e Linhares, a maior influência dos lineamentos NW e NNW como herança tectônica faz com que as intersecções coincidam com os altos valores de frequência da classe NW, o que pode contribuir para uma migração mais efetiva ao longo destas estruturas.

Com relação aos tipos litológicos predominantes, observa-se que formações mais argilosas contribuem de maneira mais efetiva para o *gouge* ao longo dos planos de falha, com a formação de uma película impermeável entre os blocos deslocados. Além disso, quanto maior o rejeito, maior a probabilidade da formação de selos por justaposição, quando o plano de falha contrapõe litologias de diferentes características permo-porosas (Yielding *et. al.*, 1997). Isto pode acontecer entre arenitos com arcabouços texturais e composicionais distintos ou entre arenitos e folhelhos. A formação de *gouge* e o selo por

justaposição podem representar um papel fundamental na interposição de barreiras ao fluxo, levando à convergência lateral do fluido para sítios específicos. Neste trabalho, não foi possível estabelecer uma relação entre as litologias predominantes e os sistemas estruturais observados, devido à ausência de dados de campo.

Na figura 92, pode-se observar as relações entre as estruturas regionais obtidas através dos sensores orbitais (traços verdes) e os lineamentos interpretados a partir dos mapas gerados com as filtragens nos dados gravimétricos (traços azuis). Também estão representadas falhas normais e domos de sal mapeados ao nível do topo do Albiano-Cenomaniano por Gomes *et. al.* (1988). Observa-se que no extremo norte da área emersa foi interpretada uma estrutura de direção NNW através dos mapas gravimétricos, mas que não encontrou correspondência na análise dos sensores orbitais. As estruturas NE observadas nos sensores orbitais encontram pouca correspondência com as feições interpretadas nos mapas gravimétricos, com exceção do extremo norte da área de estudo (*trend* de Pinheiros).

Entretanto, as principais correlações observadas no mapa da figura 92 dizem respeito às estruturas NNE e NW. As primeiras são facilmente visualizadas nas diferentes técnicas utilizadas, com destaque para a zona de charneira externa, que se prolonga nitidamente para sul em direção à Bacia de Campos. Já as estruturas NW apresentam uma boa correlação entre as interpretações feitas a partir das duas técnicas, com destaque para o prolongamento dos Lineamentos de Jaguaré e Linhares em direção ao centro da bacia (*offshore*). Além disso, os principais *trends* NW mostram uma excelente correlação com o mapa estrutural sísmico elaborado por Gomes *et. al.* (1988) para o topo da seqüência Albo-Cenomaniana, onde o prolongamento dos Lineamentos de Mucuri e Pedro Canário (a norte), Jaguaré (ao centro) e Linhares (a sul) coincide com zonas de transferência NW que seccionam os grandes sistemas de falhas lístricas NNE. Estes falhamentos mapeados na porção *offshore* da bacia apresentam um padrão anastomosado e traços curvilíneos, com concavidade e mergulho para E, mostrando coerência com o aspecto dos lineamentos NNE identificados em terra através dos sensores orbitais.

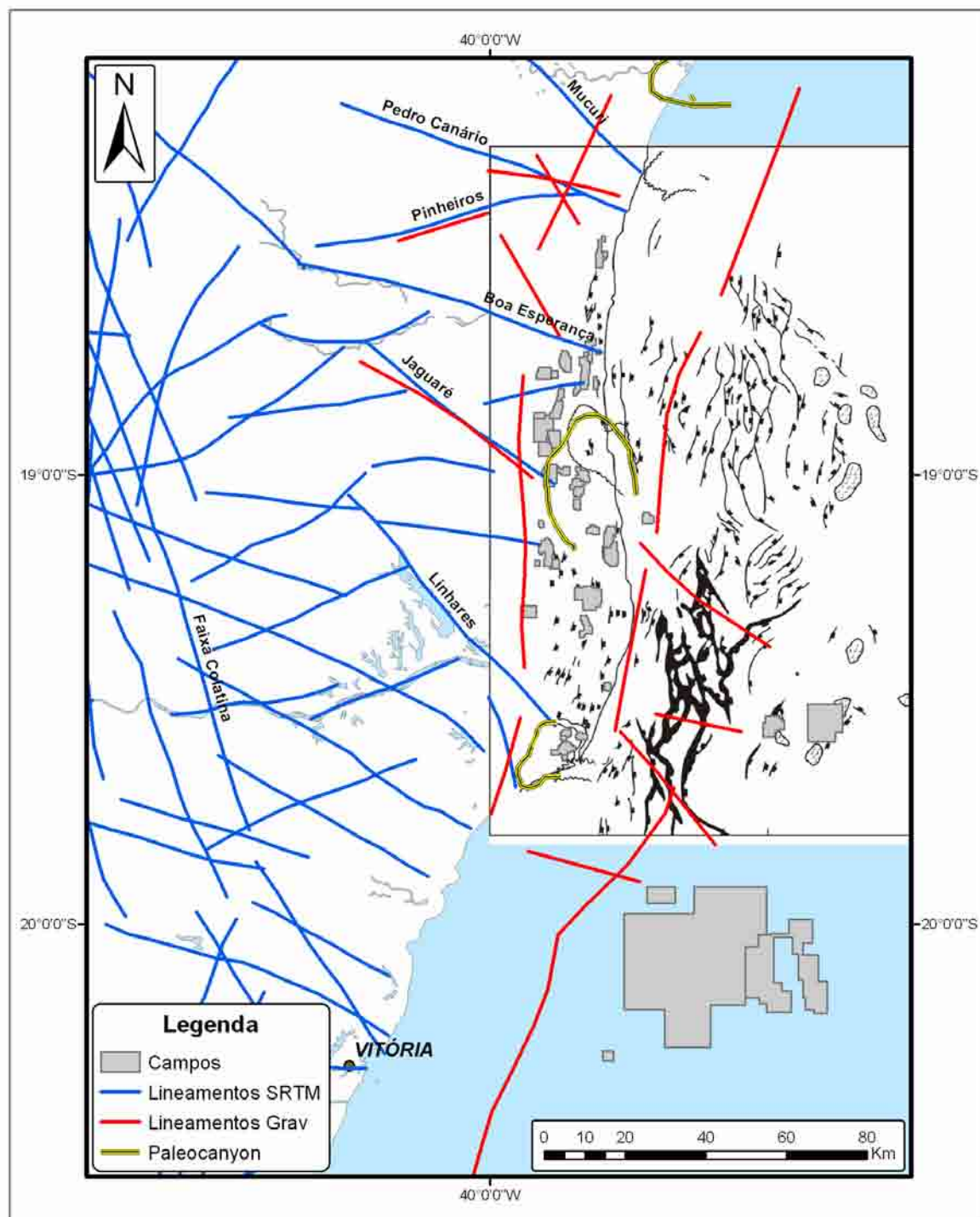


Fig. 92: Integração dos *trends* estruturais com os lineamentos extraídos da interpretação gravimétrica e o mapa estrutural sísmico do topo do Albiano-Cenomaniano (modif. de Gomes *et al.*, 1988), no qual os traços com indicação de mergulho são falhas normais lítricas.

Segundo Mello *et. al.* (2005a), dados estruturais obtidos nos sedimentos cenozóicos revelaram dois campos de paleotensões atribuídos a reativações neotectônicas distintas: uma fase de transcorrência dextral E-W (originando compressão na direção NW-SE e distensão na direção NE-SW), superposta por uma fase distensional de direção NW-SE. Os lineamentos NW-SE reativados na 1ª fase teriam sido submetidos a uma distensão normal aos planos de falha, provocando a abertura dos mesmos; o mesmo teria ocorrido com os lineamentos NE-SW reativados na 2ª fase. Este aumento da permeabilidade secundária ao longo destas estruturas seria contemporâneo ao momento crítico atribuído ao sistema petrolífero Urucutuca-Urucutuca (?), cujos processos de geração e migração teriam se iniciado no final do Paleogeno e se estenderiam até os dias atuais (figura 93), atingindo o pico da janela de óleo e início da janela de gás durante o Neogeno (DPC & Assoc., 2000). Apesar da falta de evidências geoquímicas, o sincronismo entre os eventos pode em tese proporcionar condições favoráveis à migração do óleo gerado pelo sistema petrolífero Urucutuca-Urucutuca (?), considerando-se a continuidade das estruturas associadas ao sistema NW em direção ao centro da bacia (parte *offshore*).

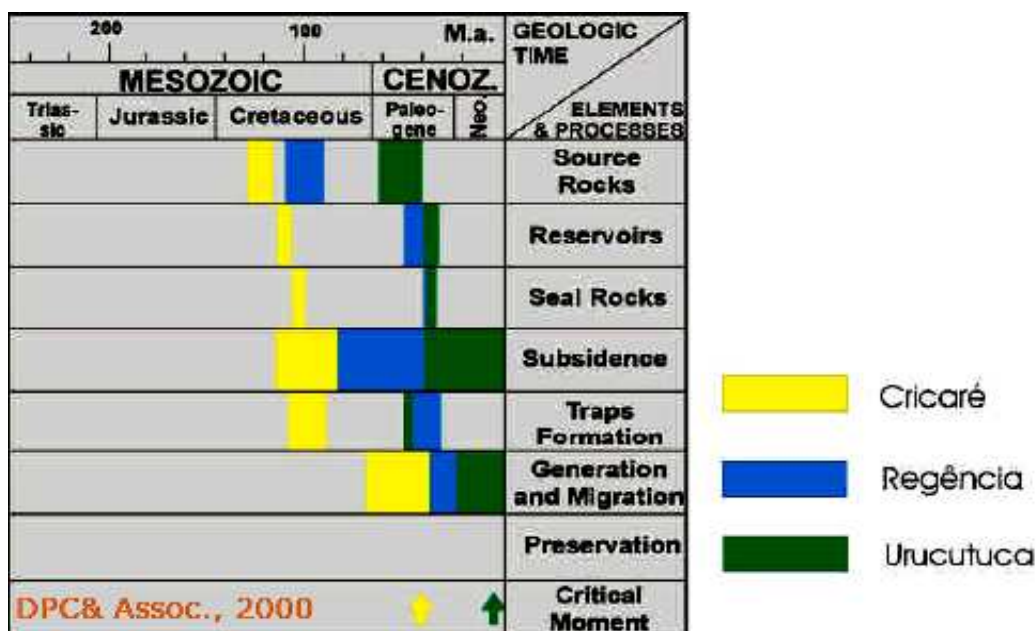


Fig. 93: Carta de eventos da bacia do Espírito Santo, com a evolução temporal dos elementos e processos referentes aos 3 sistemas petrolíferos reconhecidos (modif. de DPC & Assoc., 2000).

## CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho, procurou-se estabelecer o arcabouço estrutural regional das bacias do Espírito e Santo e Mucuri, com base na interpretação de dados obtidos através de técnicas distintas: sensoriamento remoto (imagens de satélite e modelos digitais de elevação), métodos potenciais (gravimetria) e seções sísmicas previamente interpretadas. Todas as informações foram integradas em ambiente GIS através de técnicas de geoprocessamento.

De um modo geral, foi possível observar a herança tectônica do embasamento adjacente sobre a estruturação observada na área sedimentar emersa, caracterizada em grande parte pela exposição dos sedimentos terciários da Formação Barreiras. Isto é sugestivo da ocorrência de reativações tectônicas recorrentes, incluindo desde o processo de rifteamento no Eocretáceo (que aproveitou zonas de fraqueza de 1ª ordem pré-existentes) até feições estruturais observadas em rochas de idade cenozóica, como já proposto na literatura.

Foram identificados quatro sistemas estruturais predominantes em toda a área estudada, corroborando trabalhos de caráter regional desenvolvidos na região (Cunha, 1985; Gomes *et. al.*, 1988): NNW-SSE, NNE-SSW, N30-60W e N40-70E. O sistema NNE-SSW, responsável pelo controle dos falhamentos normais desenvolvidos durante a fase rifte, é bem observado nos mapas gerados a partir dos dados gravimétricos, mas pouco representativo quando analisado somente através dos dados obtidos por meio de sensores orbitais. O sistema NNW-SSE é característico da área sob influência da Faixa Colatina, possuindo os valores mais altos de frequência, comprimento e intersecções, porém com uma expressão areal restrita e bem definida quanto ao conjunto total dos dados. Os sistemas NW-SE e NE-SW são os mais representativos quanto à distribuição e expressão areal, sendo que o primeiro apresenta sempre valores mais altos de comprimento e frequência; entretanto, na área sedimentar emersa, a classe NE-SW exibe valores de frequência equivalentes aos da classe NW-SE.

As técnicas empregadas permitiram a individualização de feições estruturais de diferentes ordens de grandeza, porém relacionadas aos mesmos sistemas tectônicos. Observou-se que os sistemas estruturais identificados na porção emersa através de sensores

orbitais apresentaram uma certa correspondência com o arcabouço estrutural da porção *offshore*, definido através de métodos potenciais (gravimetria). No caso das estruturas N40-70E esta correlação não ficou bem caracterizada, sendo visível apenas no extremo norte da bacia (Lineamento de Pinheiros). Já na região do *Paleocanyon* de Fazenda Cedro é possível notar uma continuidade das estruturas N30-60W da área sedimentar emersa em direção à porção *offshore* da bacia.

Analisando-se conjuntamente as técnicas empregadas neste trabalho, pode-se observar uma forte correlação entre os *trends* NW identificados em terra com feições interpretadas nos mapas gravimétricos e com dados disponíveis em trabalhos de integração regional, notadamente o arcabouço estrutural estabelecido por Gomes *et. al.* (1988) para a porção *offshore* da bacia, com base em dados sísmicos. O sistema NW, além de coincidir com as zonas de transferência que seccionam as falhas lítricas NNE, características da seqüência pós-rifte na porção marítima da bacia, é o responsável pela compartimentação da área sedimentar emersa através de extensos *trends* estruturais, delimitando blocos ao longo dos lineamentos mais expressivos (Mucuri, Jaguaré, Linhares, Pedro Canário e Boa Esperança - os dois últimos de direção WNW).

Entre as recomendações sugeridas para a continuidade da pesquisa, é de fundamental importância a realização de trabalhos de campo, com o objetivo de checar as informações obtidas de maneira indireta e efetuar medidas estruturais nos diversos compartimentos identificados. A determinação dos deslocamentos ao longo das principais falhas (análise cinemática), principalmente os rejeitos verticais, é essencial para a definição do caráter selante ou conduto dos lineamentos, a fim de estabelecer, em conjunto com as associações litológicas deslocadas, os mecanismos controladores e os parâmetros determinantes da convergência ou interposição de barreiras ao fluxo.

É recomendável a realização de uma análise dinâmica, através da reconstituição das paleotensões e suas variações temporais, já que este é um fator que pode ter grande influência no fluxo, levando-se em conta que vários trabalhos efetuados na região citam a existência de reativações tectônicas recorrentes dos principais sistemas estruturais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., NEVES, B. B. B., 1977. **Províncias estruturais brasileiras.** In: *Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande (PB), Atas...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1977, p. 363-391.
- ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y. (Coord), 1984. **O Pré-Cambriano do Brasil.** 1ª edição, São Paulo, Editora Edgard Blucher, 378 p.
- AMARAL, G., 1982. **Radar de visada lateral.** In: *Manual de Sensoriamento Remoto com Ênfase em Geologia.* CNPq, INPE - Comissão Técnico-Científica de Sensoriamento Remoto, p. 173-209.
- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (2006). **Banco de Dados de Exploração e Produção (BDEP), Seções Geológicas e Cartas Estratigráficas.** Disponível em: <http://anp.gov.br>.
- ASMUS, H. E., GOMES, J.B., PEREIRA, A.C.B., 1971. **Integração geológica regional da Bacia do Espírito Santo.** In: *Congresso Brasileiro de Geologia, 25, São Paulo, Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 3, p. 235-252.
- ASMUS, H. E., PORTO, R., 1980. **Diferenças nos estágios iniciais da evolução da margem continental brasileira: possíveis causas e implicações.** In: Congr. Bras. Geol., 31, Camboriú, Anais... Camboriú, SBG, v. 1, p. 225-239.
- AZEVEDO, R. L. M., 2004. **Paleoceanografia e evolução do Atlântico Sul no Albiano.** *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 12, n<sup>o</sup> 2, p. 231-249.
- BACOCOLI, G., CUIÑAS FILHO, E. P., 2004. **Aplicação do indicador de intensidade exploratória como ferramenta de focalização.** In: *Rio Oil & Gas Expo and Conference, 2004, Anais...* Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP), publ. n<sup>o</sup> 087/04, 9 p.
- BIASSUSI, A. S., MACIEL, A. A., CARVALHO, R. S., 1990. **Bacia do Espírito Santo: o “estado da arte” da exploração.** *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 4, n<sup>o</sup> 1, p. 13-19.
- BRUHN, C. H. L., 2001. **Contrasting types of Oligocene/Miocene, Giant Turbidite Reservoirs from Deep Water Campos Basin, Brazil.** In: *American Association of Petroleum Geologists (AAPG), 2001, Distinguished Lecture, 81 slides.*

- BUENO, G. V. 2004. **Diacronismo de eventos no rifte Sul-Atlântico.** *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 12, nº 2, p. 203-221.
- CAINELLI, C., MOHRIAK, W. U., 1999. **General evolution of the Eastern Brazilian continental margin.** *In: The Leading Edge, vol. 18, issue 7, p. 800-805.*
- CARTWRIGHT, J. A., TRUDGILL, B. D., MANSFIELD, C. S., 1995. **Fault growth by segment linkage: an explanation for scatter in maximum displacement and trace length data from the Canyonlands Grabens of SE Utah.** *In: Journal of Structural Geology, v. 17, p. 1319-1326.* Elsevier Science Ltd., 1995.
- CARVALHO, K. W. B., GARRIDO, J. L. P., 1965. **Reconhecimento geológico da bacia sedimentar Bahia Sul/Espírito Santo.** Rio de Janeiro, Petrobrás, Relatório interno.
- CHANG, H. K., KOWSMANN, R. O., FIGUEIREDO, A. M. F. *et al.*, 1992. **Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift System: an overview.** *In: Tectonophysics, v. 213, p. 97- 138.*
- CHIANG, L. C., 1984. **Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: aplicação ao Estado do Rio de Janeiro.** São Paulo: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 157 p.
- CLARK, R. M., COX, S. J. D., 1996. **A modern regression approach to determining fault displacement-length scaling relationships.** *In: Journal of Structural Geology, v. 18, p. 147-152.* Elsevier Science Ltd., 1996.
- CONCEIÇÃO, J. C. J., MIZUSAKI, A. M. P., ALVES, D. B. *et al.*, 1996. **Controle tectônico do magmatismo do complexo vulcânico de Abrolhos, Bacia do Espírito Santo.** *In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador, Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996, p. 384-387.
- CORDANI, U. G., BRITO NEVES, B. B., FUCK, R. A., *et al.*, 1984. **Estudo preliminar de integração do Pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras.** *In: Série Ciência, Técnica, Petróleo, Rio de Janeiro, PETROBRAS/CENPES/SINTEP, v. 15, 70 p.*
- COSTA, L. A. R., 1988. **Evolução termomecânica da Bacia do Espírito Santo.** Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 142 p. il.

- CRÓSTA, A. P., 1993. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1ª edição, São Paulo, Instituto de Geociências da UNICAMP, 170 p.
- CUNHA, F. M. B., 1985. **Integração das bacias do litoral sul da Bahia e do Espírito Santo com a faixa pré-cambriana adjacente**. Rio de Janeiro, Petrobrás/CENPES (Relatório interno), 50 p.
- D'AVILA, R.S.F., BIASSUSI, A. S., GUIRRO, A. C. *et al.*, 1998. **Urucutuca-Urucutuca(?): a new petroleum system in Espirito Santo Basin, Brazil**. In AAPG INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION, , Rio de Janeiro. *Extended abstracts ...* Rio de Janeiro : PETROBRAS, Exxon Exploration Co., 1028 p., p. 102.
- DAVISON, I., 1999. **Tectonics and hydrocarbon distribution along the Brazilian South Atlantic Margin**. In: *Cameron, N. R., Bate, R. H., Clure, V. S. (Eds.), The oil and gas habitats of the South Atlantic*. Geological Society, London, Special Publications, v. 153, p. 133-151.
- DPC & ASSOC., 2000. **Petroleum Systems of Brazil**. *Review and Integration Report, First Edition, July 2000*.
- ESTRELLA, G., MELLO, M. R., GAGLIANONE, P. C. *et al.*, 1984. **The Espirito Santo Basin (Brazil) source rock characterization and petroleum habitat**. In: AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS. *Petroleum geochemistry and basin evaluation*. Tulsa: AAPG, May 1984. p. 253-271 (AAPG Memoir n.35). ISBN 0-89181-312-8.
- FREITAS, R. C., ROSTIROLLA, S. P., FERREIRA, F. J. F., 2006. **Geoprocessamento multitemático e análise estrutural no Sistema Petrolífero Irati-Rio Bonito, Bacia do Paraná**. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 14, nº 1, p. 71-93.
- FREITAS, R. C., ROSTIROLLA, S. P., MANCINI, F., 2004. **Auxílio computacional na análise de lineamentos obtidos por sensores remotos**. In: *Congresso Brasileiro de Geologia, 42, Araxá (MG), Anais...* Araxá: Sociedade Brasileira de Geologia, 2004, 1 CD-ROM.
- GARY, M., McAFEE, J., WOLF, C. L., 1972. **Glossary of Geology**. Washington: American Geological Institute, 1<sup>st</sup> edition, 805 p.

- GOMES, J.C., CARVALHO, R.S., LIMA, F.R.J. *et. al.*, 1988. **Revisão Geológica Regional da Bacia do Espírito Santo**. Rio de Janeiro, PETROBRAS/DEPEX (Relatório interno), 35 p.
- GUDMUNDSSON, A., 2000. **Fracture dimensions, displacements and fluid transport**. *In: Journal of Structural Geology*, v. 22, p. 1221-1231. Elsevier Science Ltd., 2000.
- GUDMUNDSSON, A., BERG, S. S., LYSLO, K. B. *et. al.*, 2001. **Fracture networks and fluid transport in active fault zones**. *In: Journal of Structural Geology*, v. 23, p. 343-353. Elsevier Science Ltd., 2001.
- GUERRA, M. C. M., 1989. **A estruturação da Bacia do Espírito Santo por halocinese e a influência do vulcanismo dos Abrolhos**. Ouro Preto: Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Dissertação (Mestrado), 126 p.
- GUERRA, M.C.M., SZATMARI, P., 1994. **O Banco de Abrolhos como agente modificador do fluxo de sal na Bacia do Espírito Santo**. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário Camboriú. Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994, p.559-560.
- HATUSHIKA, R. S., MELLO, C. L., SILVA, C. G., 2005. **Evidências de atuação neotectônica na formação do lago Juparanã-Linhares (ES)**. Anais do X Congresso da ABEQUA.
- HOBBS, W. H., 1904. **Lineaments of the Atlantic border region**. *In: Geological Society of America Bulletin*, v. 15, p. 483-506.
- LIMA, C. C., 1987. **Estruturação pós-rifte da porção sergipana da bacia Sergipe-Alagoas: o papel do basculamento e das descontinuidades do embasamento**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 378 p.
- MIZUSAKI, A. M. P., ALVES, D. B., CONCEIÇÃO, J. C. J., 1994. **Eventos magmáticos nas Bacias do Espírito Santo, Mucuri e Cumuruxatiba**. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário Camboriú. Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994. p.566-567.

- MELLO, C. L., RODRIGUES, H. B., HATUSHIKA, R. S., 2005a. **Tectônica quaternária e anomalias de drenagem na região centro-norte do Espírito Santo.** In: *X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos / IV International Symposium on Tectonics of the Brazilian Geological Society, Anais...*, Curitiba (PR).
- MELLO, C. L., RODRIGUES, H. B., HATUSHIKA, R. S., 2005b. **Reativações tectônicas cenozóicas na Faixa de Lineamentos Colatina (ES).** In: *X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos / IV International Symposium on Tectonics of the Brazilian Geological Society, Anais...*, Curitiba (PR).
- MELLO, M. R., MAXWELL, J. R., 1990. **Organic geochemical and biological marker characterization of source rocks and oils from lacustrine environments in the Brazilian continental margin.** In: *Katz, B. J. (Ed.), Lacustrine Basin Exploration: Case Studies and Modern Analogs.* AAPG, Memoir n<sup>o</sup> 50, p. 77-98.
- MOHRIAK, W. U., PAULA, O., SZATMARI, P. *et. al.*, 2003. **Volcanic provinces in the Eastern Brazilian margin: geophysical models and alternative geodynamic interpretations.** In: *International Congress of the Brazilian Geophysical Society*, 8, Rio de Janeiro, **Proceedings...**, 1 CD-ROM, 4 p.
- MOHRIAK, W. U., 2004. **Recursos energéticos associados à ativação tectônica mesozóico-cenozóica da América do Sul.** In: *Geologia do Continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.* São Paulo: Editora Beca, 1<sup>a</sup> edição, Cap. XVIII, p. 293-318.
- MOHRIAK, W. U., 2006. **Interpretação geológica e geofísica da Bacia do Espírito Santo e da região de Abrolhos: petrografia, datação radiométrica e visualização sísmica das rochas vulcânicas.** *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v. 14, n<sup>o</sup> 1, p. 133-142.
- MOREIRA, M. A., 2003. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** 2<sup>a</sup> edição revista e ampliada, Viçosa (MG), Editora da UFV (Universidade Federal de Viçosa), 307 p.
- NASA. **Shuttle Radar Topography Mission: the mission to map the world.** Disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>.

- NOVAIS, L.C.C., TEIXEIRA, L., NEVES, M.T. *et. al.*, 2004. **Novas ocorrências de diques de diabásio na Faixa Colatina-ES: estruturas rúpteis associadas e implicações tetônicas para as bacias de Campo e do Espírito Santo.** *Boletim de Geociências da Petrobras-breves comunicações*, Rio de Janeiro, v. 12, n.1, p.191-194.
- OJEDA, H. A. O., 1977. **Bacia do Espírito Santo: integração geológica regional.** Relatório de progresso. Rio de Janeiro (RJ), Petrobras/DEPRO (relatório interno).
- OLIVEIRA, A. I., LEONARDOS, O. H., 1943. **Geologia do Brasil.** Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura – Serviço de Informação Agrícola, 1ª edição, 813 p.
- O' LEARY, D. W., FRIEDMAN, D. D., POHN, H. A., 1976. **Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms.** *In: Bulletin of the Geological Society of America*, v. 87, p. 1463-1469.
- PONTE, F. C. *et. al.*, 1972. **Análise comparativa da Paleogeologia dos litorais atlânticos brasileiro e africano.** *In: Cesero, P. (Ed.), Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, 1997, v. 11, nº 1/2, p. 1-18.
- PONTE, F. C., ASMUS, H. E., 1976. **The Brazilian marginal basins: current state of knowledge.** *In: Academia Brasileira de Ciências, Anais, nº 48, p. 215-239.*
- QUEIROZ, C. L., MENESES, P. R., JOST, H., 2000. **Lineamentos em imagens de sensores remotos e seu significado estrutural nos terrenos granito-greenstone belt de Crixás (GO).** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, nº 4, p. 655-662.
- RADAMBRASIL, 1987. **Folha SE 24 Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra.** Rio de Janeiro, Programa Levantamento de Recursos Naturais (v. 34), Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 548 p. com mapas anexos.
- RADARSAT INTERNATIONAL, 1997. **Radarsat Geology Handbook.** Disponível em: <http://www.rsi.ca/rsic/education/handbook.asp>.
- RANGEL, H. D., BIASSUSI, A. S., LIMA, F. R. T., 1990. **Carta estratigráfica da Bacia do Espírito Santo.** São Mateus (ES), Petrobras, relatório interno.
- RANGEL, M. D., 2003. **Geoquímica de reservatório aplicada aos campos de Fazenda São Rafael e Fazenda Santa Luzia, Bacia do Espírito Santo, Brasil.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Engenharia Civil (COPPE/UFRJ), Dissertação de Mestrado, 162 p.

- ROSTIROLLA, S. P., APPI, C. J., VESELY, F. F. *et. al.*, 2003. **Análise preliminar das rotas de migração de gás no sistema petrolífero Ponta Grossa-Itararé, Bacia do Paraná.** In: *IX Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Búzios, Boletim de resumos*, p. 358-360.
- SAWATZKY, D. L., LEE, K., 1974. **New use of shadow enhancement.** In: *F. SHAHROKRI (ed.), Remote Sensing of Earth Resources*, Tullahoma, Tennessee, 5, p. 1-18.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM), 2001. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil / Sistema de Informações Geográficas e Mapas, escala 1: 2.500.000.** Rio de Janeiro, edição em meio digital (estojo com 4 CD-ROM's).
- SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D. A., DERZE, G. R. *et. al.*, 1984. **Geologia do Brasil: Texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica adjacente incluindo Depósitos Minerais, escala 1:2.500.000.** Brasília: Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), 1ª edição incluindo mapa, 501 p.
- SOBREIRA, J. F. F., 1996. **Complexo vulcânico de Abrolhos: proposta de modelo tectono-magmático.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador. *Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996, p.387-391.
- SOBREIRA, J.F.F., SZATMARI, P., 2001. **Novas Datações Ar-Ar para as rochas vulcânicas de Abrolhos e implicações para a evolução da margem continental leste brasileira.** In: *VIII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos / II International Symposium on Tectonics of the Brazilian Geological Society, Anais...* , p. 279-282.
- SOBREIRA, J. F. F., FRANÇA, R. L., 2006. **Um modelo tectono-magmático para a região do Complexo Vulcânico de Abrolhos.** *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v. 14, n<sup>o</sup> 1, p. 143-147.
- SZATMARI, P., MOHRIAK, W. U., 1995. **Plate model of post-breakup tectono-magmatic activity in SE Brazil and the adjacent Atlantic.** In: *V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Anais...*, p. 213-214, Gramado (RS).
- THOMAZ FILHO, A., RODRIGUES, A. L., 1999. **O alinhamento de rochas alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na Cadeia Vitória-Trindade.** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, n<sup>o</sup> 2, p. 189-194.

- UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro). **Conceitos Básicos de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. LABGIS (Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia Aplicada, Faculdade de Geologia). Disponível em: <http://www.fgel.uerj.br/labgis/>.
- VAN DER VEN, P. H., CUNHA, C.H.R., BIASSUSI, A. S., 1998. **Structural styles in the Espírito Santo – Mucuri Basin, Southeastern Brazil**. Tulsa.: AAPG, 1998. p.374-375.
- VIANNA, C. F., GAMA JR., E. G., SIMÕES, I. A. *et. al.*, 1971. **Revisão Estratigráfica da Bacia Recôncavo/Tucano**. *Boletim Técnico da Petrobrás*, Rio de Janeiro, vol. 14, nº 3/4, p. 157-192.
- VIEIRA, R. A. B., MENDES, M. P., VIEIRA, P. E. *et. al.*, 1994. **Bacias do Espírito Santo e Mucuri**. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, vol. 8, nº 1, p. 191-202.
- VIEIRA, R.A.B., MENDES, M.P., COSTA, L.A.R. *et. al.*, 1993. **Revisão Estratigráfica das Bacias do Espírito Santo e Mucuri**. PETROBRAS/DEXES (Relatório Interno). São Mateus-ES.
- YIELDING, G., FREEMAN, B., NEEDHAM, D. T., 1997. **Quantitative Fault Seal Prediction**. *AAPG Bulletin*, v. 81, nº 6 (June 1997), p. 897-917.