



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

DANIEL CARVALHO WEST

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO (ESCALA 1:25.000) E MODELO
TECTONOSSEDIMENTAR PARA A FORMAÇÃO BARREIRAS NO
SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Rio de Janeiro

2017

DANIEL CARVALHO WEST

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO (ESCALA 1:25.000) E MODELO
TECTONOSSEDIMENTAR PARA A FORMAÇÃO BARREIRAS NO
SUL DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade Federal do
Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Prof. Dr. Claudio Limeira Mello

Rio de Janeiro

2017

WEST, Daniel Carvalho

Mapeamento Geológico (Escala 1:25.000) e Modelo Tectonossedimentar para a Formação Barreiras no Sul do Estado do Espírito Santo / Daniel Carvalho West – Rio de Janeiro: UFRJ, Instituto de Geociências, 2017.

xii, 72 p.

Trabalho Final de Curso: Graduação em Geologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2017

Orientador: Claudio Limeira Mello

1. Formação Barreiras 2. Mapeamento Geológico 3. Sul do Espírito Santo

DANIEL CARVALHO WEST

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO (ESCALA 1:25.000) E MODELO
TECTONOSSEDIMENTAR PARA A FORMAÇÃO BARREIRAS NO SUL DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade Federal do
Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Prof. Dr. Claudio Limeira Mello

Aprovado em: ___/___/___

Por:

Prof. Dr. Claudio Limeira Mello (Departamento de Geologia – IGEO/UFRJ)

Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane (Departamento de Geologia – IGEO/UFRJ)

Geógrafo M.Sc. Marcelo Eduardo Dantas (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM)

A minha mãe e meu pai,

Com muito orgulho.

AGRADECIMENTOS

À CPRM e seus pesquisadores, pela disponibilização dos dados necessários para a execução do trabalho e pelos auxílios na realização do mesmo. Agradeço também os ensinamentos que me foram passados durante os dois anos de estágio. Em especial ao geólogo Jorge Pimentel, que me chefiou durante a realização do mesmo. Sou grato pelos ensinamentos e pela amizade durante todo o tempo de estágio.

Ao Instituto de Geociências da UFRJ (IGEO), pelo transporte cedido, que tornou possível a circulação na área de estudo, e pelos recursos financeiros usados para os custos de campo.

Ao meu orientador, professor Claudio Limeira Mello, por todos os ensinamentos e paciência, que permitiram a conquista dos objetivos do trabalho, e principalmente pelas palavras de incentivo e amizade que tornaram esse ano de pesquisa mais produtivo e proveitoso.

Aos professores da UFRJ, que contribuíram para a minha formação como Geólogo, pelos conhecimentos e discussões geológicas. Em especial a dois que me acolheram de uma forma diferenciada na Geologia, professores José Carlos Sícoli Seoane e Kátia Leite Mansur. Agradeço pelo tratamento sempre muito próximo e pela amizade.

Aos companheiros da J2-023, responsáveis por aturar os momentos de maior desespero com os prazos do trabalho. Em especial à geóloga Thaís Coelho Brêda, pelos ensinamentos geológicos, pela paciência e assistência que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a minha família por sempre acreditarem em mim e estarem ao meu lado sempre. Em especial a minha irmã Ana Paula e minha vó Leda, pelo carinho de sempre e a confiança no meu potencial.

Agradeço especialmente a minha mãe Heloisa e meu pai Tony pelo completo apoio que tive durante toda minha vida para que pudesse chegar até aqui. Sem vocês nada disso seria possível. Obrigado pelo investimento financeiro, mas acima de tudo pelo incentivo pessoal, pelas palavras de carinho e pela confiança que me foi depositada. Dedico esse trabalho a vocês.

A minha companheira Monica, de forma especial, pelo apoio incondicional, incentivo, paciência e compreensão nos momentos bons e ruins, sendo responsável por me dar forças para realizar qualquer feito. Pela sua presença essencial no meu dia a dia, pelo carinho e confiança que me são dados, e por aceitar todas as dificuldades que ser companheira de um geólogo possam acarretar.

Aos meus amigos de turma, responsáveis por atravessarmos os anos de graduação de uma forma mais alegre. Obrigado pelos momentos de descontração, pelas discussões geológicas e principalmente pela amizade. Em especial, Bruna Rabelo, Bianca Saraiva, Estevão Cruzick, Gustavo Mendes, Douglas Renato, Leticia Moura, Nicollas Oliveira, Nina Torres, Rhenan Braun, Veronica Dutra e Viktor Louback.

RESUMO

WEST, Daniel C. Mapeamento geológico (Escala 1:25.000) e modelo tectonossedimentar para a Formação Barreiras no sul do estado do Espírito Santo. Rio de Janeiro, 2017. 72 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

O presente estudo teve como objetivo a produção de um mapa em escala de detalhe (1:25.000) da distribuição da Formação Barreiras na região sul do estado do Espírito Santo, entre os municípios de Presidente Kennedy e Guarapari. A escolha desta área buscou dar continuidade aos estudos de mapeamento da Formação Barreiras realizados, com diferentes escalas de trabalho e utilizando diferentes bases e abordagens metodológicas, nesta região e na porção norte do Rio de Janeiro. Neste estudo, foi utilizado um modelo digital de elevação (MDE) obtido a partir de ortofotos com *pixels* de 1 metro. Foi necessário realizar um tratamento do MDE para remover alguns elementos desnecessários, sendo gerados, em seguida, *hillshades* com direções de azimute 045° e 315°. A interpretação preliminar desses modelos sombreados destacou a delimitação das áreas com morfologia de tabuleiros, associadas à Formação Barreiras, distinguindo os terrenos desta unidade das demais unidades geológicas presentes (embasamento cristalino e sedimentos quaternários). Após uma campanha de checagem de campo para a validação do mapeamento preliminar, verificação de áreas duvidosas e coleta de dados litológicos e estruturais, foi produzido o mapa de distribuição da Formação Barreiras na área investigada, sendo propostos novos limites para a unidade. A integração deste mapa à análise de lineamentos e ao reconhecimento sedimentológico e estrutural levou à proposição de um modelo evolutivo preliminar com destaque para a atuação de mecanismos tectônicos cenozoicos, que resultou na compartimentação dos tabuleiros da Formação Barreiras por estruturas de orientação NE-SW e NW-SE.

Palavras-Chave: Formação Barreiras, Mapeamento Geológico, Sul do Espírito Santo

ABSTRACT

WEST, Daniel C. Geological mapping (Scale 1:25.000) and tectonosedimentary model to Barreiras Formation in southern of Espírito Santo State (SE Brazil). Rio de Janeiro, 2017. 72 p. Final Course Monography (Geology) – Department of Geology, Institute of Geosciences, Federal University of Rio de Janeiro.

The present study had as objective the production of a map in a scale of detail (1:25.000) showing the distribution of the Barreiras Formation in the southern region of the Espírito Santo, between Presidente Kennedy and Guarapari counties (Southeast Brazil). This area was chosen to give continuity to the studies performed about the mapping of the Barreiras Formation at different work scales, in this region and in the north portion of Rio de Janeiro. As a basis for this study, a digital elevation model (DEM) obtained from photos mosaics with one meter pixel was used. It was necessary to smooth the DEM due to unnecessary elements, then being generated 7 hillshades with azimuth directions of 045° and 315°. The preliminary interpretation of these hillshades pointed out the delimitation of the areas with plateau morphology, associated to the Barreiras Formation, distinguishing its terrains from other geological units (basement and Quaternary sediments). After field checking to validate of the preliminary mapping, verification of doubtful areas and lithologic and structural data collection, a distribution map for the Barreiras Formation in the investigated area was made, proposing new boundaries for the unit. The integration of this map to the lineament analysis, and the structural and sedimentological recognition led to the proposition of a preliminary evolutionary model with emphasis on the work of the Cenozoic tectonic mechanisms, which resulted in the partitioning of the Barreiras Formation plateaus by NE-SW and NW-SE structures.

Key-Words: Barreiras Formation, Geological mapping, Southern of Espírito Santo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Afloramento da Formação Barreiras em falésia localizada a sul de Marataízes (ES)	01
Figura 1.2 - Estudos envolvendo o mapeamento da Formação Barreiras anteriormente realizados na área de estudo ou nas áreas adjacentes, no litoral dos estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo	02
Figura 3.1 - Localização da área de estudo sobre mosaico de ortofotos (IEMA) e o <i>hillshade</i> (direção 315°) obtido a partir do modelo digital de elevação do IEMA. Estão representados também os limites das cartas topográficas (1:50.000 IBGE) que abrangem a área de estudo.	06
Figura 3.2 – Principais vias de acesso à área de estudo sobre mosaico de ortofotos (IEMA) e o <i>hillshade</i> (direção 315°) obtido a partir do modelo digital de elevação do IEMA. Estão representados também os limites das cartas topográficas (1:50.000 IBGE) que abrangem a área de estudo. As vias de acesso foram obtidas através de interpretação das ortofotos	07
Figura 3.3 – Mapa geológico do estado do Espírito Santo (Vieira & Menezes, 2015), adaptado para a área de estudo. Estão representados também os limites das cartas topográficas (1:50.000 IBGE) que abrangem a área de estudo	09
Figura 3.4 – Coluna estratigráfica da Bacia de Campos (Winter et al., 2007). Destaque para o registro da Formação Barreiras (Neógeno) na área emersa da bacia.	13
Figura 3.5 - Distribuição da Formação Barreiras na região sul do Espírito Santo segundo Ribeiro (2010), adaptado para a área de estudo sobre o <i>hillshade</i> (direção 315°) gerado a partir do modelo digital de elevação do IEMA	15
Figura 3.6 - Distribuição da Formação Barreiras na região sul do Espírito Santo segundo Vieira & Menezes (2015), adaptado para a área de estudo sobre o <i>hillshade</i> (direção 315°) gerado a partir do modelo digital de elevação do IEMA	16
Figura 3.7 – Comparação entre os mapeamentos realizados por Ribeiro (2010) e Vieira & Menezes (2015) na área de estudo, sobre o <i>hillshade</i> (direção 315°) gerado a partir do modelo digital de elevação do IEMA	17
Figura 3.8 – Coluna estratigráfica e eventos tectônicos cenozoicos no segmento central do <i>Rift</i> Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), segundo Riccomini <i>et al.</i> (2004). p – depósitos proximais (leques aluviais); m-d – depósitos medianos a distais (leques aluviais medianos a distais associados a planície aluvial de rios entrelaçados; t – depósito de tálus; ca – depósitos colúvio-aluviais; a – depósitos aluviais	20
Figura 3.9 – Perfis topográficos elaborados por Ribeiro (2010) na área de estudo. Foram identificados blocos que sofreram rebaixamento e soerguimento formando padrões de grábens e horsts. Essa geometria indica um controle estrutural na distribuição e comportamento dos blocos, controlados principalmente pela ocorrência de falhas normais	22

- Figura 3.10** – Mapa de unidades geomorfológicas da área de estudo, tendo como base o mapa de geodiversidade elaborado por Silva & Machado (2014)_____ 23
- Figura 4.1** – Fluxograma das atividades de trabalho realizadas_____ 29
- Figura 4.2** - *Hillshade* gerado antes do tratamento do modelo digital de elevação, representando um modelo de difícil interpretação_____ 30
- Figura 4.3** – Etapas realizadas no trabalho. Aquisição do modelo digital de elevação, seguido pelo seu tratamento através do uso das ferramentas *Resample*, *Mask* e *Focal Statistics* do ESRI ArcMap 10.2®, e geração do *hillshade* a partir do MDE tratado, utilizando o mesmo software para obtenção do efeito de relevo sombreado, permitindo a interpretação de padrões de relevo_____ 31
- Figura 4.4** – Comparação entre os *hillshades* gerados antes do tratamento do dado (à esquerda) e após o tratamento do dado (à direita)_____ 32
- Figura 4.5** - *Hillshades* gerados a partir do modelo digital de elevação tratado. Na esquerda, o *hillshade* com altitude 45° e azimute 45°, destacando elementos de direção NW-SE. Na direita, o *hillshade* com altitude 45° e azimute 315°, destacando elementos de direção NE-SW_____ 33
- Figura 4.6** – Ilustração dos padrões de relevo associados aos principais domínios geológicos na área de estudo, separados pelos azimutes usados na interpretação dos padrões de terreno. Nos padrões da Formação Barreiras destacam-se os topos planos e contínuos, caracterizando a geometria de tabuleiros característica da unidade, entalhada por drenagens com menor densidade de canais. Os sedimentos quaternários diferem-se das unidades adjacentes pelo padrão plano, contínuo e de baixa altitude. O embasamento exibe dois padrões de relevo distintos: o primeiro é representativo do relevo serrano, com topos agudos e maiores altitudes; o segundo representa o embasamento mais intemperizado, com relevo mais suavizado, que se assemelha ao padrão da Formação Barreiras, podendo ser diferenciado pelo padrão mais dissecado, com maior rugosidade_____ 34
- Figura 4.7**–Descrição de afloramentos realizada na atividade de campo_____ 35
- Figura 4.8** – Descrição de aspectos geomorfológicos realizada na atividade de campo. Na figura superior é identificado o padrão característico do embasamento aplainado sob a forma de colinas amplas e suaves, contrastando com o relevo do embasamento em domínio serrano, ao fundo. Na figura inferior é representada a morfologia de colinas aplainadas, associada à Formação Barreiras, contrastando com a morfologia do embasamento cristalino associada a morros mais altos_____ 36
- Figura 4.9** – Localização das seções geológicas (ABC e DEF) elaboradas ao longo da área de estudo, sobre o *hillshade* (direção 315°) gerado a partir do modelo digital de elevação do IEMA_____ 38
- Figura 5.1** – Exemplo ilustrativo da interpretação da distribuição da Formação Barreiras na área de estudo (sobre *hillshade* com azimute 315°). Em laranja, é destacada a região que mostra a característica morfológica principal associada à unidade, como tabuleiros; em verde, estão assinaladas as regiões com relevo colinoso, sendo difícil a distinção do domínio do embasamento aplainado_____ 40
- Figura 5.2** – Mapeamento preliminar da Formação Barreiras na área de estudo (sobre o *hillshade* com azimute 315°)_____ 41

- Figura 5.3** – Pontos selecionados para checagem de campo, com base na fotointerpretação das ortofotos e imagens do *software Google Earth®*_____ 43
- Figura 5.4** – Pontos visitados na etapa de checagem de campo, com a distinção das unidades geológicas identificadas, sobre o mapa preliminar de distribuição da Formação Barreiras. Também estão assinalados pontos descritos em estudos anteriores que realizaram caracterização estratigráfica e/ou estrutural de afloramentos na área de estudo (Morais, 2007; Ribeiro, 2010). Os números correspondem aos pontos ilustrados nas figuras 5.5, 5.6 e 5.7_____ 44
- Figura 5.5** – Afloramentos de embasamento cristalino na área de estudo. A figura “A” representa o Ponto 176(b) onde afloram rochas do embasamento bastante intemperizadas e, sobreposta a estas rochas, há uma cobertura sedimentar muito pedogeneizada. A figura “B” representa o afloramento do Ponto 22, onde afloram rochas do embasamento intemperizadas, mas ainda preservando, de forma nítida, a foliação metamórfica_____ 45
- Figura 5.6** – Afloramento do Ponto 46, apresentando rochas do embasamento cobertas por depósitos da Formação Barreiras, sobrepostos por uma cobertura de sedimentos muito pedogeneizados_____ 45
- Figura 5.7** – Diferentes afloramentos e aspectos da Formação Barreiras na área de estudo. A) Ponto 1 - espessos depósitos areníticos estratificados; B) Ponto 74 - depósitos proximais, com presença de blocos angulosos; C) Ponto 19 - afloramento de depósitos predominantemente areníticos, em camadas tabulares, em falésia a sul de Marataízes_____ 46
- Figura 5.8** – Mapa de distribuição da Formação Barreiras na região sul do Espírito Santo, com a representação dos pontos com dados obtidos em campo. Os números correspondem aos pontos ilustrados nas figuras 5.5, 5.6 e 5.7_____ 48
- Figura 5.9** – Mapa de distribuição da Formação Barreiras no sul do Estado do Espírito Santo_____ 49
- Figura 5.10** – Comparação entre o mapeamento da Formação Barreiras desenvolvido no presente trabalho e o realizado por Vieira & Menezes (2015), sendo destacadas as principais diferenças_____ 51
- Figura 5.11** – Comparação entre o mapeamento da Formação Barreiras desenvolvido no presente trabalho e o realizado por Ribeiro (2010), sendo destacadas as principais diferenças_____ 52
- Figura 5.12** – Seções geológicas realizadas na região de maior distribuição da Formação Barreiras na área de estudo_____ 54
- Figura 5.13** – Seção geológica ABC, com orientação NW-SE (ver a localização da seção na Figura 5.9), destacando o comportamento do relevo na área de estudo do interior para a costa. As localizações dos pontos representados nas fotografias estão indicadas ao longo da seção. i) Relevo de colinas amplas e suaves contrastando com o relevo montanhoso ao fundo da imagem; ii) depósitos da Formação Barreiras com pequena espessura sobre rochas do embasamento, formando uma capa sedimentar e tornando o topo da colina mais suave a plano; iii) embasamento aflorante no limite entre domínios de ocorrência da Formação Barreiras como capa do embasamento e com morfologia de tabuleiros; iv) depósitos proximais da Formação Barreiras, apresentando blocos angulosos; v) afloramento da Formação Barreiras em falésia_____ 56

Figura 5.14 - Seção geológica DEF, com orientação NE-SW (ver a localização da seção na Figura 5.9), destacando o comportamento do relevo transversalmente ao domínio dos tabuleiros da Formação Barreiras. As localizações dos pontos representados nas fotografias estão indicadas ao longo da seção. i) Embasamento bastante alterado preservando a foliação da rocha; ii) depósitos proximais da Formação Barreiras, apresentando blocos angulosos; iii) afloramento da Formação Barreiras com topo marcado pelo nível de crosta ferruginosa, que se encontra deformada, abatendo-se em direção ao vale; iv) afloramento da Formação Barreiras evidenciando o topo de crosta ferruginosa não deformado_____ 58

Figura 5.15 – Principais lineamentos de orientação NE-SW observados na área de estudo com provável influência na distribuição da Formação Barreiras. Estão assinalados os pontos com medidas estruturais do presente estudo e do trabalho de Ribeiro (2010)_____ 60

Figura 5.16 – Principais lineamentos de orientação NW-SE observados na área de estudo com provável influência na distribuição da Formação Barreiras. Estão assinalados os pontos com medidas estruturais do presente estudo e do trabalho de Ribeiro (2010)_____ 61




Figura 5.17 – Afloramento descrito no Ponto 57 (não interpretado e interpretado) e estereograma ilustrativo dos campos de esforços tectônicos identificados, associados à geração de falhas normais NE-SW, indicando distensão NW-SE.  - eixo de tensão máxima (σ_1);  - eixo de tensão intermediária (σ_2);  - eixo de tensão mínima (σ_3); setas vermelhas – orientação do campo de paleotensão distensivo_____ 62




Figura 5.18 – Afloramento descrito no Ponto 114 (não interpretado e interpretado) e estereograma ilustrativo dos campos de esforços tectônicos identificados, associados à geração de falhas normais NW-SE, indicando distensão NE-SW.  - eixo de tensão máxima (σ_1);  - eixo de tensão intermediária (σ_2);  - eixo de tensão mínima (σ_3); setas vermelhas – orientação do campo de paleotensão distensivo_____ 63




Figura 5.19 – Estereogramas ilustrativos dos campos de esforços tectônicos identificados no ponto ITA-03 por Ribeiro (2010), associados à: a) geração de falhas normais NE-SW, indicando distensão NW-SE; e b) geração de falhas normais NW-SE, indicando distensão NE-SW.  - eixo de tensão máxima (σ_1);  - eixo de tensão intermediária (σ_2);  - eixo de tensão mínima (σ_3); setas – orientação do campo de paleotensão distensivo_____ 64

Figura 5.20 – Bloco-diagrama esquemático (sem escala) representativo da sedimentação da Formação Barreiras controlada pela reativação, como falhas normais com direção NE-SW, de estruturas do embasamento pré-cambriano_____ 66

Figura 5.21 – Bloco-diagrama esquemático (sem escala) representativo da compartimentação e entalhamento da Formação Barreiras, controlados por falhas normais com direção NE-SW e NW-SE_____ 66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	04
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	05
3.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	05
3.2. GEOLOGIA REGIONAL	08
3.2.1. Complexos paragneissicos e suítes intrusivas	08
3.2.1.1. Terrenos Proterozoicos	10
3.2.1.1.1. Terrenos Pré-orogênicos	10
3.2.1.1.2. Terrenos pré- a sin- orogênicos	11
3.2.1.1.3. Terrenos sin- a tardi- orogênicos	11
3.2.1.2. Terrenos Paleozoicos	11
3.2.2. Evolução Mesozoica-Cenozoica	12
3.2.2.1. Formação Barreiras	14
3.2.2.2. Sedimentação Quaternária	19
3.2.2.3. Neotectônica	19
3.3. GEOMORFOLOGIA	22
3.3.1. Caracterização dos Terrenos Geomorfológicos	24
4. METODOLOGIA	28
4.1. AQUISIÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO, TRATAMENTO DO DADO E GERAÇÃO DE PRODUTOS	29
4.2. INTERPRETAÇÃO PRELIMINAR DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	33
4.3. TRABALHO DE CAMPO	34
4.4. ELABORAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DO MAPA DA FORMAÇÃO BARREIRAS	37

5. RESULTADOS _____	39
5.1. MAPA PRELIMINAR DA FORMAÇÃO BARREIRAS_____	39
5.2. DADOS OBTIDOS EM CAMPO_____	42
5.3. MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DA FORMAÇÃO BARREIRAS NA REGIÃO SUL DO ESPÍRITO SANTO _____	47
5.4. MODELO TECTONOSSEDIMENTAR_____	65
6. CONCLUSÃO _____	68
7. BIBLIOGRAFIA _____	70

1. INTRODUÇÃO

A Formação Barreiras constitui uma unidade litoestratigráfica de idade miocênica (Arai, 2006; Lima, 2008) com ampla distribuição na região costeira do Brasil, apresentando-se caracteristicamente associada a morfologias de tabuleiros e falésias (Figura 1.1). A unidade é identificada desde o Rio de Janeiro até o Amapá, sendo considerada um marco estratigráfico do Cenozoico do Brasil. Trabalhos anteriores destacam a importância desta unidade como marcador estratigráfico e geomorfológico para estudos neotectônicos (Ribeiro, 2010; Bricalli, 2011).



Figura 1.1 – Afloramento da Formação Barreiras em falésia localizada a sul de Marataízes (ES).

A maioria dos estudos sobre a Formação Barreiras foi realizada no nordeste brasileiro, sendo ainda relativamente pouco estudada na região sudeste. Os estudos mais recentes sobre a Formação Barreiras na região sudeste, sob o ponto de vista estratigráfico e sedimentológico, foram realizados por Moraes (2001, desde a Região dos Lagos Fluminenses até a Região Norte Fluminense), Moraes (2007, ao longo da região costeira do estado do Espírito Santo), Brêda (2012, na região entre Armação dos Búzios e Campos dos Goytacazes) e Alves (2016, na região sul do Espírito Santo). Nestes estudos, a Formação Barreiras é descrita como de

origem continental, com predomínio de feições relacionadas à deposição em ambiente fluvial, havendo a contribuição de fluxos gravitacionais.

A distribuição da Formação Barreiras no Sudeste do Brasil é bastante descontínua a sul de Vitória (ES), ocorrendo de forma mais contínua e extensa a norte desta cidade.

Diferentes trabalhos de mapeamento foram realizados na região do estado do Espírito Santo e do norte do Rio de Janeiro, contribuindo para o entendimento da distribuição da Formação Barreiras na região, destacando-se Ribeiro (2010), Brêda (2012), Macedo (2014), Chrismann (2014) e Silva (2015) - Figura 1.2. A metodologia adotada por cada trabalho (mapeamento manual ou semi-automático), a resolução dos modelos digitais de elevação (MDE), a escala e a extensão da área de estudo proporcionaram diferentes mapas como resultado.

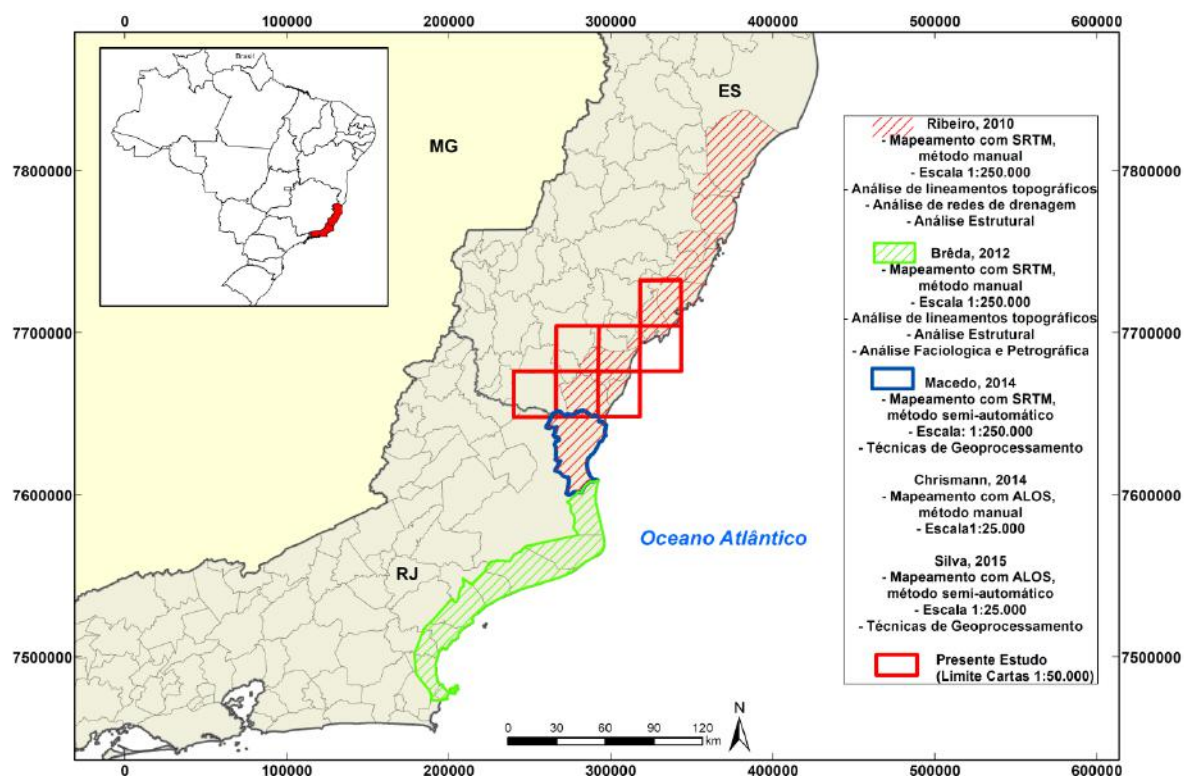


Figura 1.2 - Estudos envolvendo o mapeamento da Formação Barreiras anteriormente realizados na área de estudo ou nas áreas adjacentes, no litoral dos estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo.

Os trabalhos de Ribeiro (2010) e Brêda (2012) utilizaram MDEs gerados a partir de dados SRTM, adotando uma escala regional de mapeamento (1:250.000) com método manual, estudando áreas adjacentes entre si (Figura 1.2), sendo o primeiro focado no centro-sul do estado do Espírito Santo e norte do Rio de Janeiro, e o segundo abrangendo a região entre Armação dos Búzios (RJ) e Campos dos Goytacazes. Estes trabalhos enfatizaram a relação da distribuição descontínua da Formação Barreiras na área investigada com a atuação de mecanismos neotectônicos.

Macedo (2014), Chrismann (2014) e Silva (2015) empregaram diferentes MDEs e métodos para o mapeamento da Formação Barreiras na sua principal área de ocorrência no estado do Rio de Janeiro (na região Norte Fluminense, entre Campos dos Goytacazes e o limite com o Espírito Santo). Macedo (2014) e Silva (2015) adotaram o mapeamento semi-automático, utilizando MDEs SRTM e ALOS, respectivamente. Chrismann (2014) também utilizou ALOS, porém adotou um método manual de mapeamento. Devido às diferenças nas resoluções dos modelos digitais utilizados, as escalas de trabalho foram diferentes. Os trabalhos que adotaram ALOS (Chrismann, 2014 e Silva, 2015) resultaram em mapeamentos em escala de detalhe (1:25.000), enquanto o trabalho realizado por Macedo (2014), com dados SRTM, resultou em um mapeamento em escala regional (1:250.000). Em função das abordagens metodológicas distintas, e também das escalas adotadas, os mapas produzidos nesses trabalhos mostram alguma discrepância nos limites da Formação Barreiras.

O presente estudo dá continuidade aos trabalhos de mapeamento da Formação Barreiras ao longo da costa dos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, com o uso de um modelo digital de elevação de alta resolução. Foi escolhida a porção sul do Espírito Santo para o desenvolvimento do estudo por ser adjacente à região que tem sido alvo dos estudos acima mencionados, o norte do estado do Rio de Janeiro. Outra motivação é a comparação de resultados de mapeamento com trabalhos já existentes na área, como Ribeiro (2010) e Vieira

& Menezes (2015), com o uso de novos dados (ortofotos cedidas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil) e aplicando-se abordagem metodológica distinta.

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo é realizar um mapeamento da Formação Barreiras em escala de detalhe (1:25.000) na região sul do Espírito Santo, entre os municípios de Presidente Kennedy (ES) e Guarapari (ES), buscando discutir um modelo tectonossedimentar para a unidade na área de estudo. Dessa forma, busca-se contribuir para um maior conhecimento sobre a evolução cenozoica na área investigada.

Este estudo envolveu as etapas de aquisição de modelo digital de elevação de alta resolução e seu tratamento; interpretação dos *hillshades* e mapeamento preliminar da Formação Barreiras; checagem de campo, com coleta de dados litológicos e estruturais; integração do mapa preliminar com os dados de campo e elaboração do mapa final; e interpretação do mapa.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A área de estudo situa-se na região costeira do sul do Espírito Santo, entre os municípios de Presidente Kennedy e Guarapari, abrangendo as seguintes cartas 1:50.000 do IBGE (2016): Mimoso do Sul, Presidente Kennedy, Itapemirim, Cachoeiro do Itapemirim, Rio Novo do Sul, Piúma e Alfredo Chaves (Figura 3.1). As coordenadas que limitam a área são latitudes Norte 239.945 a 343.570 e longitudes Oeste 7.732.490 a 7.648.170, no fuso 23.

As principais vias de acesso à área são: a rodovia federal BR-101, que atravessa de sul a norte toda a área de estudo, desde Presidente Kennedy até Guarapari, e a rodovia estadual ES-060 (Rodovia do Sol), paralela à BR-101 e posicionada próximo à costa (Figura 3.2). Outras importantes vias de acesso são as rodovias: ES-162, que atravessa o município de Presidente Kennedy; ES-490, que liga as cidades de Marataízes e Atílio Vicacqua; ES-375 e ES-146, ligando a BR-101 às cidades de Piúma e Anchieta, respectivamente.

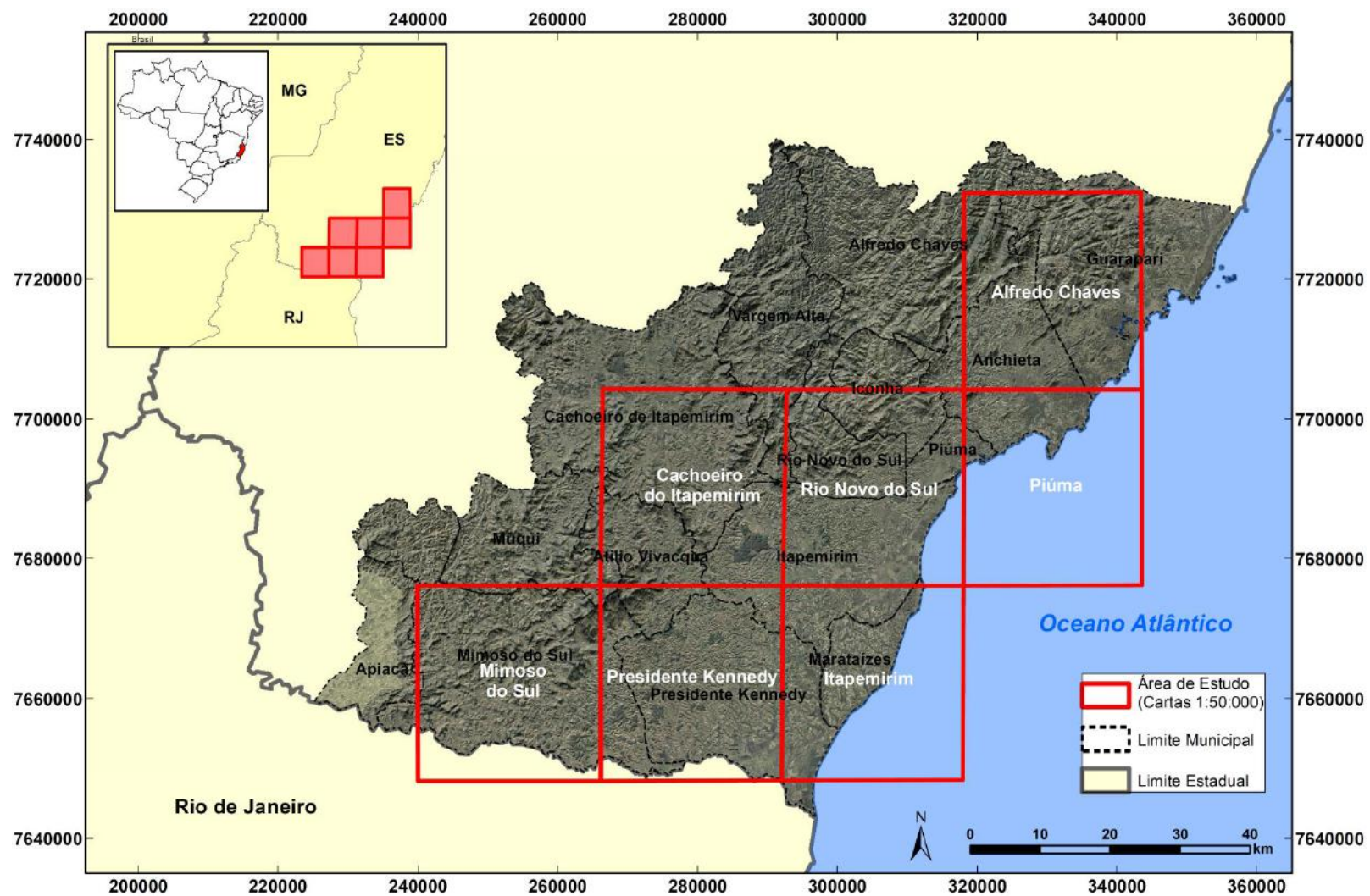


Figura 3.1- Localização da área de estudo sobre mosaico de ortofotos (IEMA) e o *hillshade* (direção 315°) obtido a partir do modelo digital de elevação do IEMA. Estão representados também os limites das cartas topográficas (1:50.000 IBGE) que abrangem a área de estudo.

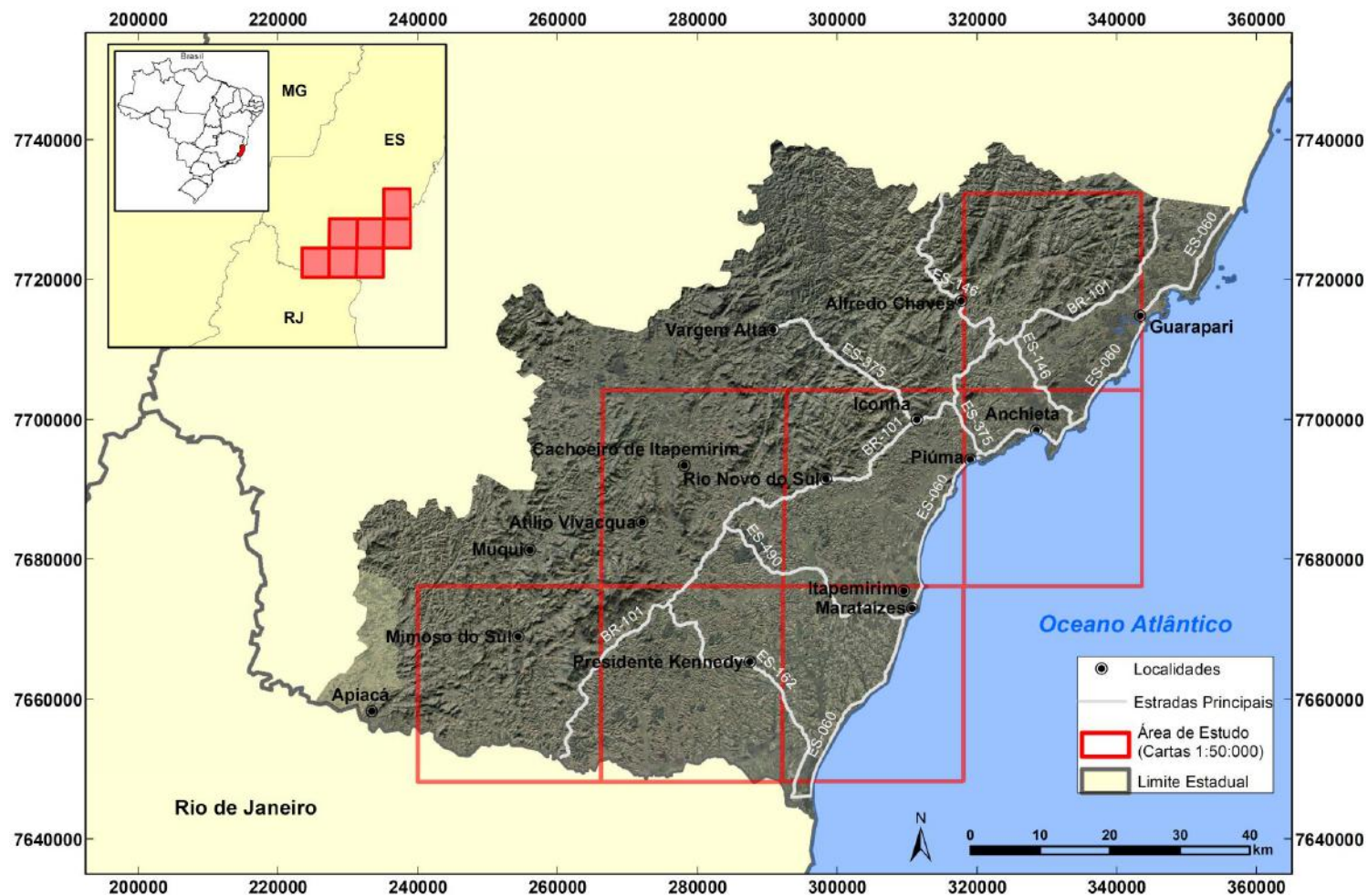


Figura 3.2 – Principais vias de acesso à área de estudo sobre mosaico de ortofotos (IEMA) e o *hillshade* (direção 315°) obtido a partir do modelo digital de elevação do IEMA. Estão representados também os limites das cartas topográficas (1:50.000 IBGE) que abrangem a área de estudo. As vias de acesso foram obtidas através de interpretação das ortofotos.

3.2.GEOLOGIA REGIONAL

Como bases geológicas para descrever a área estudada foram utilizados os trabalhos de Heilbron *et al.* (2004) e Vieira & Menezes (2015). Esses estudos foram utilizados com a finalidade de caracterizar a distribuição dos depósitos sedimentares cenozoicos na área de estudo e os domínios adjacentes.

No contexto geotectônico, a área encontra-se na porção central da Província Mantiqueira, inserida na Faixa Móvel Ribeira, onde predomina um *trend* estrutural de orientação NE-SW.

A área do estudo encontra-se, também, na região emersa adjacente à bacia de Campos, relacionando-se com a evolução da margem continental brasileira durante o Mesozoico-Cenozoico.

Conforme ressaltado por Moraes (2007), a geologia do estado do Espírito Santo pode ser subdividida em dois domínios principais: (1) rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas, que ocupam a região central e oeste do estado, ocorrendo na região litorânea a sul de Vitória (ES); e (2) unidades sedimentares cenozoicas, representadas pelos depósitos da Formação Barreiras e sedimentos marinhos e continentais quaternários.

3.2.1. Complexos paragnáissicos e suítes intrusivas

O embasamento da área de estudo é composto, de forma resumida, por complexos paragnáissicos e suítes intrusivas neoproterozoicos a eopaleozoicos (Figura 3.3), inseridos no domínio interno da Faixa Ribeira.

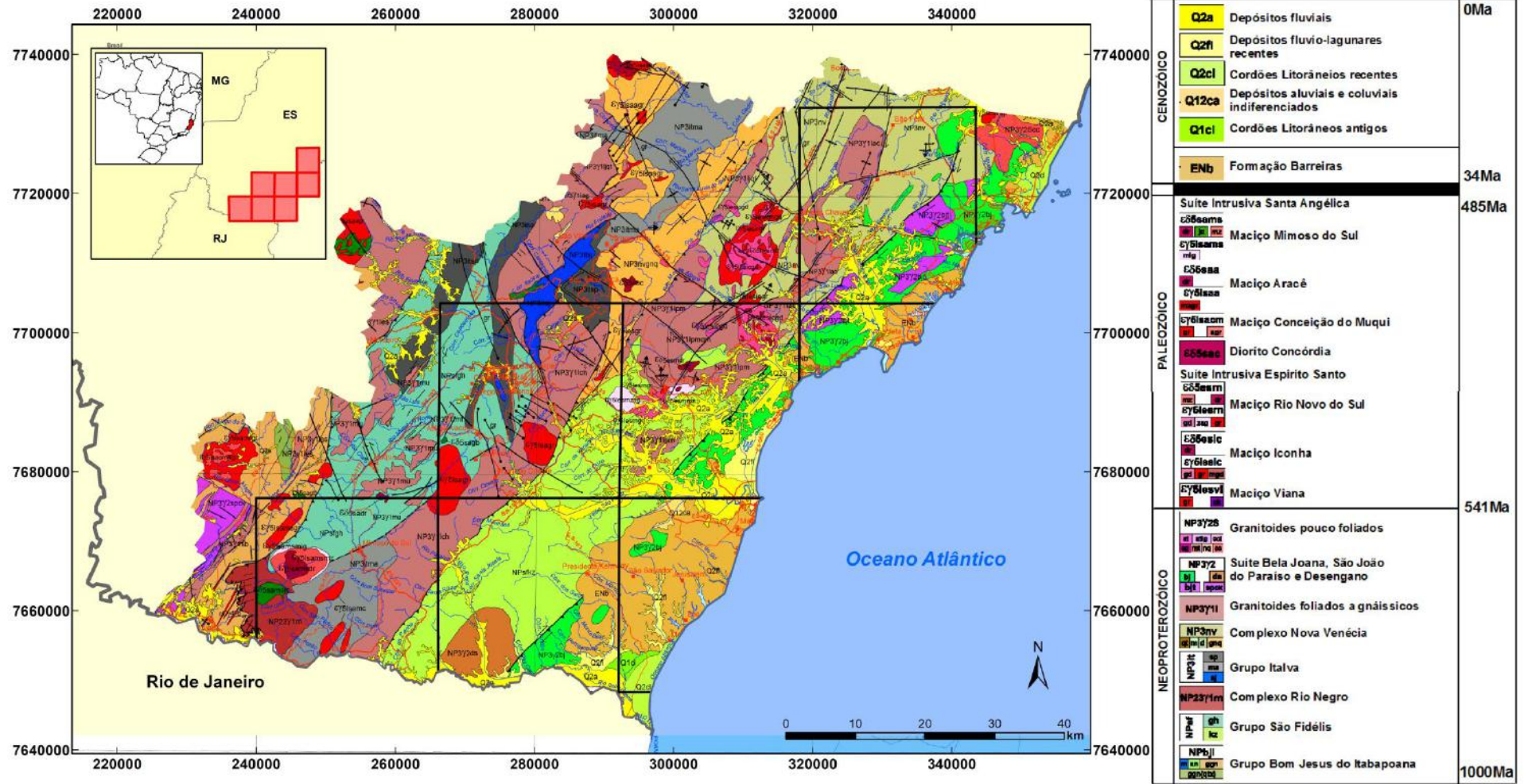


Figura 3.3 – Mapa geológico do estado do Espírito Santo (Vieira & Menezes, 2015), adaptado para a área de estudo. Estão representados também os limites das cartas topográficas (1:50.000 IBGE) que abrangem a área de estudo.

3.2.1.1. Terrenos Proterozoicos

3.2.1.1.1. Terrenos pré-orogênicos

Na área de estudo, a fase anterior à orogenia que formou a Província Mantiqueira é representada pelas unidades paragnáissicas dos grupos Bom Jesus do Itabapoana, São Fidélis e Italva, e dos complexos Rio Negro e Nova Venécia (Vieira & Menezes, 2015).

O Grupo Bom Jesus do Itabapoana, de idade toniana, é composto por complexos gnáissicos com associações de granada-biotita e anfibólio-biotita, além de anfibolito, mármore com olivina-diopsídio e quartzitos associados a quartzo-mica xisto.

O Grupo São Fidélis, de idade criogeniana, é representado por rochas gnáissicas com cordierita-silimanita-biotita bandadas, com intercalações de quartzito, rochas calcissilicáticas e anfibolitos. Pode conter também corpos de biotita gnaiss homogêneos.

O Grupo Italva, de idade criogeniana, é composto por sequências metavulcanossedimentares (unidades São Joaquim, Macuco e Serra da Prata). A Unidade São Joaquim compreende mármore calcítico a dolomítico. A Unidade Macuco é formada por anfibolito-biotita gnaiss a biotita gnaiss leucocrático, com intercalação de anfibolito e rochas calcissilicáticas. A Unidade Serra da Prata é composta por corpos de hornblenda-biotita gnaiss.

O Complexo Rio Negro, de idade criogeniana-ediacarana, é constituído por hornblenda-biotita gnaiss migmatítico, tonalítico a granítico.

O Complexo Nova Venécia, de idade ediacarana, é constituído por gnaisses bandados de associação silimanita-granada-cordierita-biotita, com intercalações de calcissilicáticas, podendo conter diatexitos, migmatitos, gnaisses quartzosos e quartzitos.

3.2.1.1.2. Terrenos pré- a sin-orogênicos

O período transicional entre as fases pré- a sintectônica, de idade ediacarana, é marcado por corpos granitoides foliados a gnáissicos predominantemente metaluminosos, calcialcalinos, tipo I. Na área de estudo, os corpos representativos desse evento são os ortognaisses Cachoeiro e Estrela, os tonalitos Alto Guandu, Jequitibá e Palmital, e o Granitoide Alfredo Chaves (Vieira & Menezes, 2015).

3.2.1.1.3. Terrenos sin- a tardi-orogênicos

Na fase transicional entre a fase sin- a tarditectônica, de idade ediacarana, formam-se suítes intrusivas e granitoides pouco foliados. Esses corpos intrusivos são representados pelas suítes Bela Joana, Desengano e São João do Paraíso (Vieira & Menezes, 2015).

Os corpos das suítes Bela Joana e São João do Paraíso são charnockitos. A Suíte Bela Joana tem composição de granada-hornblenda-ortopiroxênio-clinopiroxênio, com enclaves de granada-silimanita gnaiss. A Suíte São João do Paraíso apresenta variações de charnockitos a leucogranitos, com enclaves de granada gnaiss, rochas máficas e calcissilicáticas.

A Suíte Desengano é composta por granada-biotita ortognaisse porfirítico a inequigranular, com enclaves de anfibolito e rochas calcissilicáticas.

3.2.1.2. Terrenos Paleozoicos

O estágio posterior ao tectonismo da Província Mantiqueira, de idade cambriana, é composto pelas suítes intrusivas Espírito Santo e Santa Angélica (Vieira & Menezes, 2015).

A Suíte Intrusiva Espírito Santo pode ser diferenciada nos maciços Viana (granitos e charnockitos), Rio Novo do Sul (granodioritos, granitos, monzonitos e dioritos) e Iconha (granodiorito, quartzomonzonito, granito, microgranodiorito, diorito e monzonito).

A Suíte Intrusiva Santa Angélica é representada pelos maciços Conceição do Muqui (granito), Mimoso do Sul (monzonito, diorito, gabro, migmatito e granito), Aracê (monzogranito e diorito) e pelo Diorito Concórdia.

3.2.2. Evolução Mesozoica-Cenozoica

A geologia da área de estudo no que se refere ao Mesozoico-Cenozoico está relacionada com a evolução da bacia de Campos, na região oceânica, formada a partir do rompimento do paleocontinente Gondwana durante a abertura do Atlântico Sul.

De acordo com Winter *et al.* (2007) As sequências identificadas nas bacias da margem continental brasileira são divididas em três fases: *Rift*, *Pós-rift* e *Drift*. A Fase *Rift* durou do Neocomiano ao Aptiano final e é marcada por uma sedimentação continental predominantemente lacustre, com alguns leques aluviais e fluviais instalados nas bordas do *rift*, além de apresentar vulcanismo associado ao afinamento crustal. A Fase *Pós-rift* é marcada por ambientes lacustres a transicionais entre continental e marinho. A Fase *Drift* é o momento de deriva continental, com o predomínio de sedimentação marinha.

A Formação Barreiras ocorre no contexto da Fase *Drift* na porção proximal da bacia, apresentando idade miocênica a pliocênica (Figura 3.4).

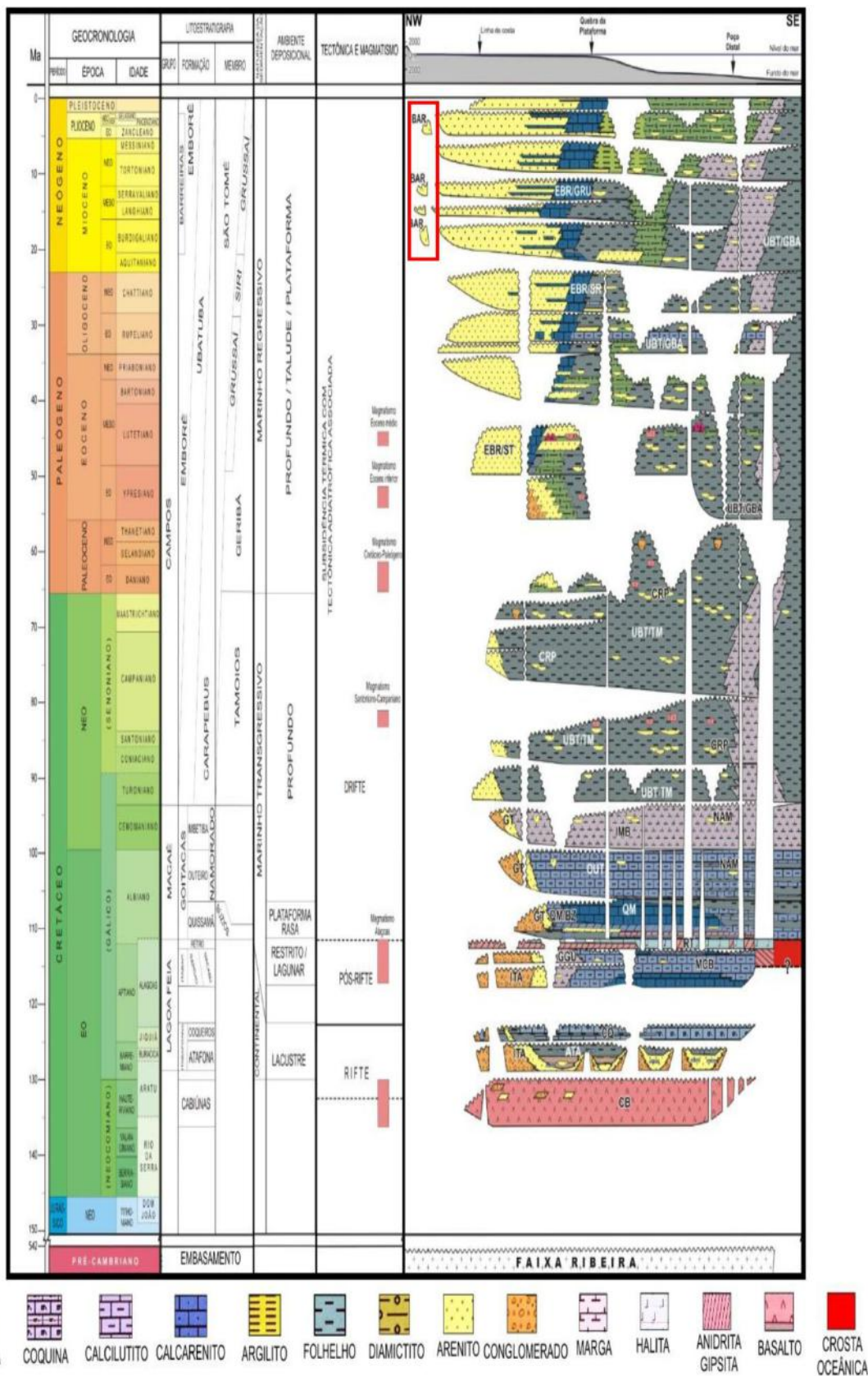


Figura 3.4 – Coluna estratigráfica da Bacia de Campos (Winter *et al.*, 2007). Destaque para o registro da Formação Barreiras (Neógeno) na área emersa da bacia.

3.2.2.1 Formação Barreiras

O principal registro sedimentar cenozoico na área de estudo é representado pelos depósitos da Formação Barreiras. Esta unidade é um marco estratigráfico para estudos sobre a evolução da margem continental brasileira no Cenozoico. A idade admitida como mais confiável para a Formação Barreiras é Mioceno inicial a médio, com base em estudos palinológicos (Arai, 2006) e através de datação por (U-Th)/He em grãos de goethita e crostas goethíticas (Lima, 2008).

Conforme sintetizado por Morais (2007), os trabalhos sobre a Formação Barreiras apontam, em sua maioria, para um ambiente deposicional continental, embora estudos realizados na região norte e nordeste do Brasil indiquem também um ambiente marinho litorâneo. Esta diferença na sedimentação pode estar relacionada a controles estratigráficos e tectônicos distintos nas diferentes regiões do país, assim como o registro de sedimentação litorânea pode ter sido destruído pela erosão que gerou as falésias típicas do litoral das regiões nordeste e sudeste (Morais, 2007).

Estudos anteriores sobre a Formação Barreiras no estado do Espírito Santo foram realizados por Amador & Dias (1978), Amador (1982), Tamara (1995), Morais (2007), Ribeiro (2010), Vieira & Menezes (2015) e Alves (2016). Dentre os trabalhos mencionados, apenas Ribeiro (2010) e Vieira & Menezes (2015) apresentam como resultado propostas de mapeamento e delimitação para a Formação Barreiras (Figuras 3.5 e 3.6), nas escalas 1:250.000 e 1:400.000, respectivamente. A sobreposição destas bases (Figura 3.7) mostra diferenças nas delimitações da Formação Barreiras, que podem ser explicadas pelos diferentes métodos e escalas utilizados, em função, especialmente, das diferentes percepções no grau de incisão das drenagens.

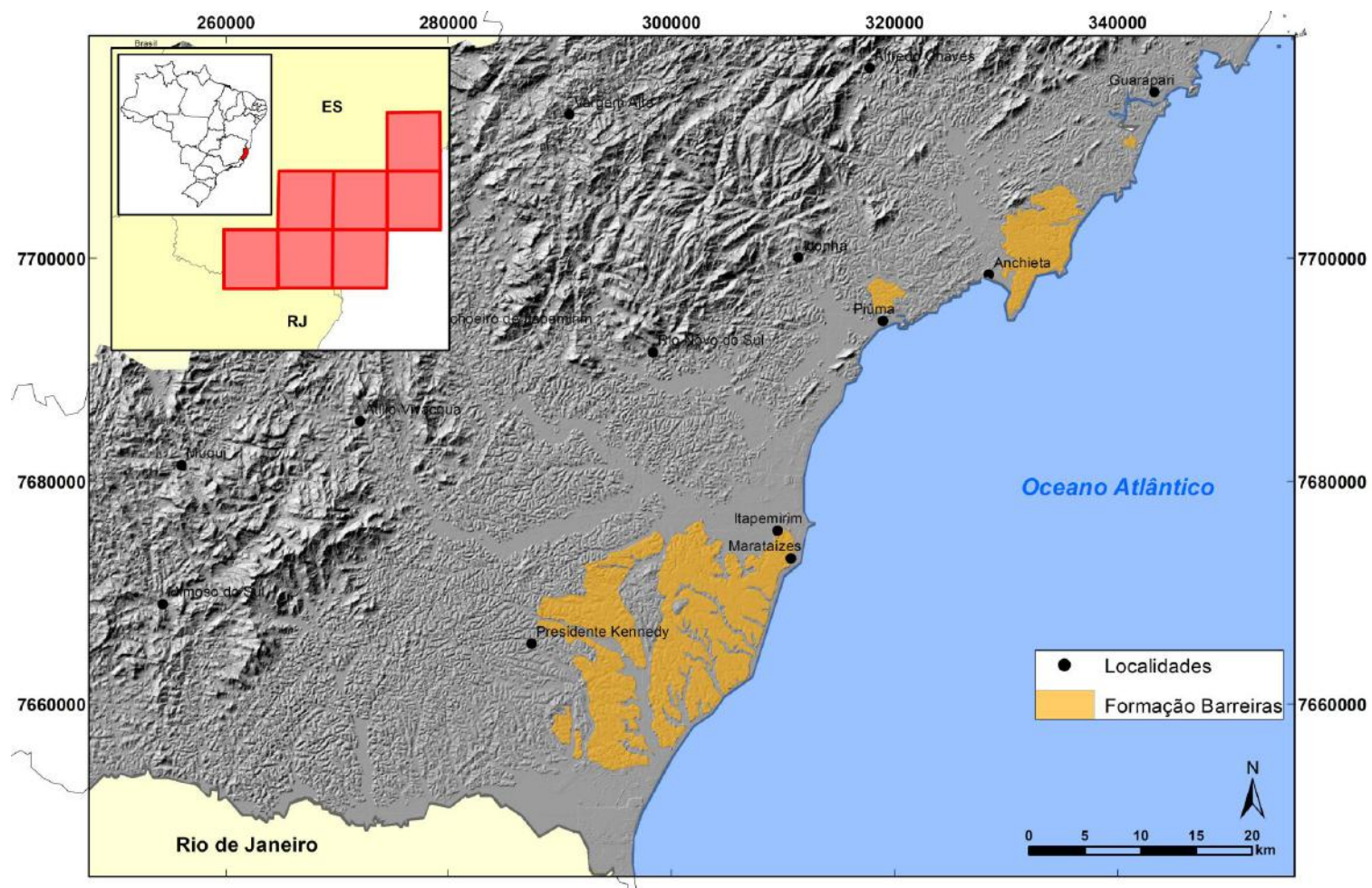


Figura 3.5 - Distribuição da Formação Barreiras na região sul do Espírito Santo segundo Ribeiro (2010), adaptado para a área de estudo sobre o *hillshade* (direção 315°) gerado a partir do modelo digital de elevação do IEMA.

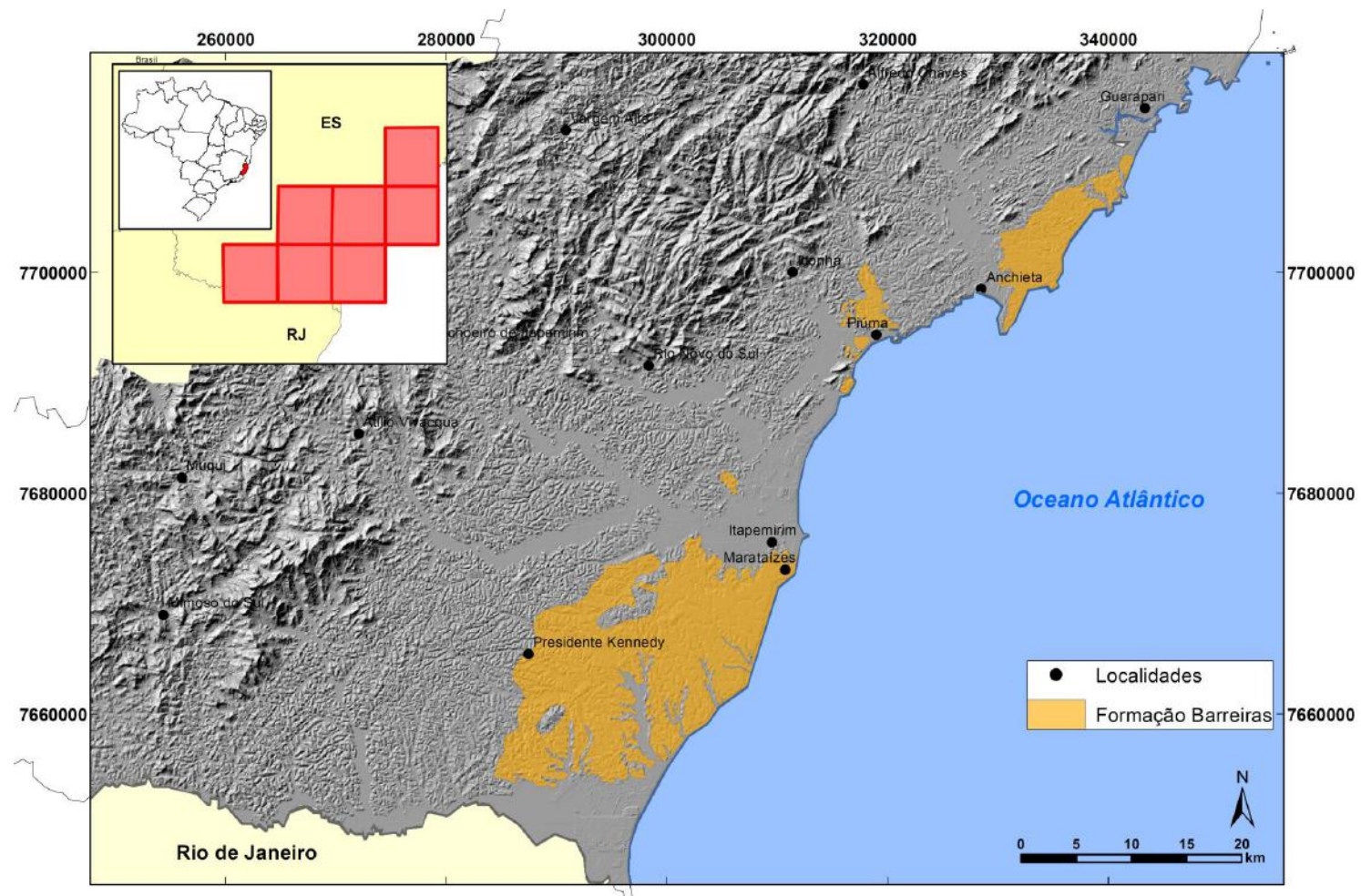


Figura 3.6 - Distribuição da Formação Barreiras na região sul do Espírito Santo segundo Vieira & Menezes (2015), adaptado para a área de estudo sobre o *hillshade* (direção 315°) gerado a partir do modelo digital de elevação do IEMA.

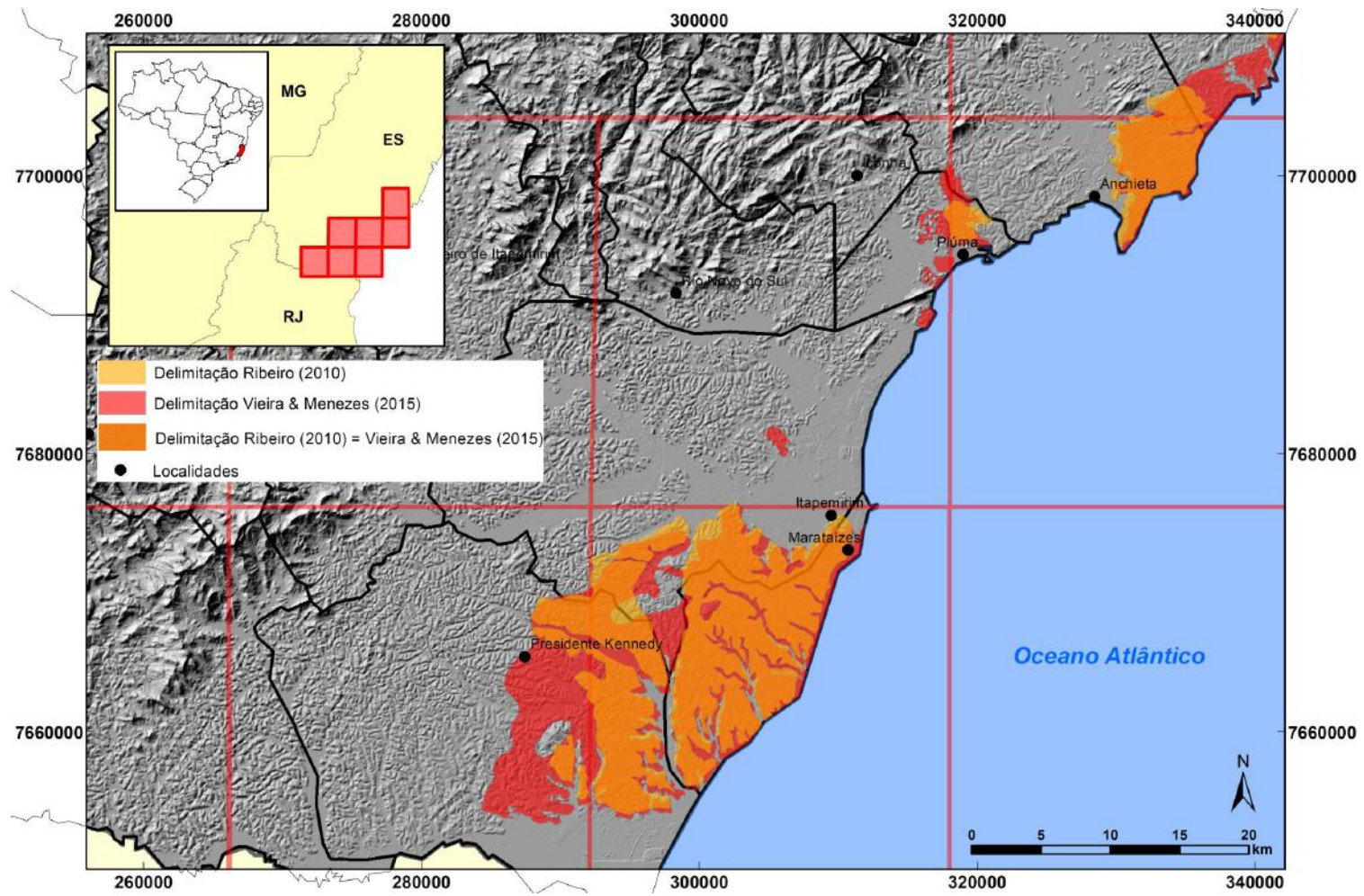


Figura 3.7 – Comparação entre os mapeamentos realizados por Ribeiro (2010) e Vieira & Menezes (2015) na área de estudo, sobre o *hillshade* (direção 315°) gerado a partir do modelo digital de elevação do IEMA.

A caracterização faciológica e interpretação paleoambiental da Formação Barreiras na área do presente estudo foi realizada em trabalhos anteriores por Morais (2007) e Alves (2016).

Morais (2007), que estudou a unidade em toda a costa do estado do Espírito Santo, interpretou a Formação Barreiras como relacionada a sistemas deposicionais fluviais. As diferentes associações de fácies identificadas pela autora indicam processos deposicionais atuantes em ambiente fluvial arenoso, com variações dentro do modelo em termos da maior ou menor participação de cascalhos e de finos de planície de inundação. Segundo a autora, na região sul do Espírito Santo predomina uma associação de fácies essencialmente composta por intervalos areníticos relativamente tabulares, eventualmente conglomeráticos, com pequena participação de fácies lutíticas, embora localmente bem desenvolvidas. Predominam depósitos maciços ou muito bioturbados, relacionados a modificações pós-deposicionais. A identificação restrita de feições de acreção lateral e a não identificação de formas de canais preenchidas por sedimentos finos levou à interpretação de um modelo deposicional fluvial entre o típico entrelaçado e o típico meandrante. Comparando com os modelos de Miall (1996), o mais próximo seria o modelo *wandering gravel-bed river* e de rios entrelaçados arenosos de alta energia.

Os estudos realizados por Alves (2016) abrangeram a área entre Presidente Kennedy (ES) e Maratáizes (ES), associando os depósitos da Formação Barreiras a uma interação de sistemas deposicionais fluvial entrelaçado e de leques aluviais. A autora também destacou a atuação de processos pós-deposicionais (bioturbação e ferruginização).

3.2.2.2 Sedimentação Quaternária

Com base no mapa geológico elaborado por Vieira & Menezes (2015) – Figura 3.3, há diferentes tipos de depósitos quaternários na área de estudo, podendo ser divididos nos seguintes grupos:

- depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes (Q2a) – sedimentos fluviais de constituídos de areia e cascalho;
- depósitos fluvio-lagunares recentes (Q2fl) – sedimentos areno-argilosos ricos em matéria orgânica, podendo frequentemente conter grande quantidade de conchas de moluscos de ambientes lagunares;
- depósitos aluviais e coluviais indiferenciados (Q12ca) – sedimentos argilo-arenosos encontrados nos vales, frequentemente acima do limite atingido pela penúltima transgressão;
- cordões litorâneos recentes (Q2cl) – sedimentos arenosos e argilo-arenosos costeiros;
- cordões litorâneos antigos (Q1cl) – sedimentos arenosos e argilo-arenosos costeiros.

3.2.2.3 Neotectônica

Estudos sobre a neotectônica no Sudeste do Brasil têm sido realizados por diversos autores, em várias áreas da região, enfatizando o levantamento e análise de estruturas tectônicas rúpteis (juntas e falhas) que afetam as sucessões cenozoicas, com a definição de eventos tectônicos responsáveis pela deformação de cada área estudada. Hasui (1990) e Saadi (1993) destacam a reativação de estruturas preexistentes como aspecto fundamental para o entendimento das manifestações neotectônicas (Bricalli, 2011).

Riccomini (1989), Salvador & Riccomini (1995) e Riccomini *et al.* (2004) definiram uma sequência de fases tectônicas responsáveis pela formação e deformação do *Rift Continental* do Sudeste do Brasil (RCSB) – Figura 3.8:

- distensão NNW-SSE (Eoceno-Oligoceno / 1ª Fase Tectônica);
- transcorrência sinistral E-W, com compressão NE-SW (Oligoceno-Neógeno / 2ª Fase Tectônica);
- transcorrência dextral E-W, com compressão NW-SE (Pleistoceno-Holoceno / 3ª Fase Tectônica);
- distensão NW-SE / WNW-ESE (Holoceno / 4ª Fase Tectônica);
- compressão E-W (atual / 5ª Fase Tectônica).

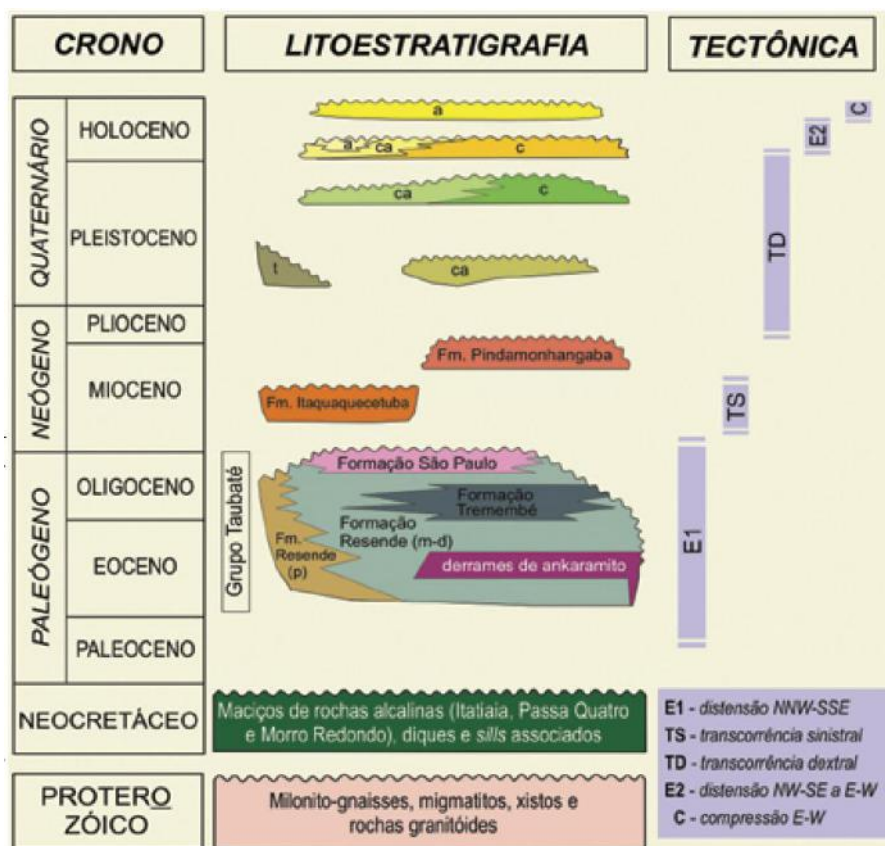


Figura 3.8 – Coluna estratigráfica e eventos tectônicos cenozoicos no segmento central do *Rift Continental* do Sudeste do Brasil (RCSB), segundo Riccomini *et al.* (2004). p – depósitos proximais (leques aluviais); m-d – depósitos medianos a distais (leques aluviais medianos a distais associados a planície aluvial de rios entrelaçados); t – depósito de tálus; ca – depósitos colúvio-aluviais; a – depósitos aluviais.

Os primeiros estudos sobre neotectônica no estado do Espírito Santo foram realizados por Gallardo *et al.* (1987) na região norte do estado, com base em aspectos geomorfológicos e análise de dados estruturais, indicando esforços compressivos de direção ENE-WSW e distensivos de direção NNW-SSE.

Os estudos que se seguiram (Hatushika *et al.*, 2005; Mello *et al.*, 2005; Rodrigues, 2005; Miranda, 2007; Ribeiro, 2010; e Bricalli, 2011) documentaram a ocorrência de três eventos neotectônicos: i) transcorrência sinistral E-W, de idade neogênica; ii) transcorrência dextral E-W, de idade pleistocênica a holocênica; e iii) distensão NW-SE, de idade holocênica. Por associação, estes eventos foram associados às fases 2, 3 e 4 descritas por Riccomini *et al.* (2004).

Ribeiro (2010) discutiu a influência da tectônica pós-deposicional na distribuição da Formação Barreiras entre os rios Paraíba do Sul (RJ) e Doce (ES), documentando que estruturas NW-SE controlam o escalonamento em blocos dos tabuleiros costeiros – Figura 3.9. A autora identificou, ainda, que essas estruturas limitam diferentes compartimentos topográficos ao longo da costa, com maior ou menor ocorrência dos depósitos da Formação Barreiras, concluindo que a distribuição irregular da Formação Barreiras na área emersa das bacias de Campos e do Espírito Santo pode ser atribuída à atuação do evento de transcorrência dextral E-W, de idade Pleistoceno a Holoceno.

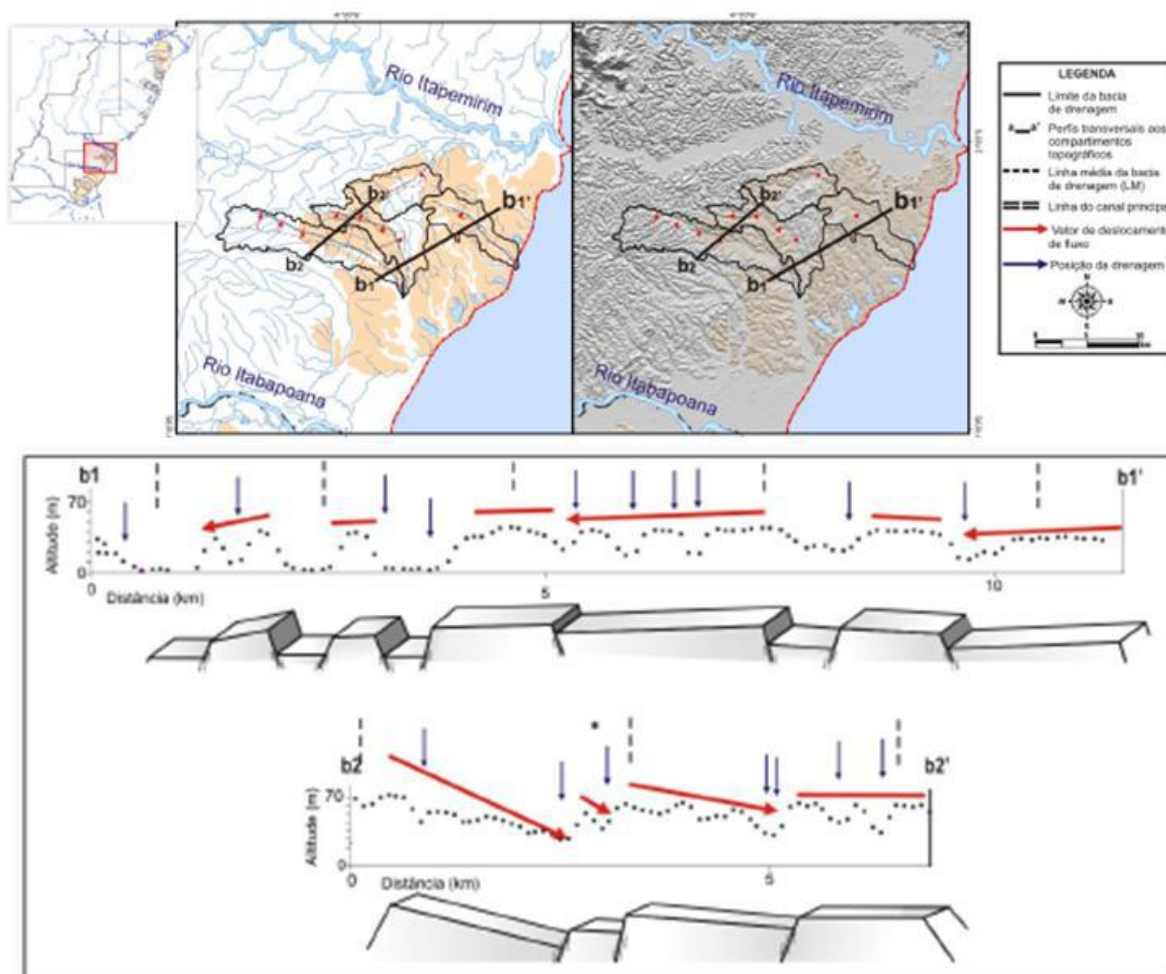


Figura 3.9 – Perfis topográficos elaborados por Ribeiro (2010) na área de estudo. Foram identificados blocos que sofreram rebaixamento e soerguimento formando padrões de grábens e horstes. Essa geometria indica um controle estrutural na distribuição e comportamento dos blocos, controlados principalmente pela ocorrência de falhas normais.

3.3 GEOMORFOLOGIA

De acordo com o trabalho de Silva & Machado (2014), na área de estudo são distinguíveis nove unidades geomorfológicas: Domínio Montanhoso; Domínio de Morros e Serras Baixas; Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos; Domínio de Colinas Amplas e Suaves; Tabuleiros Dissecados; Tabuleiros; Planícies Flúvio-marinhas; Planícies Fluviais ou Flúvio-lacustres; e Planícies Marinhas – Figura 3.10.

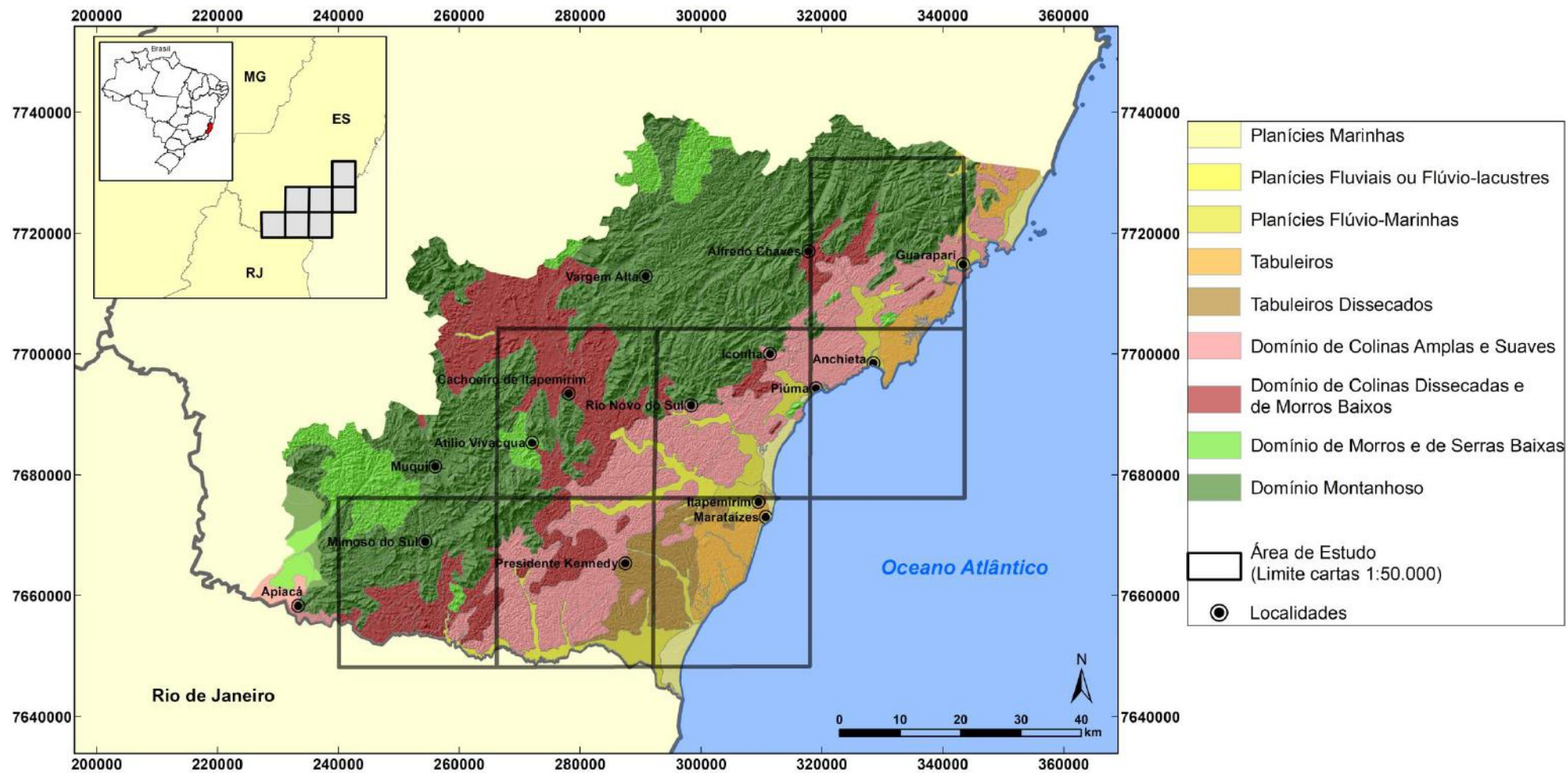


Figura 3.10 – Mapa de unidades geomorfológicas da área de estudo, tendo como base o mapa de geodiversidade elaborado por Silva & Machado (2014).

Os terrenos mencionados podem ser associados a dois domínios geológicos distintos: Embasamento, a que estão relacionados os domínios Montanhoso, de Morros e Serras Baixas, de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos, de Colinas Amplas e Suaves; e Terrenos Cenozoicos, a que estão relacionados os domínios de Tabuleiros Dissecados, Tabuleiros, Planícies Flúvio-marinhas, Planícies Fluviais ou Flúvio-lacustres e Planícies Marinhas. Os domínios dos Tabuleiros e Tabuleiros Dissecados são associados à Formação Barreiras, os demais são representativos de sedimentos quaternários.

3.3.1 Caracterização dos Terrenos Geomorfológicos

A descrição dos domínios geomorfológicos, a seguir, está baseada em Silva & Machado (2014).

- Domínio Montanhoso (R4c) - corresponde a alinhamentos serranos, maciços montanhosos, *fronts* de cuevas e *hogbacks*. São formas muito acidentadas, com vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas, e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Exibem sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Apresentam amplitude de relevo acima de 300 metros, podendo exibir, localmente, desnivelamentos inferiores a essa medida. As inclinações de vertentes variam entre 25° e 45°, com possível ocorrência de paredões rochosos subverticais (60-90°). Nesse padrão de relevo há franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos em terrenos muito acidentados), além da atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Pode haver geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.

- Domínio de Morros e Serras Baixas (R4b) - corresponde a morros convexo-côncavos dissecados, com topos arredondados ou aguçados. Também se inserem nessa unidade morros de topo tabular (característico das chapadas intensamente dissecadas) e de topos planos. Esse

padrão de relevo apresenta sistema de drenagem principal com planícies aluviais restritas. Exibe amplitude de relevo que varia de 80 a 200 metros e inclinação das vertentes entre 15° e 35°. Nesse padrão de relevo há predomínio de processos de morfogênese (formação de solos pouco espessos em terrenos declivosos), além da atuação frequente de processos de erosão laminar e linear acelerada (sulcos e ravinas), com ocorrência esporádica de processos de movimentos de massa. Pode ocorrer geração de colúvios e, subordinadamente, depósitos de tálus nas baixas vertentes.

- Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos (R4a2) - constitui-se de colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados ou aguçados. O sistema de drenagem principal apresenta deposição de planícies aluviais restritas ou em vales fechados. Exibe amplitude de relevo que varia de 30 a 80 metros e inclinação de vertentes de 5° a 20°. Há equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese (formação de solos espessos e bem drenados), com atuação frequente de processos de erosão laminar e ocorrência esporádica de processos de erosão linear acelerada (sulcos, ravinas e voçorocas). Pode ocorrer geração de rampas de colúvios nas baixas vertentes.

- Domínio de Colinas Amplas e Suaves (R4a1) - constitui-se de formas pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos amplos, de morfologia tabular ou alongada. Apresenta sistema de drenagem principal com deposição de planícies aluviais relativamente amplas. Exibe amplitude de relevo entre 20 e 50 metros e inclinação de vertentes entre 3° e 10°. Há predomínio de processos de pedogênese, com ocorrência restrita de processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas). Pode ocorrer geração de rampas de colúvios nas baixas vertentes.

- Tabuleiros Dissecados (R2a2) - este domínio é caracterizado por formas tabulares dissecadas por uma rede de drenagem com alta densidade. Apresenta relevo movimentado de

colinas com topos tabulares ou alongados e vertentes retilíneas e declivosas nos vales encaixados, resultantes da dissecação fluvial recente. A amplitude de relevo varia de 20 a 50 metros, com inclinação de vertentes entre 0 e 3° e topos planos restritos. Assim como as formas de tabuleiros, localmente podem existir vertentes com inclinações superiores, entre 10° e 25°. Nessas formas de relevo há predomínio de processos de pedogênese, sendo a ocorrência de processos de erosão laminar ou linear acelerada (sulcos e ravinas) mais comum.

- Tabuleiros (R2a1) - este domínio é caracterizado por formas suavemente dissecadas. São superfícies extensas, com gradientes suaves, topos planos e alongados, e vertentes retilíneas nos vales encaixados em forma de “U”. Apresenta amplitude de relevo que varia de 20 a 50 metros, com inclinações de vertentes entre 0 e 3° e topos planos. Localmente, podem existir vertentes com inclinações superiores, entre 10° e 25°. Nessas formas de relevo há predomínio de processos pedogenéticos (formação de solos espessos e bem drenados). De forma restrita, podem ocorrer processos de erosão laminar ou linear acelerada (sulcos e ravinas).

- Planícies Flúvio-marinhas (R1d) - constituem uma interface entre os sistemas deposicionais continentais e marinhos. Compreendem superfícies planas muito mal drenadas, prolongadamente inundáveis, com padrão de canais meandrantés, sob influência de refluxo de marés. São compostas por depósitos argilo-arenosos a argilosos, apresentando amplitude de relevo e inclinação das vertentes nulas.

- Planícies Fluviais ou Flúvio-lacustres (R1a) - compreendem planícies de inundação e baixadas inundáveis, caracterizadas por mangues e brejos. Constituem zonas de acumulação atual, sub-horizontais, compostas por depósitos areno-argilosos a argilo-arenosos. Apresentam gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos cursos d'água principais. São terrenos periodicamente inundáveis, mal drenados nas planícies de inundação

e bem drenados nos terraços. Exibem amplitude de relevo nula (zero) e inclinação das vertentes variando entre 0 e 3°.

- Planícies Marinhas (R1e) - são caracterizadas por terraços marinhos e cordões arenosos. São terrenos bem drenados e não inundáveis, correspondendo a superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenosos, de microrrelevo ondulado, gerados por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. Exibem amplitude de relevo de até 20 metros e inclinação das vertentes entre 0 e 5°.

4. METODOLOGIA

O presente trabalho seguiu a estrutura metodológica adotada por Ribeiro (2010) para o mapeamento da Formação Barreiras, utilizando, no entanto, para a interpretação da distribuição da unidade na área investigada, um modelo digital de elevação gerado a partir de uma imagem de alta resolução. Para o tratamento do modelo digital de elevação, a metodologia adotada foi a de Macedo (2014), empregando ferramentas de geoprocessamento do *software ArcGIS 10.2* para melhorar a qualidade da imagem, permitindo melhor visualização do modelo digital de elevação.

O estudo utilizou ortofotos (com *pixels* de 1 metro) e *hillshades* (elaborados a partir do modelo digital de elevação) para realizar a interpretação dos domínios associados às diferentes principais unidades geológicas da área: Embasamento Cristalino, Formação Barreiras e Sedimentos Quaternários.

O trabalho contou com cinco etapas, como destacado na Figura 4.1, sendo iniciado pela aquisição do modelo digital de elevação, seu tratamento e a geração de *hillshades*, que foram interpretados na etapa seguinte. A interpretação dos *hillshades* foi baseada na identificação das formas características relacionáveis à Formação Barreiras (padrão de tabuleiros e colinas com topos planos, e o padrão de entalhamento de drenagens), sendo gerado um mapa preliminar da unidade. Por existirem áreas em que havia dificuldade para a diferenciação de domínios do embasamento com topografia mais suave e as colinas tabulares associadas à Formação Barreiras, quando esta unidade encontra-se mais dissecada, foi realizada uma etapa de checagem de campo, que consistiu na terceira etapa do trabalho. O trabalho de campo contribuiu ainda com a coleta de informações litológicas e medidas estruturais (pares falha/estria afetando os depósitos da Formação Barreiras). Na etapa a seguir, os dados obtidos em campo foram integrados ao mapa preliminar da Formação Barreiras, validando as interpretações prévias e resultando em um mapa final de distribuição da Formação Barreiras.

A última etapa do trabalho consistiu na interpretação do mapa elaborado, destacando a influência da neotectônica no controle deposicional e na compartimentação da Formação Barreiras.

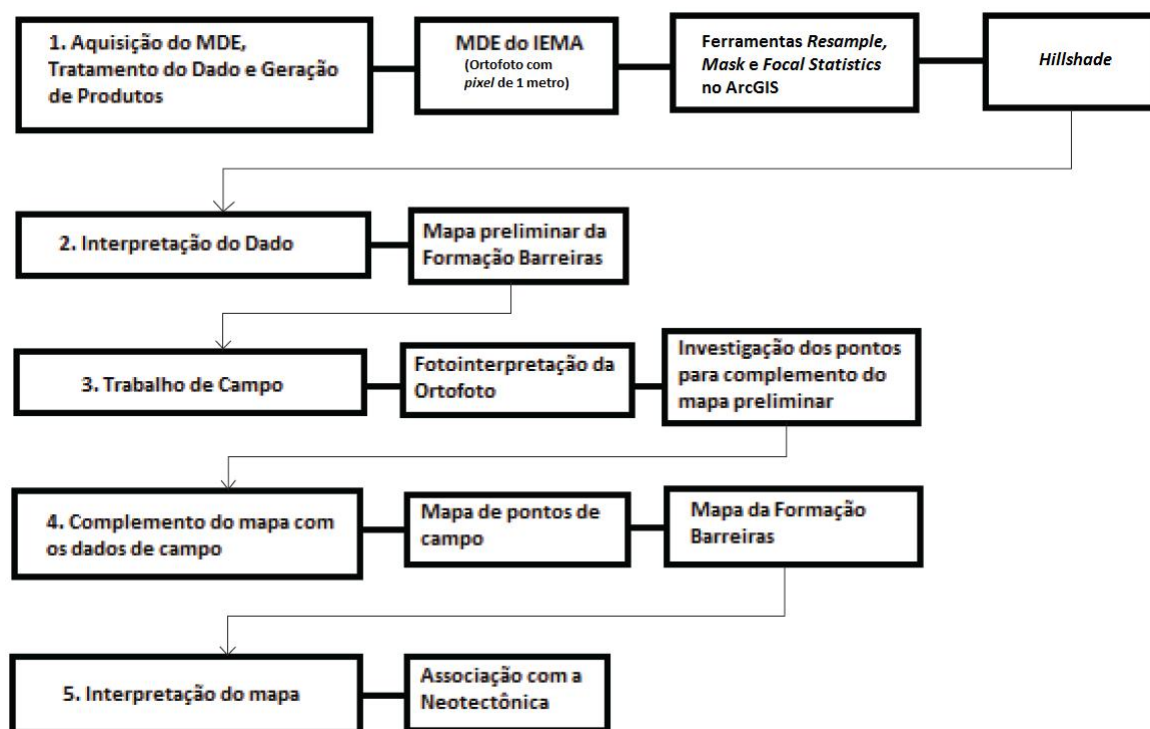


Figura 4.1 – Fluxograma das atividades de trabalho realizadas.

4.1 AQUISIÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO, TRATAMENTO DO DADO E GERAÇÃO DE PRODUTOS

O estudo foi iniciado com a aquisição do modelo digital de elevação de alta resolução, disponibilizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Consiste em um arquivo *raster* elaborada no datum D_Sirgas_2000, sistema de coordenadas SIRGAS 2000, projeção UTM, fuso 24S. Este MDE foi elaborado pelo IEMA (Instituto Estadual de Meio Ambiente do Espírito Santo), a partir de pares fotográficos com *pixels* de 1 metro.

A imagem do modelo digital de elevação fornecido é visualizada com muitas informações desnecessárias (árvores, construções, etc) para o presente estudo, dificultando a sua interpretação, assim como dos produtos gerados a partir dele (Figura

4.2). Sendo assim, foi necessário realizar um tratamento do modelo digital de elevação antes de serem iniciadas as interpretações dos padrões do terreno.

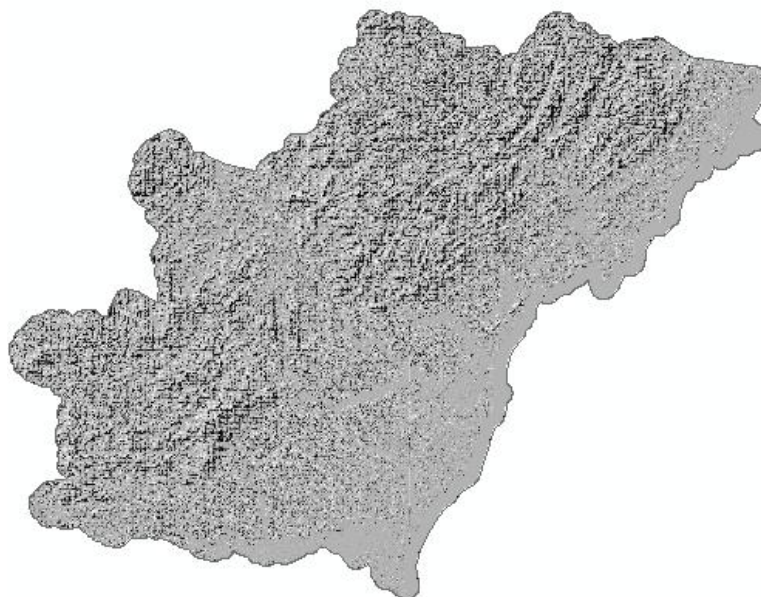


Figura 4.2 - *Hillshade* gerado antes do tratamento do modelo digital de elevação, representando um modelo de difícil interpretação.

Foi realizado um processo de suavização através da execução de filtros no *software ESRI ArcMap 10.2* ®. A aplicação dos filtros é necessária devido à presença de ruídos e erros espúrios no MDE, em decorrência do processamento da imagem (Macedo, 2014), além de elementos desnecessários sob a perspectiva da presente análise. De acordo com Wood (1996), esses elementos provocam erros durante a interpretação das feições. No entanto, apesar da comprovada utilidade dos filtros, esta técnica de suavização deve ser empregada sempre com total adequação aos dados utilizados e aos objetivos do trabalho a ser desenvolvido, uma vez que suavizações sucessivas e prolongadas podem provocar alterações nas características originais das feições e dificultar a sua identificação (Macedo, 2014).

A primeira etapa do tratamento foi executada utilizando a ferramenta *Resample* do *Data Management Tools* no *ESRI ArcMap 10.2* ® (Figura 4.3), com a técnica de reamostragem *NEAREST*, que tem como função remodelar o tamanho do pixel do MDE para uma definição escolhida. No presente trabalho foi feita a remodelagem para *pixels* com 10 metros, a partir de

pixels com 5 metros do dado original. Dessa forma diminuiu-se o detalhe da imagem para melhor visualização do dado.

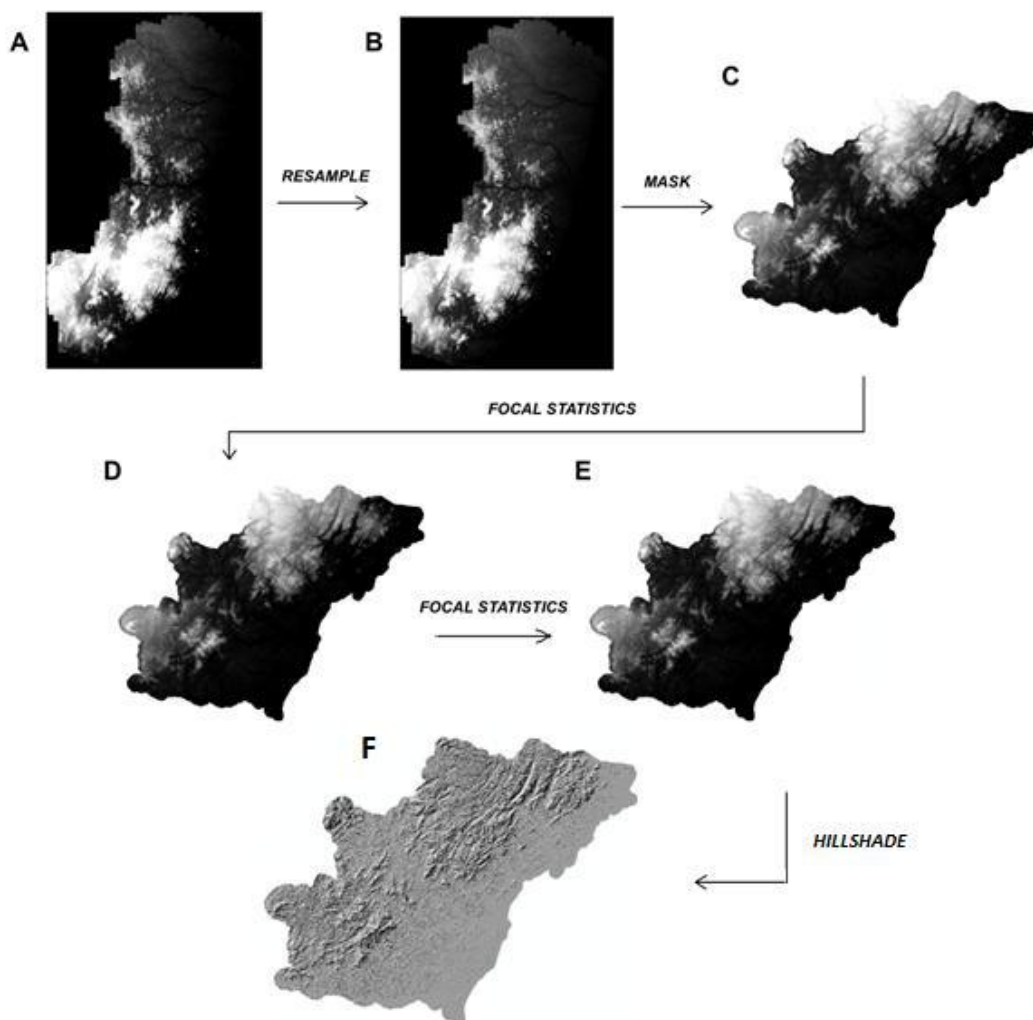


Figura 4.3 – Etapas realizadas no trabalho. Aquisição do modelo digital de elevação, seguido de seu tratamento através do uso das ferramentas *Resample*, *Mask* e *Focal Statistics* do *ESRI ArcMap 10.2*®, e geração do *hillshade* a partir do MDE tratado, utilizando o mesmo *software* para obtenção do efeito de relevo sombreado, permitindo a interpretação de padrões de relevo.

Após reamostrar o tamanho do *pixel* foi necessário restringir o modelo digital de elevação para a área de estudo. Para realizar esta etapa foi utilizada a ferramenta *Mask* do *Spatial Analyst Tools* no *ESRI ArcMap 10.2* ® (Figura 4.3), que permite recortar uma imagem *raster* utilizando o limite de outro dado, *raster* ou vetorial. Nesse caso, foi utilizado o limite dos municípios nas cartas 1:50.000 da área de trabalho, obtido no banco de dados do IBGE, adicionando-se um *buffer* de 2km.

O modelo digital de elevação, agora delimitado para a área de estudo, ainda necessitava de uma suavização na aparência do *pixel*. Utilizando a metodologia de Macedo (2014), foi empregada a ferramenta *Focal Statistics* do *Spatial Analyst Tools* no *ESRI ArcMap 10.2®*, para suavizar os limites dos *pixels* (Figura 4.3). Esta ferramenta executa uma operação de vizinhança, sendo calculado o valor de saída em função de uma determinada janela de entrada selecionada pelo usuário. Para o presente estudo foi escolhida uma janela retangular de dimensão 7x7 células, buscando evitar uma modificação exagerada e que células muito distantes e de valores discrepantes interagissem durante a suavização. Foram aplicadas duas suavizações sucessivas no MDE, obtendo-se um resultado mais coerente para os aspectos morfológicos, quando comparado ao MDE original (Figura 4.4) e ao MDE suavizado apenas uma vez. A escolha de duas etapas de suavização foi feita com base na metodologia utilizada por Macedo (2014) e a partir do teste realizado a cada etapa.

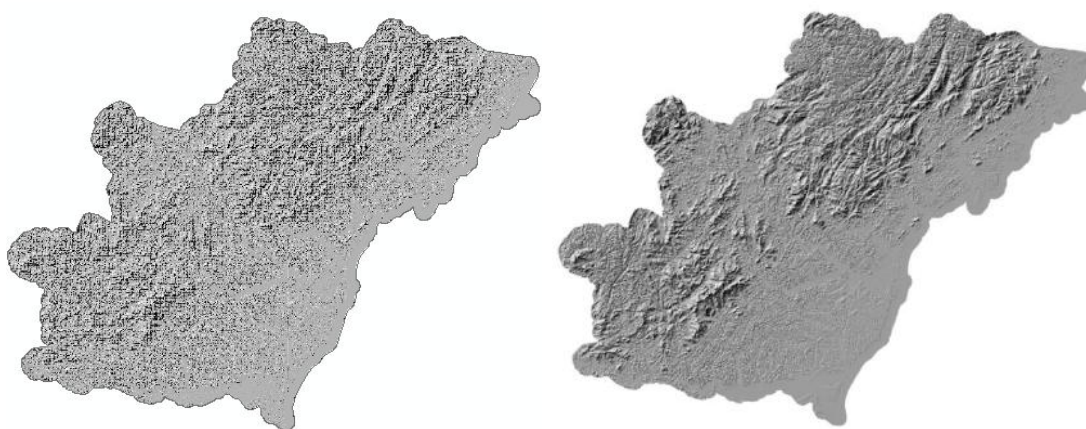


Figura 4.4 – Comparação entre os *hillshades* gerados antes do tratamento do dado (à esquerda) e após o tratamento do dado (à direita).

Para auxiliar na identificação dos padrões de relevo foram gerados dois *hillshades* através do *3D Analyst Tools* no *ESR ArcMap 10.2®*, sem a necessidade de correção do fator Z, com a inserção de uma fonte de luz em uma determinada posição selecionada, causando a sensação de sombreamento sobre o MDE. Essa ferramenta possibilita diferenciar os aspectos morfológicos do terreno. Para o presente estudo foram utilizadas as direções de azimute 45°

(ressaltando elementos de direção NW-SE) e 315° (ressaltando elementos de direção NE-SW) – Figura 4.5. Essa escolha deveu-se por ambos os ângulos formarem 45° com o plano horizontal (90-270°) e estarem orientados na porção norte do globo (a adoção de ângulos entre 90 e 270°, na porção sul do globo, causa o efeito de inversão de terreno). Foi utilizada a altitude 45°, definição padrão do *software*.

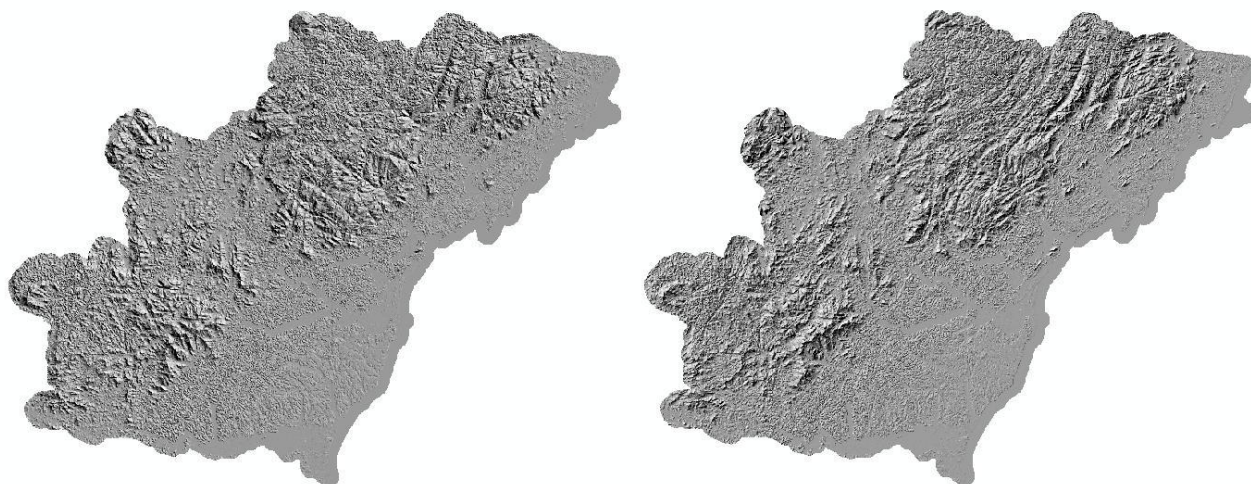


Figura 4.5 *Hillshades* gerados a partir do modelo digital de elevação tratado. Na esquerda, o *hillshade* com altitude 45° e azimute 45°, destacando elementos de direção NW-SE. Na direita, o *hillshade* com altitude 45° e azimute 315°, destacando elementos de direção NE-SW.

4.2 INTERPRETAÇÃO PRELIMINAR DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Após as etapas de tratamento, suavização e produção dos *hillshades*, foi realizado o mapeamento preliminar da Formação Barreiras, a partir das suas características geomorfológicas, associadas a feições de tabuleiros e falésias, com típico relevo de colinas de topo plano, contrastando com as feições topográficas associadas às unidades geológicas Embasamento Cristalino e Sedimentos Quaternários (Figura 4.6). Uma dificuldade importante relacionou-se à distinção com a unidade denominada Colinas Amplas e Suaves, que possui semelhanças geomorfológicas com os domínios da Formação Barreiras. Para auxiliar na interpretação dos *hillshades*, quanto à identificação de padrões de terrenos e de drenagens, foi necessário utilizar também as ortofotos que deram origem ao MDE (*pixels* de 1 metro).

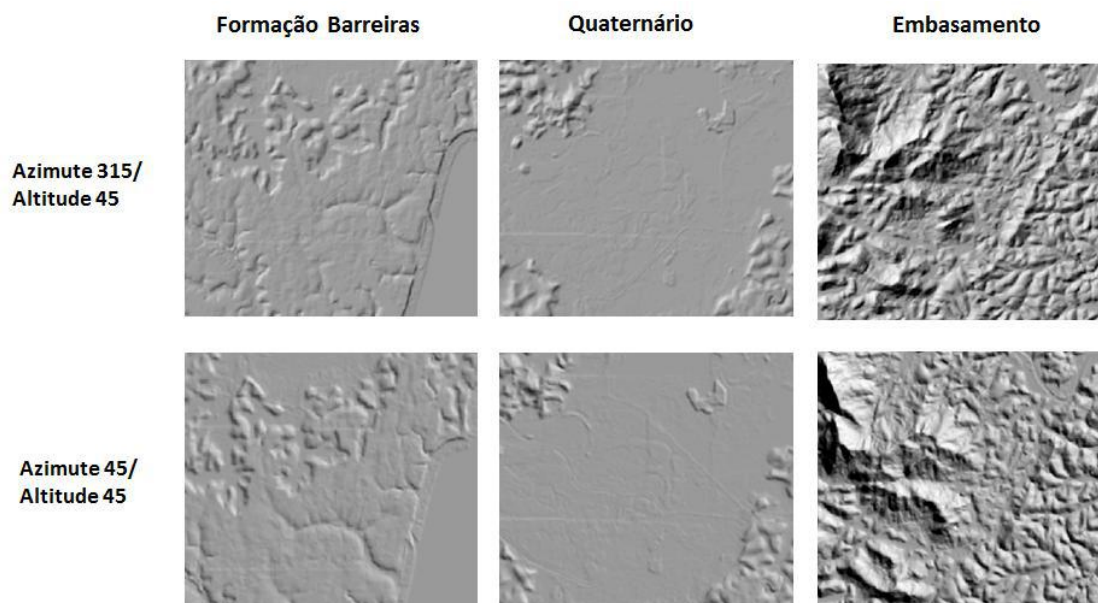


Figura 4.6 – Ilustração dos padrões de relevo associados aos principais domínios geológicos na área de estudo, separados pelos azimutes usados na interpretação dos padrões de terreno. Nos padrões da Formação Barreiras destacam-se os topos planos e contínuos, caracterizando a geometria de tabuleiros característica da unidade, entalhada por drenagens com menor densidade de canais. Os sedimentos quaternários diferem-se das unidades adjacentes pelo padrão plano, contínuo e de baixa altitude. O embasamento exibe dois padrões de relevo distintos: o primeiro é representativo do relevo serrano, com topos agudos e maiores altitudes; o segundo representa o embasamento mais intemperizado, com relevo mais suavizado, que se assemelha ao padrão da Formação Barreiras, podendo ser diferenciado pelo padrão mais dissecado, com maior rugosidade.

Através do reconhecimento visual dos elementos morfológicos que compõem cada domínio geológico principal, foram delimitados os limites da Formação Barreiras sobre os *hillshades*, no programa *ESRI ArcMap 10.2®*. Para as áreas em cuja interpretação havia dúvidas, foi necessária a realização de campanha de checagem de campo.

4.3 TRABALHO DE CAMPO

Após a realização do mapa preliminar da Formação Barreiras, foi necessário realizar sua validação através de investigação de campo. O objetivo durante a realização da checagem de campo foi confirmar os padrões interpretados para cada unidade, permitindo validar o mapeamento realizado e checar as áreas que apresentavam dificuldade de interpretação somente pelos produtos do modelo digital de elevação.

O trabalho de campo foi precedido por uma etapa de fotointerpretação, para a identificação e seleção prévia de possíveis afloramentos. Essa etapa foi realizada com o uso das ortofotos originais do IEMA e de imagens do *software Google Earth®*. Buscou-se identificar regiões com boa exposição de afloramentos, como as localizadas em cortes de rodovias, cavas e exposições naturais, permitindo a identificação litológica (Figura 4.7). Nessa etapa, foram identificados 325 possíveis afloramentos, que foram analisados e selecionados de acordo com o trajeto de campo.



Figura 4.7 – Descrição de afloramentos realizada na atividade de campo.

A atividade de campo durou 4 dias, com extensão entre os municípios de Presidente Kennedy (ES) e Piúma (ES). Durante a atividade tornou-se evidente a necessidade de diferenciar a Formação Barreiras do domínio de Colinas Amplas e Suaves do embasamento. Os elementos utilizados na diferenciação das duas unidades foram: a altura do relevo do embasamento, normalmente maior (cotas acima de 100 metros) que a dos tabuleiros da Formação Barreiras (cotas entre 40 e 60 metros) – Figura 4.8; a composição comumente micácea do embasamento intemperizado; e a presença de características próprias do embasamento, mesmo quando profundamente intemperizado, como veios de quartzo e algum

resquício da foliação. Durante o trabalho de campo também foram coletadas medidas estruturais de pares falha/estria em afloramentos com evidências de deformação tectônica da Formação Barreiras.



Figura 4.8 – Descrição de aspectos geomorfológicos realizada na atividade de campo. Na figura superior é identificado o padrão característico do embasamento aplainado sob a forma de colinas amplas e suaves, contrastando com o relevo do embasamento em domínio serrano, ao fundo. Na figura inferior é representada a morfologia de colinas aplainadas, associada à Formação Barreiras, contrastando com a morfologia do embasamento cristalino associada a morros mais altos.

Como resultado do trabalho de campo foi catalogado um total de 101 pontos visitados, sendo 2 deles contendo medidas estruturais de deformação tectônica da Formação Barreiras. Os pontos possuem informações sobre a localização (coordenadas geográficas), unidades geológicas identificadas, medidas estruturais (quando observadas) e registros fotográficos.

Para os afloramentos onde foram coletadas medidas de estruturas tectônicas afetando a Formação Barreiras foi realizada a interpretação da seção geológica sobre fotomosaicos e a elaboração de estereogramas com o uso do *software Win Tensor*® (Delvaux, 2016).

Para complementar as informações obtidas no trabalho de campo foram incorporados ao estudo dados de ocorrências dos depósitos da Formação Barreiras e medidas estruturais apresentados em estudos anteriores (Morais, 2007; Ribeiro, 2010).

4.4 ELABORAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DO MAPA DA FORMAÇÃO BARREIRAS

A integração dos resultados obtidos nas duas etapas anteriores (elaboração do mapa preliminar e atividade de campo) fundamentou a elaboração do mapa da distribuição da Formação Barreiras na área investigada, na escala 1:25.000. Foram utilizados os padrões de relevo definidos na etapa de interpretação dos *hillshades* e as informações morfológicas e litológicas obtidas nas visitas aos afloramentos na checagem de campo, em especial nas regiões onde havia dúvida, durante as interpretações de escritório, entre tratar-se do embasamento cristalino ou da Formação Barreiras.

A análise deste mapa, integrada às informações litológicas e estruturais obtidas, permitiu a proposição de um modelo acerca da sedimentação e estruturação neotectônica da área.

Para uma melhor caracterização da distribuição das principais unidades geológicas ao longo da área investigada, em especial da Formação Barreiras, e sua relação com os aspectos morfológicos, foram elaboradas duas seções geológicas ortogonais entre si (Figura 4.9).

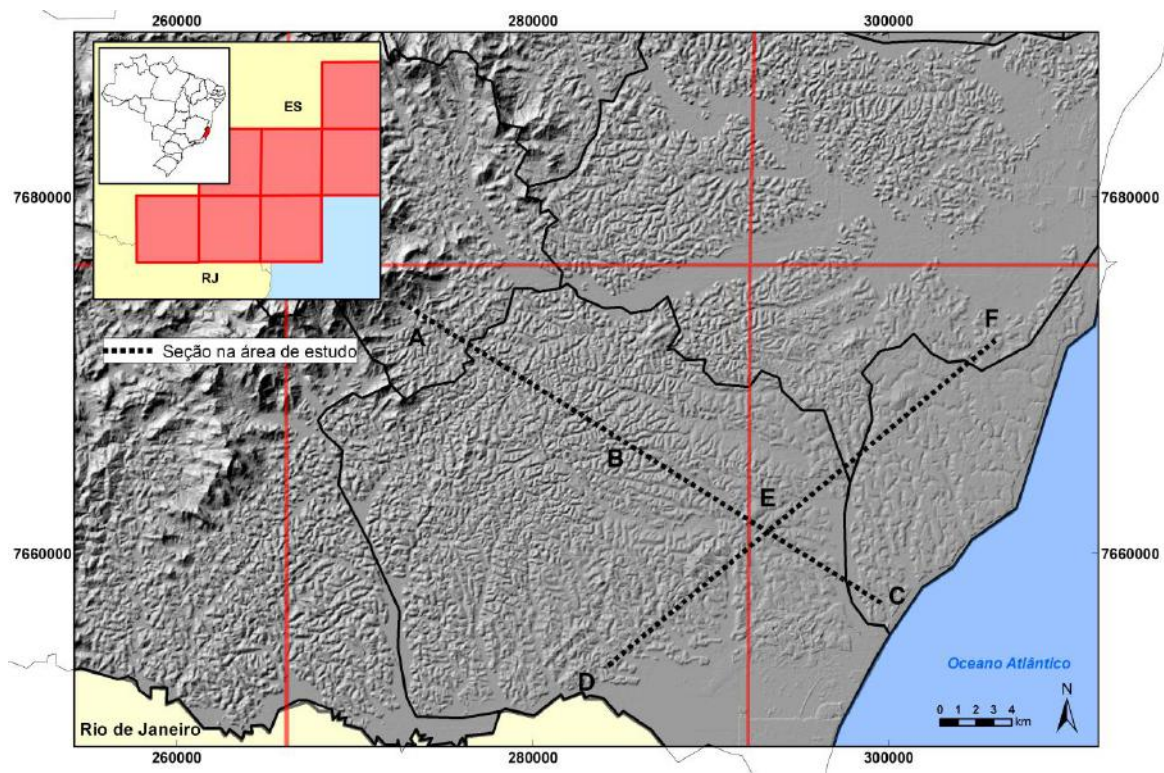


Figura 4.9 – Localização das seções geológicas (ABC e DEF) elaboradas ao longo da área de estudo, sobre o *hillshade* (direção 315°) gerado a partir do modelo digital de elevação do IEMA.

Foi realizado, ainda, um estudo de padrões de lineamentos - elementos topográficos retilíneos, na concepção de Liu (1987) - como forma de identificar as estruturas geológicas em escala regional, a possível influência na distribuição da Formação Barreiras e suas relações com as estruturas neotectônicas descritas. Foram considerados elementos como segmentos de escarpas, alinhamentos de cristas, vales, trechos de rios e lagos, linhas de costa e depressões alongadas. Tais lineamentos foram extraídos com uso do *software ESRI ArcMap 10.2* ®.

5. RESULTADOS

5.1 – MAPA PRELIMINAR DA FORMAÇÃO BARREIRAS

Na etapa de interpretação dos *hillshades* para a confecção do mapa preliminar de distribuição da Formação Barreiras, foram observados os aspectos morfológicos característicos desta unidade, que se destaca das áreas adjacentes pelo relevo suave, com topos planos e entalhamento profundo das drenagens. Quando mais densamente dissecada, a unidade associa-se a um relevo de colinas de topo suavemente convexo a eventualmente aguçado, dificultando a sua diferenciação do embasamento aplainado. Como exemplo na área de estudo (Figura 5.1), a região entre os rios Itabapoana (divisa Rio de Janeiro - Espírito Santo) e Itapemirim apresenta o aspecto característico da Formação Barreiras, enquanto a região a sul do rio Muqui mostra um relevo mais colinoso, sendo difícil a diferenciação da unidade em relação ao embasamento aplainado apenas por aspectos visuais, tornando indispensável a checagem de campo.

As áreas mais dissecadas estão associadas principalmente à maior presença de drenagem com padrão paralelo e subparalelo. Muitas drenagens apresentam forma retilínea contínua, mostrando um controle estrutural e um provável controle neotectônico.

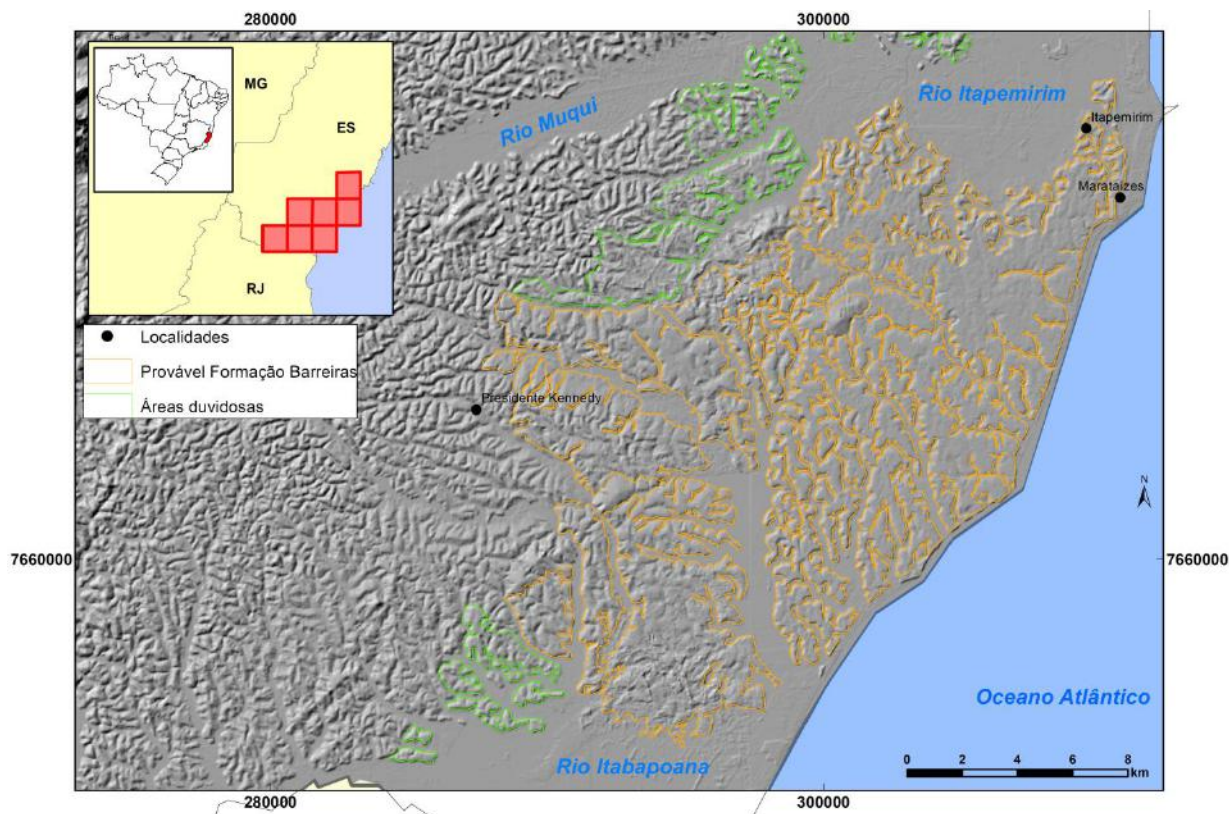


Figura 5.1 – Exemplo ilustrativo da interpretação da distribuição da Formação Barreiras na área de estudo (sobre *hillshade* com azimute 315°). Em laranja, é destacada a região que mostra a característica morfológica principal associada à unidade, como tabuleiros; em verde, estão assinaladas as regiões com relevo colinoso, sendo difícil a distinção do domínio do embasamento aplainado.

A delimitação das áreas que possuem o padrão de morfologia de tabuleiros e das que apresentam topo convexo permitiu a delimitação de um mapa preliminar da Formação Barreiras (Figura 5.2). Neste mapa, foram delimitadas também as áreas em que a caracterização da Formação Barreiras foi considerada duvidosa, considerando os aspectos anteriormente destacados.

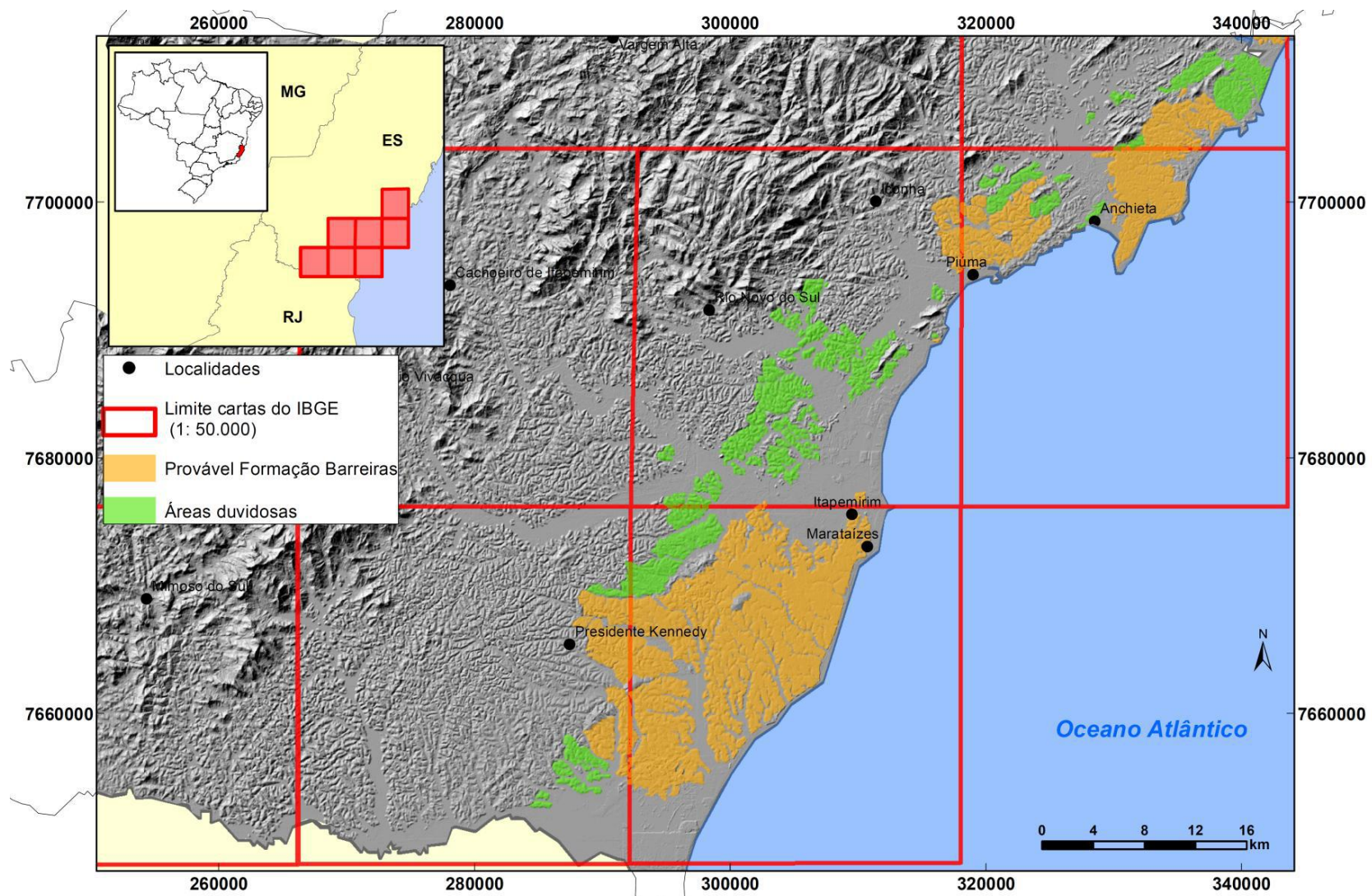


Figura 5.2 – Mapeamento preliminar da Formação Barreiras na área de estudo (sobre o hillshade com azimute 315°)

5.2 – DADOS OBTIDOS EM CAMPO

Como descrito no capítulo de apresentação das etapas metodológicas, os levantamentos realizados em campo foram precedidos pela fotointerpretação de ortofotos da área e de imagens disponíveis no *software Google Earth*®, tendo como resultado a identificação de 325 pontos com possibilidades de afloramentos com boa qualidade para o reconhecimento das unidades geológicas– Figura 5.3.

Durante a atividade de campo, que durou 4 dias (de 13 a 16 de setembro de 2016), foram visitados 101 pontos (Figura 5.4), sendo 35 com registros do embasamento, eventualmente com coberturas sedimentares/pedológicas recentes (Figura 5.5), 22 referentes a ocorrências de embasamento coberto por depósitos da Formação Barreiras (Figura 5.6), e 44 de ocorrência da Formação Barreiras (Figura 5.7). Em dois afloramentos foi possível a coleta de medidas estruturais de pares falha/estria afetando os depósitos da Formação Barreiras. A atividade de campo se restringiu à região entre Presidente Kennedy (ES) e Piúma (ES), sem ter sido possível abranger a porção norte da área de estudo (região de Anchieta e Guarapari).

A fim de complementação dos dados obtidos nos trabalhos pré-campo e de campo, foram utilizados 25 pontos descritos em estudos anteriores que realizaram caracterização estratigráfica e/ou estrutural de afloramentos na área de estudo (Morais, 2007; Ribeiro, 2010).

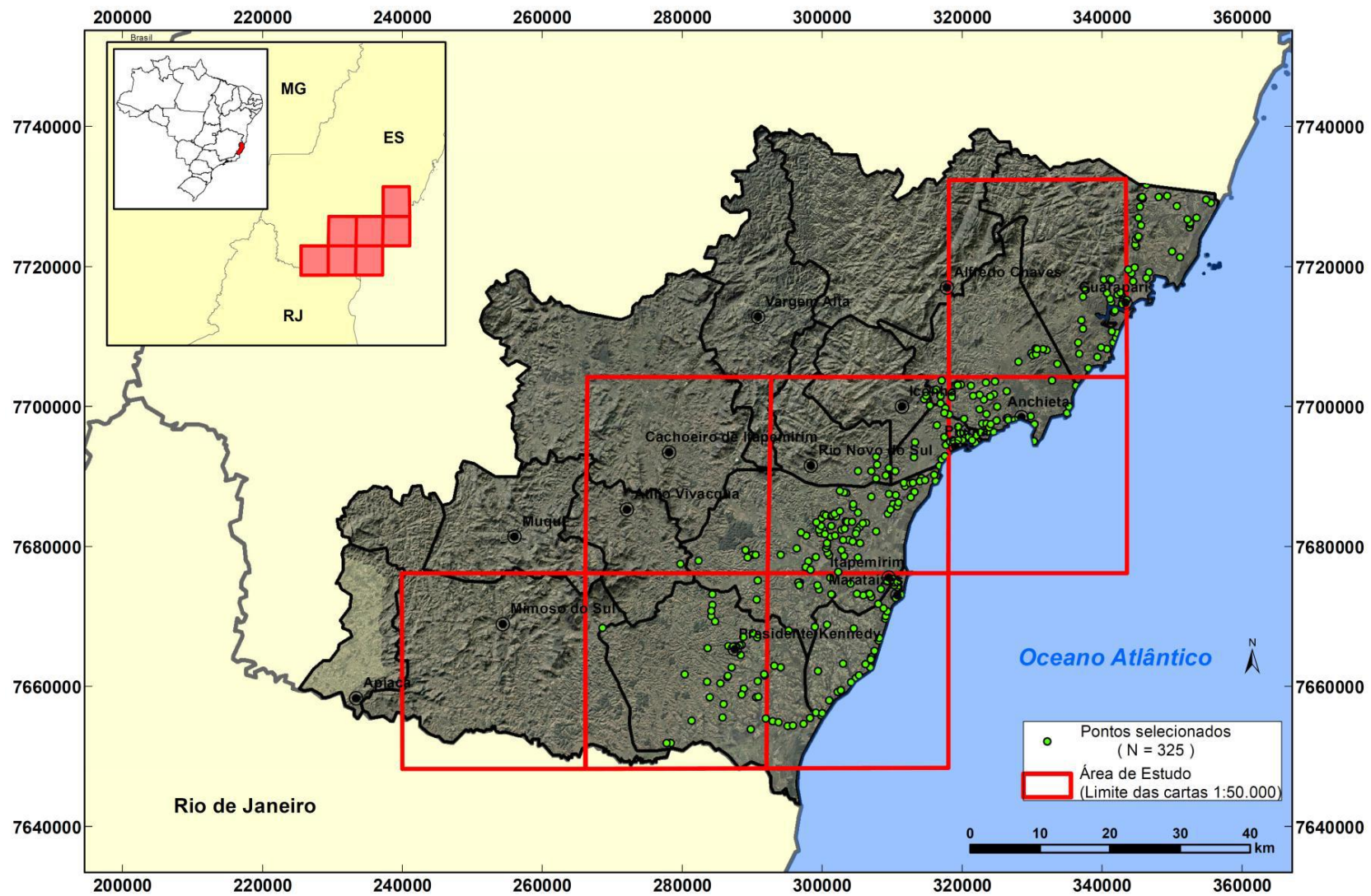


Figura 5.3 – Pontos selecionados para checagem de campo, com base na fotointerpretação das ortofotos e imagens do *software Google Earth*®.

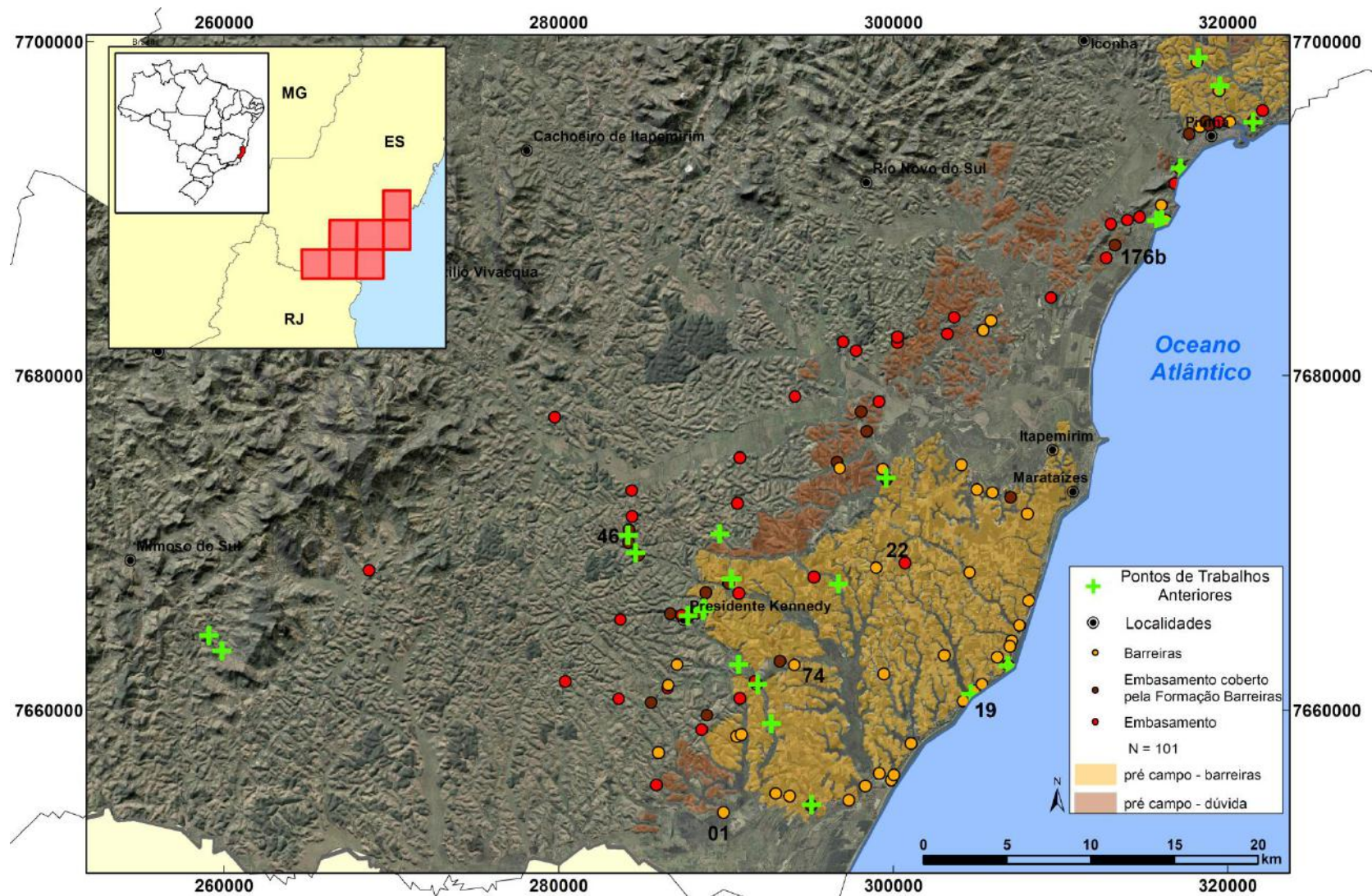


Figura 5.4 – Pontos visitados na etapa de checagem de campo, com a distinção das unidades geológicas identificadas, sobre o mapa preliminar de distribuição da Formação Barreiras. Também estão assinalados pontos descritos em estudos anteriores que realizaram caracterização estratigráfica e/ou estrutural de afloramentos na área de estudo (Morais, 2007; Ribeiro, 2010). Os números correspondem aos pontos ilustrados nas figuras 5.5, 5.6 e 5.7.



Figura 5.5 – Afloramentos de embasamento cristalino na área de estudo. A figura “A” representa o Ponto 176(b) onde afloram rochas do embasamento bastante intemperizadas e, sobreposta a estas rochas, há uma cobertura sedimentar muito pedogeneizada. A figura “B” representa o afloramento do Ponto 22, onde afloram rochas do embasamento intemperizadas, mas ainda preservando, de forma nítida, a foliação metamórfica.



Figura 5.6 – Afloramento do Ponto 46, apresentando rochas do embasamento cobertas por depósitos da Formação Barreiras, sobrepostos por uma cobertura de sedimentos muito pedogeneizados.

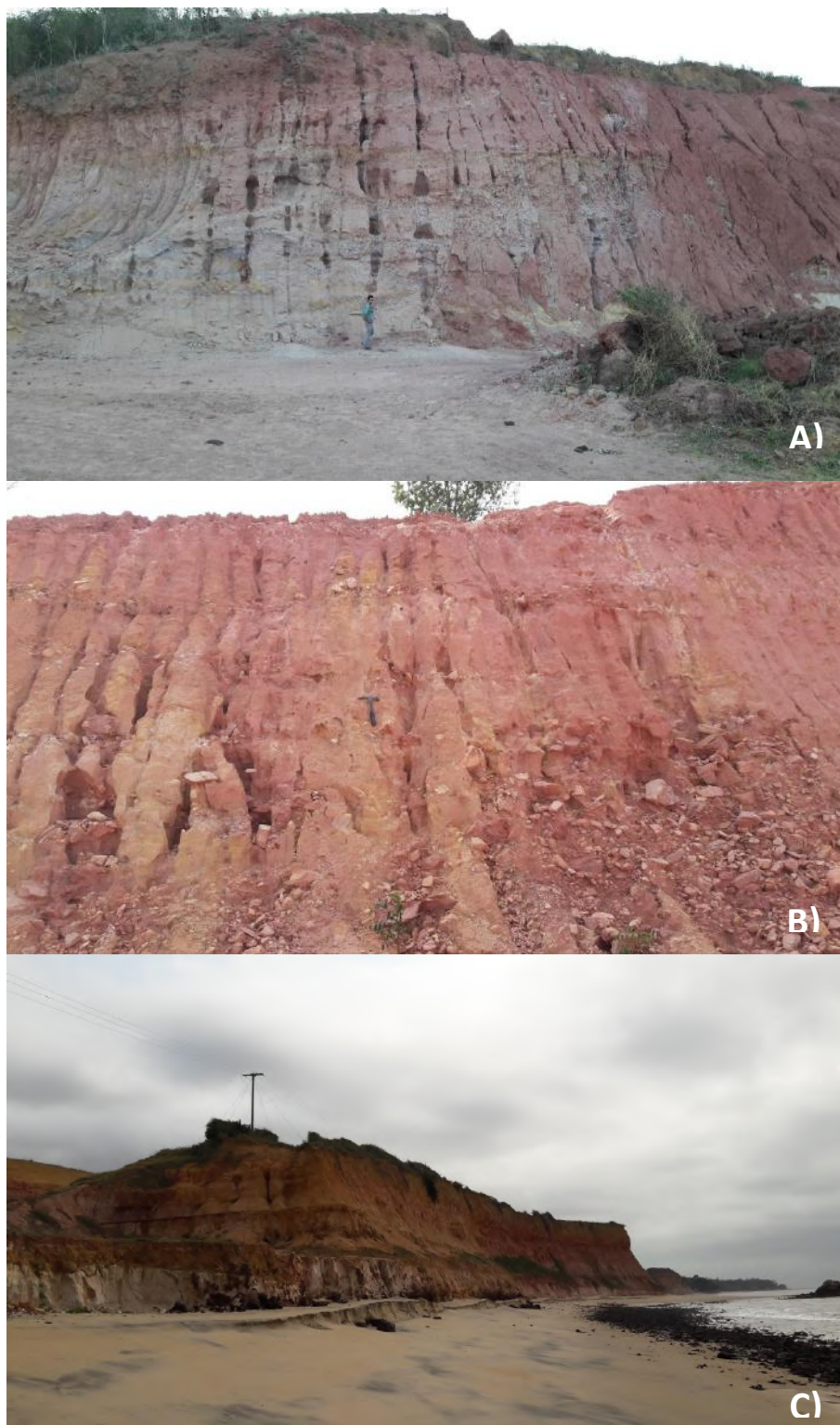


Figura 5.7 – Diferentes afloramentos e aspectos da Formação Barreiras na área de estudo. A) Ponto 1 - espessos depósitos areníticos estratificados; B) Ponto 74 - depósitos proximais, com presença de blocos angulosos; C) Ponto 19 - afloramento de depósitos predominantemente areníticos, em camadas tabulares, em falésia a sul de Maratáizes.

5.3 – MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DA FORMAÇÃO BARREIRAS NA REGIÃO SUL DO ESPÍRITO SANTO

Os dados obtidos nas etapas anteriores foram integrados para a confecção do mapa final de distribuição da Formação Barreiras. As áreas preliminarmente mapeadas como Formação Barreiras em que foram descritos em campo pontos referentes a esta unidade foram mantidas no mapa final como representativas da Formação Barreiras. Já as áreas em que houve divergência de informações entre o mapa preliminar e os dados de campo foram novamente verificadas nos *hillshades* quanto a seus aspectos morfológicos, prevalecendo as informações de campo para a elaboração do mapa final.

A partir desta base integrada de informações, foram definidos os padrões de ocorrência dos depósitos da Formação Barreiras, sendo estendido o mapeamento para as áreas em que não foi possível a obtenção de dados de campo (Figuras 5.8 e 5.9).

Os terrenos com maiores cotas altimétricas, de formas íngremes e topos convexos a aguçados caracterizam os domínios Montanhoso e de Morros e Serras Baixas, conforme a classificação proposta por Silva & Machado (2014), e são associados ao embasamento cristalino que aflora nas partes mais afastadas da costa. Quanto mais próximo à costa, os terrenos do embasamento tendem a apresentar comportamento mais aplainado, mesmo que mantendo encostas íngremes, representando os domínios geomorfológicos denominados como Colinas Dissecadas e de Morros Baixos, e de Colinas Amplas e Suaves. Esses terrenos mais aplainados podem ser confundidos com os Tabuleiros e Tabuleiros Dissecados, característicos da Formação Barreiras, devido a seu topo plano e, dependendo do grau de aplainamento, cotas altimétricas próximas. Os sedimentos quaternários aparecem sob a forma de Planícies Quaternárias nas menores cotas encontradas na área.

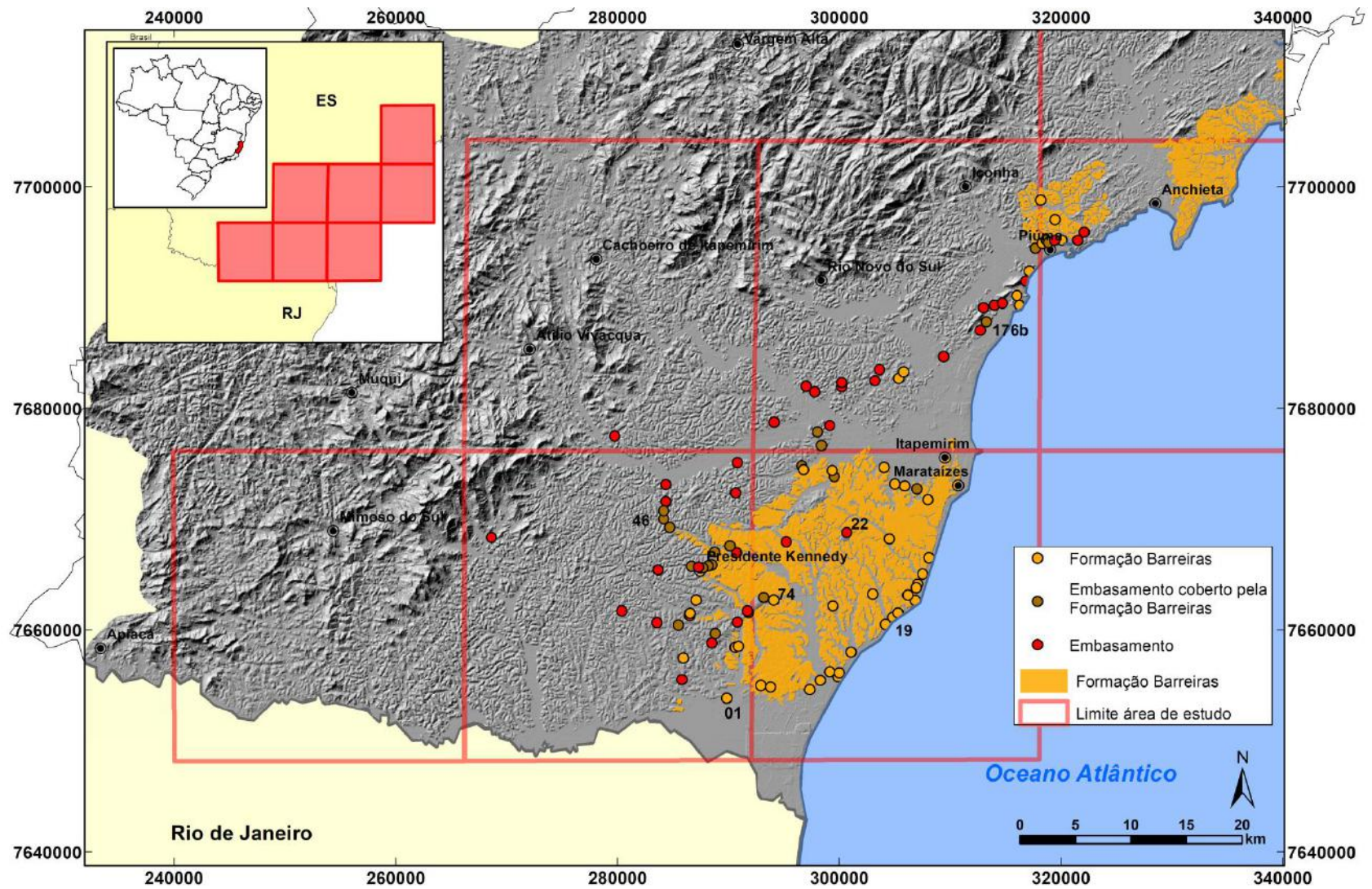


Figura 5.8 – Mapa de distribuição da Formação Barreiras na região sul do Espírito Santo, com a representação dos pontos com dados obtidos em campo. Os números correspondem aos pontos ilustrados nas figuras 5.5, 5.6 e 5.7.

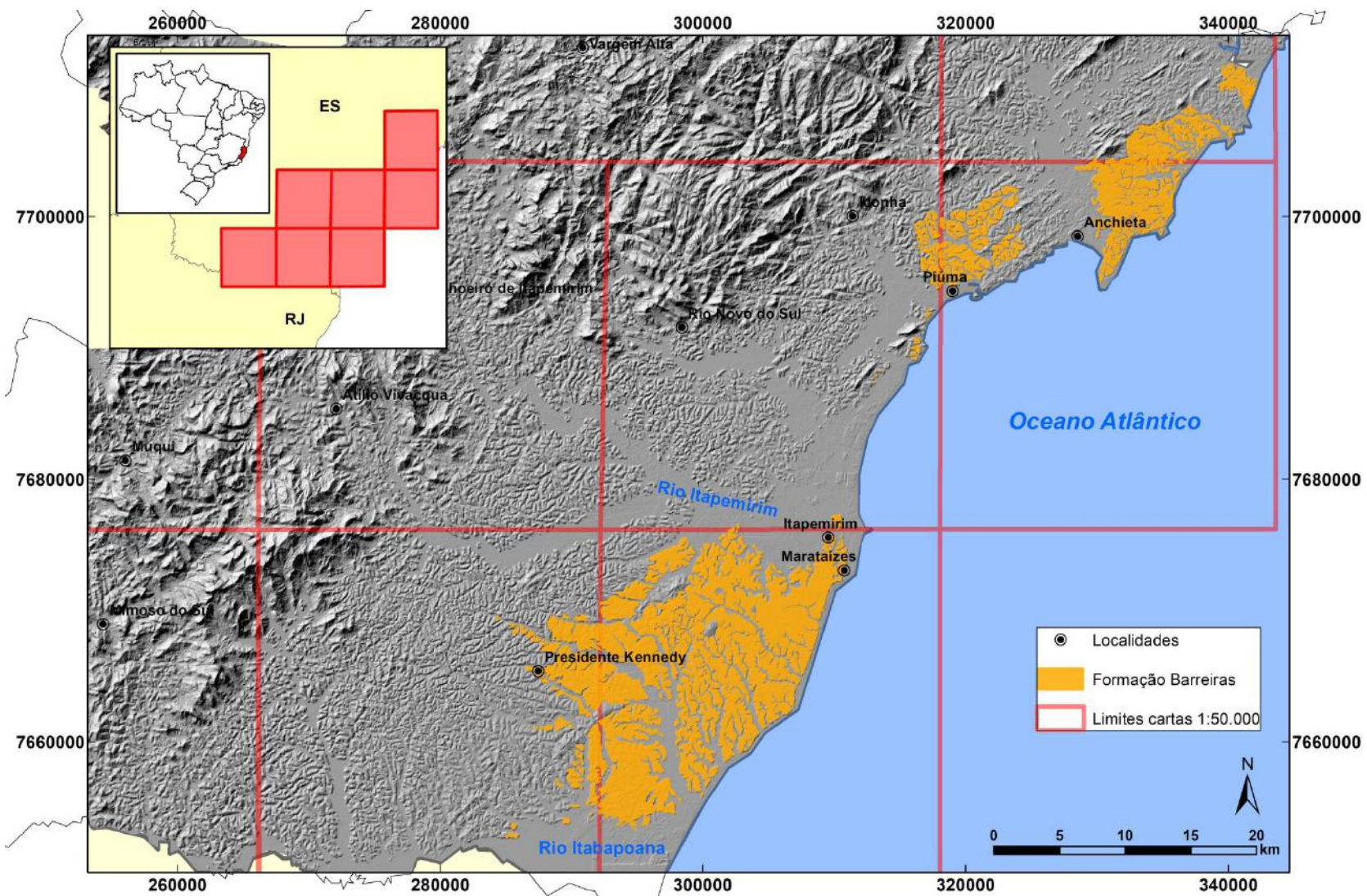


Figura 5.9 – Mapa de distribuição da Formação Barreiras no sul do Estado do Espírito Santo.

Foram delimitadas três áreas principais de ocorrência dos depósitos da Formação Barreiras, sendo a de maior concentração entre os rios Itapemirim e Itabapoana, onde aflora de forma contínua. As duas outras áreas onde a unidade possui maior distribuição e aflora de forma relativamente contínua encontram-se nas regiões de Piúma e de Anchieta. Entre a região de Piúma e Itapemirim, a Formação Barreiras aflora descontinuamente, sendo representada por manchas isoladas.

A fim de comparação dos resultados, o mapeamento desenvolvido no presente estudo foi confrontado com os mapas produzidos em trabalhos anteriores (Ribeiro, 2010; Vieira & Menezes, 2015) – Figuras 5.10 e 5.11, apenas onde foi realizada a checagem em campo, ressaltando-se o fato de as abordagens metodológicas e escalas serem distintas. Fica evidente a relação entre a diferença dos limites propostos para a Formação Barreiras e o tipo de escala e material utilizado. Por se tratar de um trabalho em escala de detalhe (1:25.000) e pela unidade foco do estudo poder ser confundida com o embasamento aplainado quando visto no relevo sombreado, a divergência era esperada quando se compara com trabalhos que adotaram escalas regionais.

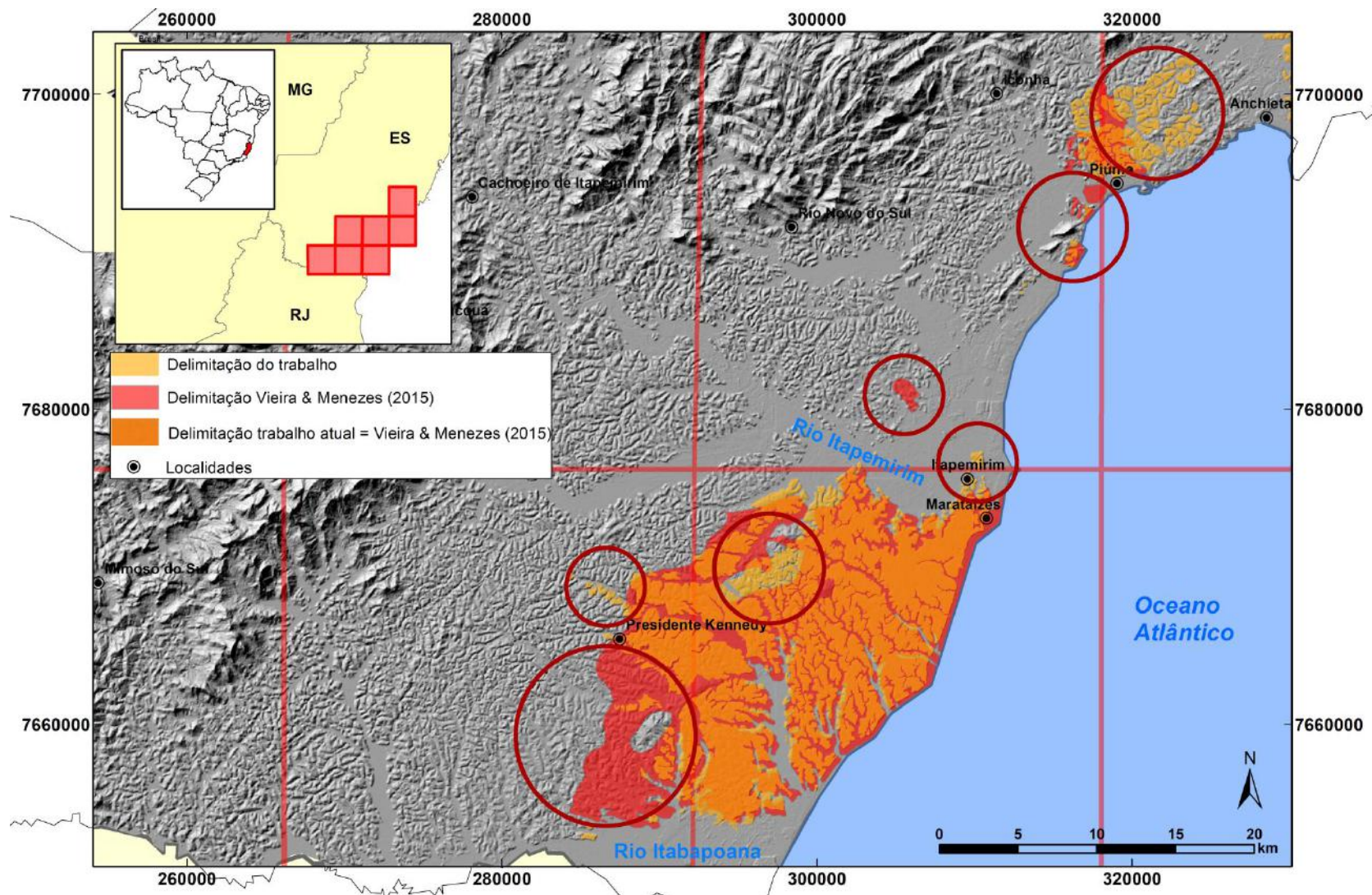


Figura 5.10 – Comparação entre o mapeamento da Formação Barreiras desenvolvido no presente trabalho e o realizado por Vieira & Menezes (2015), sendo destacadas as principais diferenças.

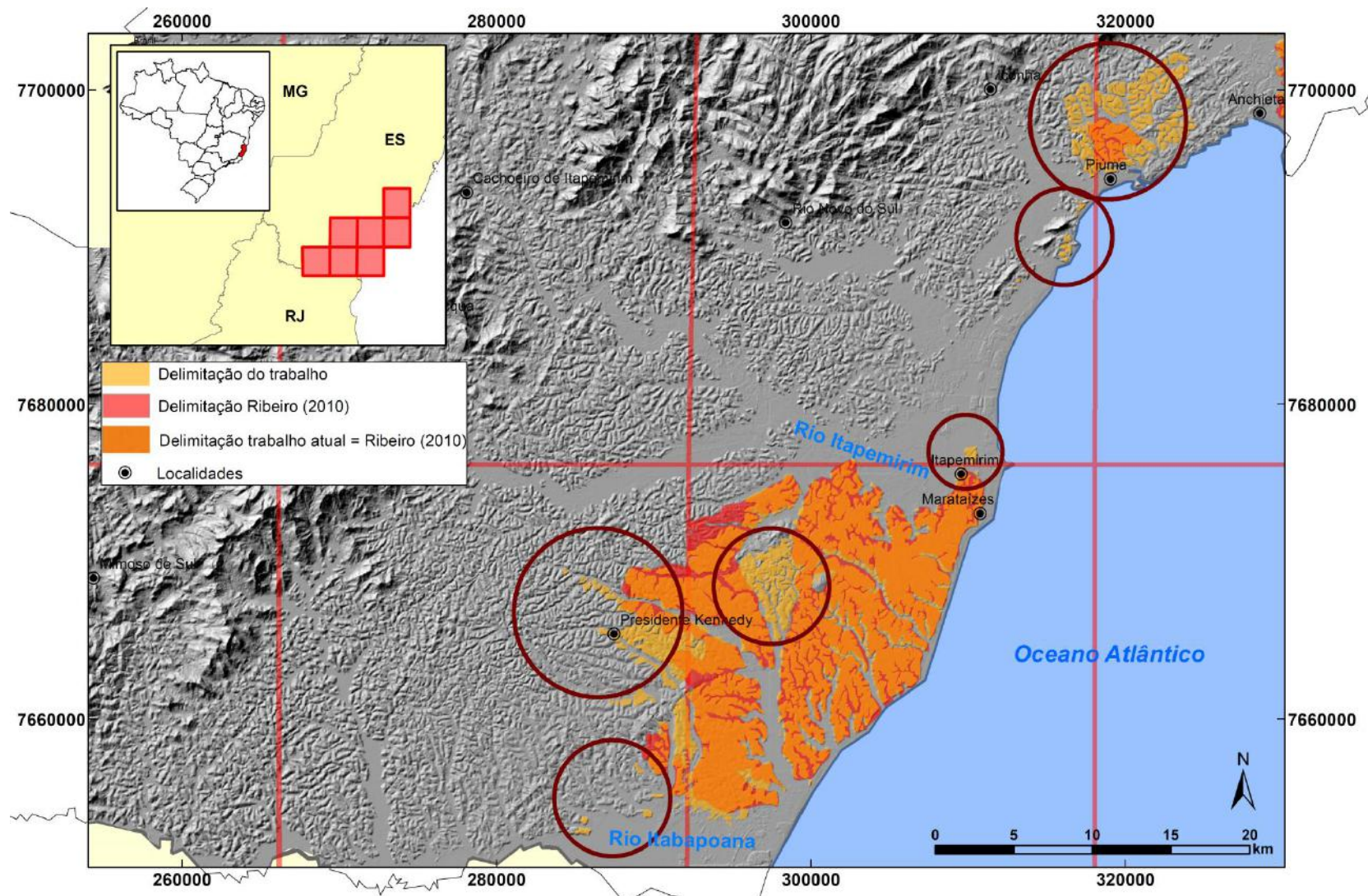


Figura 5.11 – Comparação entre o mapeamento da Formação Barreiras desenvolvido no presente trabalho e o realizado por Ribeiro (2010), sendo destacadas as principais diferenças.

Ao realizar a comparação entre o mapa produzido no presente estudo e os limites definidos por Vieira & Menezes (2015) e Ribeiro (2010) para a Formação Barreiras, uma área de maior concentração e ocorrência mais contínua da unidade é identificada em todos os mapeamentos, entre os rios Itabapoana e Itapemirim. Nesta área, as principais divergências entre os mapas anteriores e o mapa ora apresentado estão em sua porção central e no limite oeste. Os trabalhos anteriores atribuíram uma extensão maior para o embasamento na porção central desta área, enquanto o mapa aqui proposto restringe a ocorrência do embasamento a uma “ilha” associada a um relevo mais acentuado (morro). Na porção oeste desta área, o mapa realizado no presente estudo possui um limite próximo ao proposto por Ribeiro (2010), com o acréscimo de diversas manchas isoladas, enquanto Vieira & Menezes (2015) propuseram uma extensão maior para os depósitos da Formação Barreiras em um setor que está sendo considerado como área do embasamento.

Na região de Piúma, foi identificada outra concentração significativa de depósitos da Formação Barreiras, interpretada no presente estudo como mais extensa do que nos trabalhos anteriores.

Entre as cidades de Itapemirim e Piúma, os limites são divergentes para os três mapas. Ribeiro (2010) não identificou a presença da Formação Barreiras nesta área, enquanto Vieira & Menezes (2015) apontam a existência de pequenas manchas isoladas da unidade. O presente estudo identificou uma quantidade menor de manchas isoladas em relação ao mapa de Vieira & Menezes (2015). Na principal mancha identificada por estes autores neste setor, foram também registradas ocorrências restritas da Formação Barreiras, mas, devido à descontinuidade das ocorrências e pequena extensão, não foram consideradas mapeáveis na escala de trabalho.

As divergências de interpretações para os limites da Formação Barreiras na área de estudo podem ser atribuídas a diferentes fatores. Acredita-se que os mais relevantes sejam a diferença de escala de mapeamento e o material disponível para a sua realização. Vieira & Menezes (2015) e Ribeiro (2010) adotaram escalas regionais, 1:400.000 e 1:250.000 respectivamente. Com isso, a densidade de pontos coletados em campo foi menor, sendo esperada a diferença para o presente trabalho, que adotou uma escala de detalhe (1:25:000). Por outro lado, Vieira & Menezes (2015) compilaram mapeamentos de diferentes escalas já existentes, somados à coleta de campo. Ribeiro (2010) utilizou interpretação de SRTM e coleta de campo, assemelhando-se ao presente estudo, porém a qualidade dos MDEs é diferente.

Foram elaboradas seções geológicas neste estudo com o objetivo de contribuir para uma descrição mais detalhada da distribuição das unidades geológicas na área investigada. Estas seções abrangem na região de maior distribuição da Formação Barreiras, entre Presidente Kennedy (ES) e Marataízes (ES) – Figura 5.12.

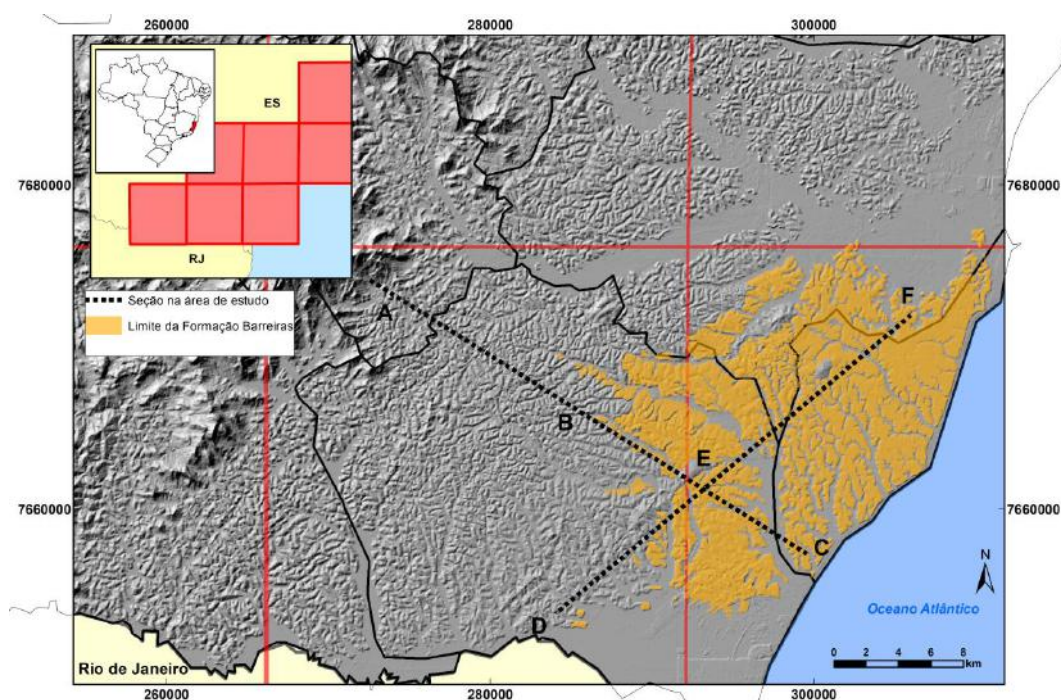


Figura 5.12 – Seções geológicas realizadas na região de maior distribuição da Formação Barreiras na área de estudo.

A seção ABC (Figura 5.13) possui orientação NW-SE, buscando destacar o comportamento do relevo e a distribuição da Formação Barreiras do interior para a costa.

A análise do relevo indica uma gradual diminuição das cotas topográficas em direção à costa, variando de 200 metros no sopé do domínio Montanhoso a cotas menores que 100 metros no domínio de Colinas Amplas e Suaves, que ainda representam rochas do embasamento, porém cada vez mais aplainado (Figura 5.13 - i), podendo localmente ser capeado por sedimentos da Formação Barreiras (Figura 5.13 - ii).

No limite entre os domínios colinoso e de tabuleiros, ocorrem morros mais altos, isolados, de composição quartzítica (Figura 5.13 - iii). Estes morros, nesta porção da área de mapeamento, ocorrem alinhados segundo uma direção NE-SW (Figura 5.12). No limite entre estes domínios, os depósitos da Formação Barreiras apresentam intervalos de conglomerados com clastos angulosos, indicando o caráter proximal (Figura 5.13 - iv).

O domínio dos Tabuleiros apresenta, em geral, cotas menores que 60 metros, terminando em falésias ao longo do litoral (Figura 5.13 - v).

Os vales encaixados nos tabuleiros da Formação Barreiras são relativamente largos e profundos, com encostas íngremes.

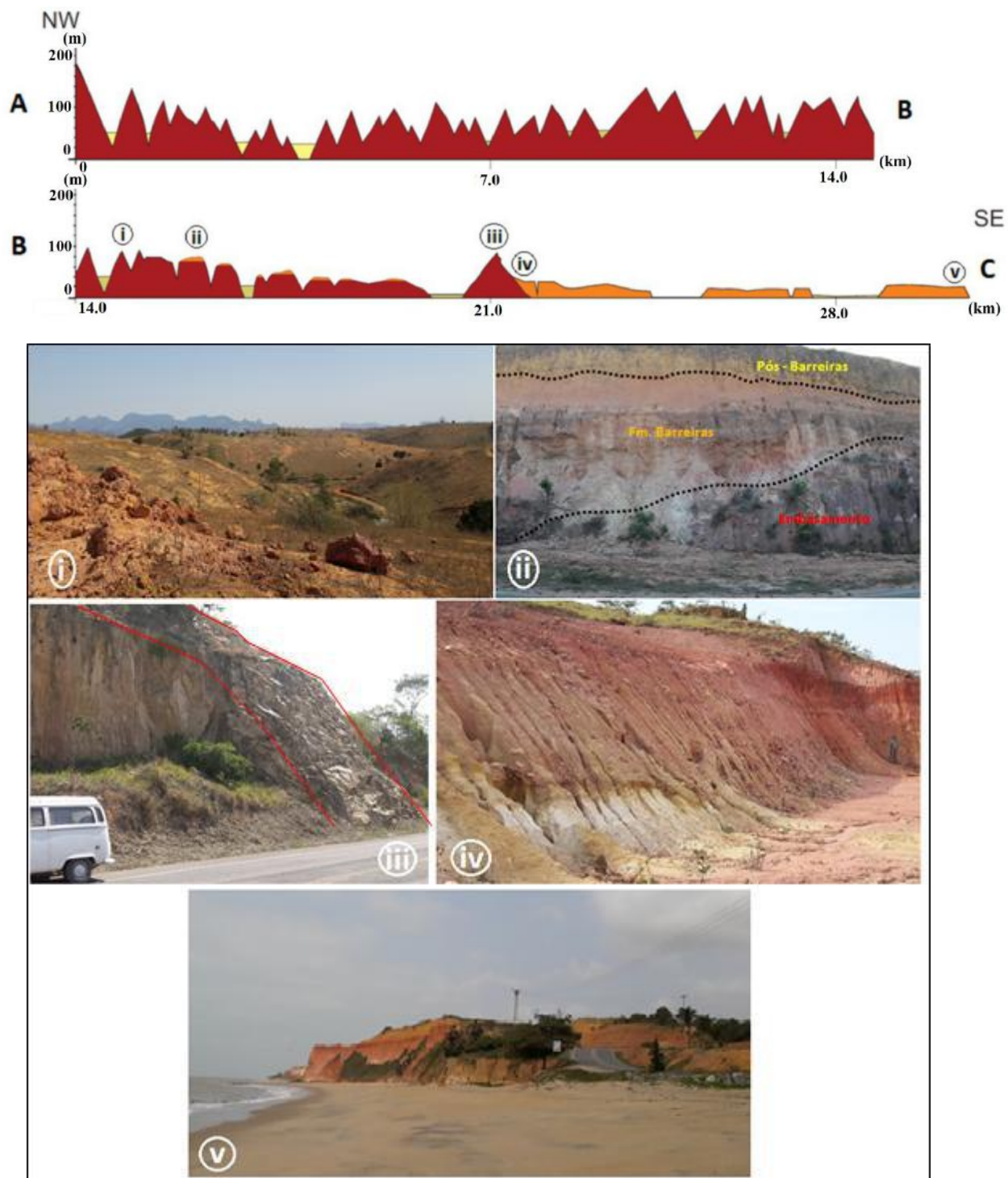


Figura 5.13 – Seção geológica ABC (exagero vertical de 10 vezes), com orientação NW-SE (ver a localização da seção na Figura 5.12), destacando o comportamento do relevo na área de estudo do interior para a costa. As localizações dos pontos representados nas fotografias estão indicadas ao longo da seção. i) Relevo de colinas amplas e suaves contrastando com o relevo montanhoso ao fundo da imagem; ii) depósitos da Formação Barreiras com pequena espessura sobre rochas do embasamento, formando uma capa sedimentar e tornando o topo da colina mais suave a plano; iii) embasamento aflorante no limite entre domínios de ocorrência da Formação Barreiras como capa do embasamento e com morfologia de tabuleiros; iv) depósitos proximais da Formação Barreiras, apresentando blocos angulosos; v) afloramento da Formação Barreiras em falésia.

A seção DEF (Figura 5.14) possui orientação NE-SW, tendo como objetivo representar um corte transversal no domínio dos tabuleiros. A porção inicial da seção abrange um relevo de colinas variando entre as cotas de 30 e 60 metros, no domínio de Colinas Amplas e Suaves, onde afloram rochas do embasamento muito intemperizadas (Figura 5.14 - i).

Próximo ao limite com o domínio dos Tabuleiros, foram identificados depósitos da Formação Barreiras capeando estas colinas. No limite entre estes domínios, os depósitos da Formação Barreiras mostram-se conglomeráticos e angulosos (Figura 5.14 - ii, mesmo ponto apresentado na Figura 5.13 - ii). Porém o padrão sedimentar dominante é caracterizado por intervalos areníticos tabulares, muito ferruginizados (Figura 5.13 - iv).

As cotas dos tabuleiros variam significativamente nesta seção transversal, geralmente em blocos limitados pelas drenagens principais. Tal padrão foi descrito por Ribeiro (2010 – Figura 3.9), que o associou a um controle estrutural pela presença de falhas normais. Esta autora identificou padrões de blocos rebaixados e blocos soerguidos nos depósitos da Formação Barreiras, formando grábens (onde as drenagens estão encaixadas, com o desenvolvimento de planícies aluviais relativamente extensas) e horstes (tabuleiros dissecados).

Em alguns pontos, foram observados escalonamentos nas crostas ferruginosas presentes no topo dos tabuleiros da Formação Barreiras, sugerindo estarem deformadas por estruturas tectônicas (Figura 5.14 - iii).

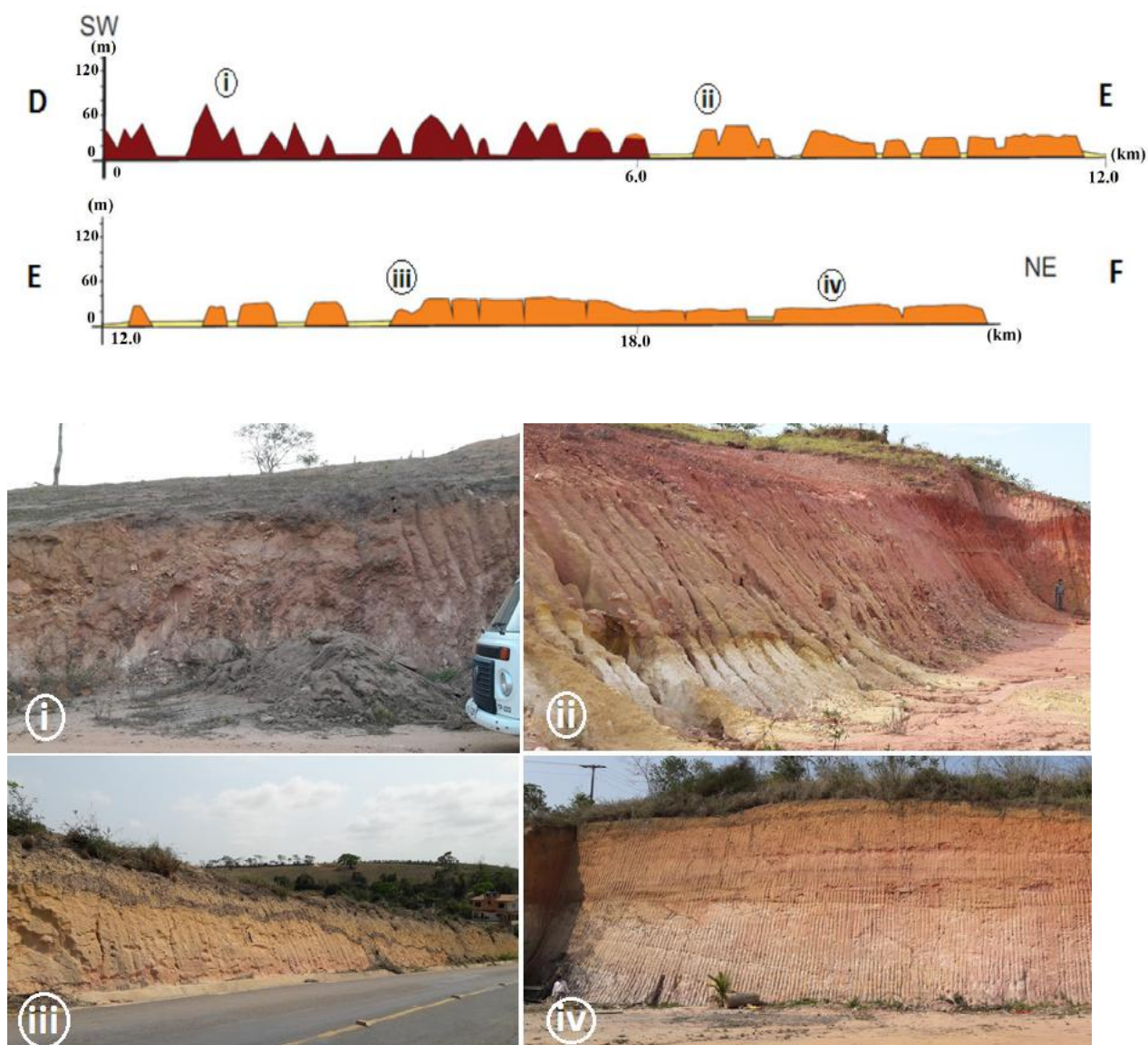


Figura 5.14 - Seção geológica DEF (exagero vertical de 10 vezes), com orientação NE-SW (ver a localização da seção na Figura 5.12), destacando o comportamento do relevo transversalmente ao domínio dos tabuleiros da Formação Barreiras. As localizações dos pontos representados nas fotografias estão indicadas ao longo da seção. i) Embasamento bastante alterado preservando a foliação da rocha; ii) depósitos proximais da Formação Barreiras, apresentando blocos angulosos; iii) afloramento da Formação Barreiras com topo marcado pelo nível de crosta ferruginosa, que se encontra deformada, abatendo-se em direção ao vale; iv) afloramento da Formação Barreiras evidenciando o topo de crosta ferruginosa não deformado.

Tendo em vista os aspectos relacionados a um possível controle estrutural/neotectônico na distribuição da Formação Barreiras, a partir da avaliação do mapa e das seções geológicas elaboradas, foi realizada uma análise de lineamentos ao longo da área de estudo, através da interpretação dos *hillshades* gerados, com foco na região onde a Formação Barreiras aflora (Figuras 5.15 e 5.16).

Foram identificados dois grupos de lineamentos principais: um com direção NE-SW; e outro com direção NW-SE.

Os padrões de distribuição dos lineamentos NE-SW e NW-SE sugerem relação direta com a compartimentação dos depósitos da Formação Barreiras, associando-se à delimitação das principais ocorrências e à individualização de setores mais dissecados ou menos dissecados.

Os lineamentos NE-SW aparentam estar relacionados também a um controle na sedimentação desta unidade, limitando zonas de ocorrência e de não ocorrência destes depósitos, e setores com espessuras maiores (na porção de tabuleiros mais contínuos) e menores (capeando colinas).

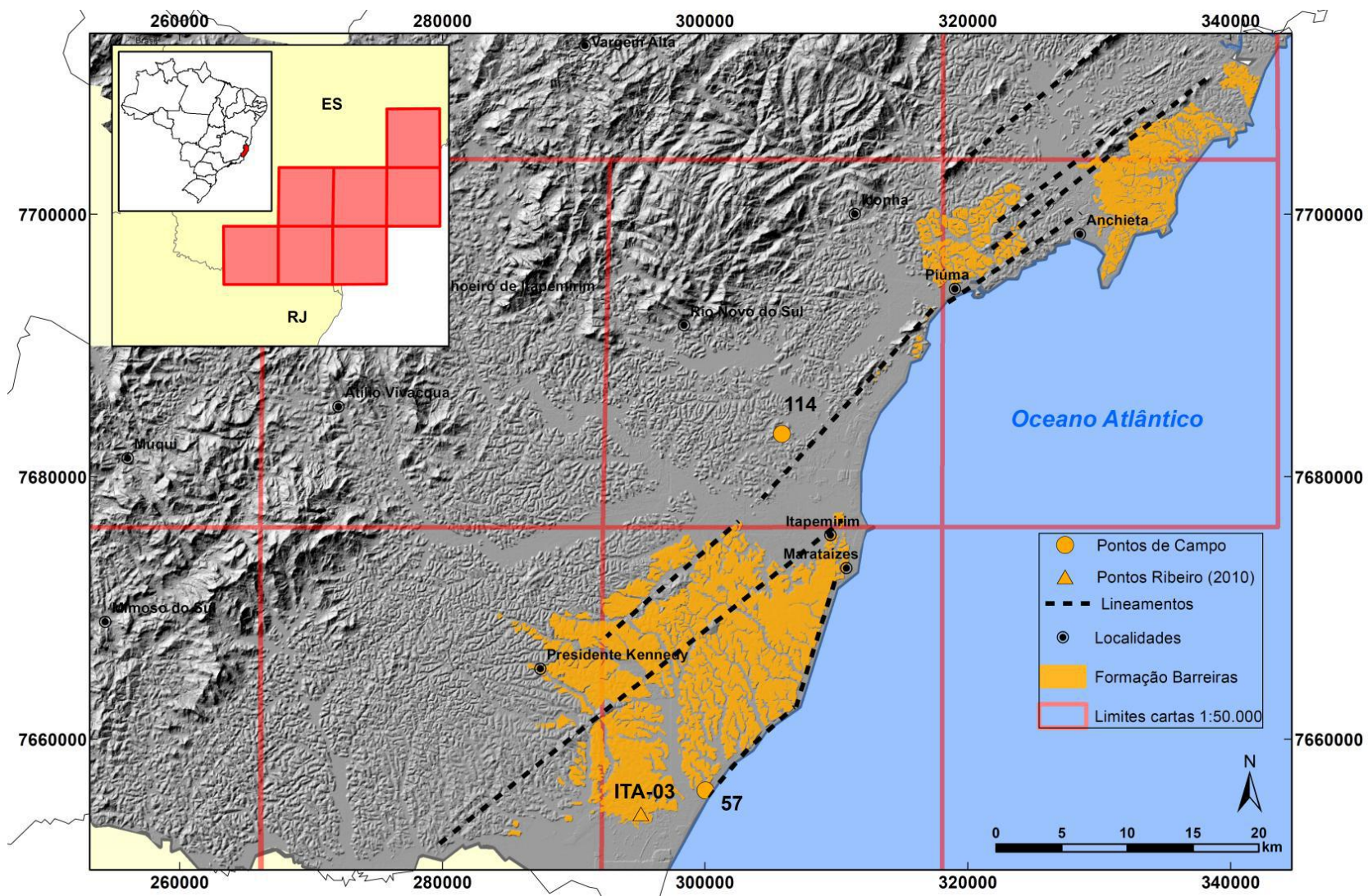


Figura 5.15 – Principais lineamentos de orientação NE-SW observados na área de estudo com provável influência na distribuição da Formação Barreiras. Estão assinalados os pontos com medidas estruturais do presente estudo e do trabalho de Ribeiro (2010).

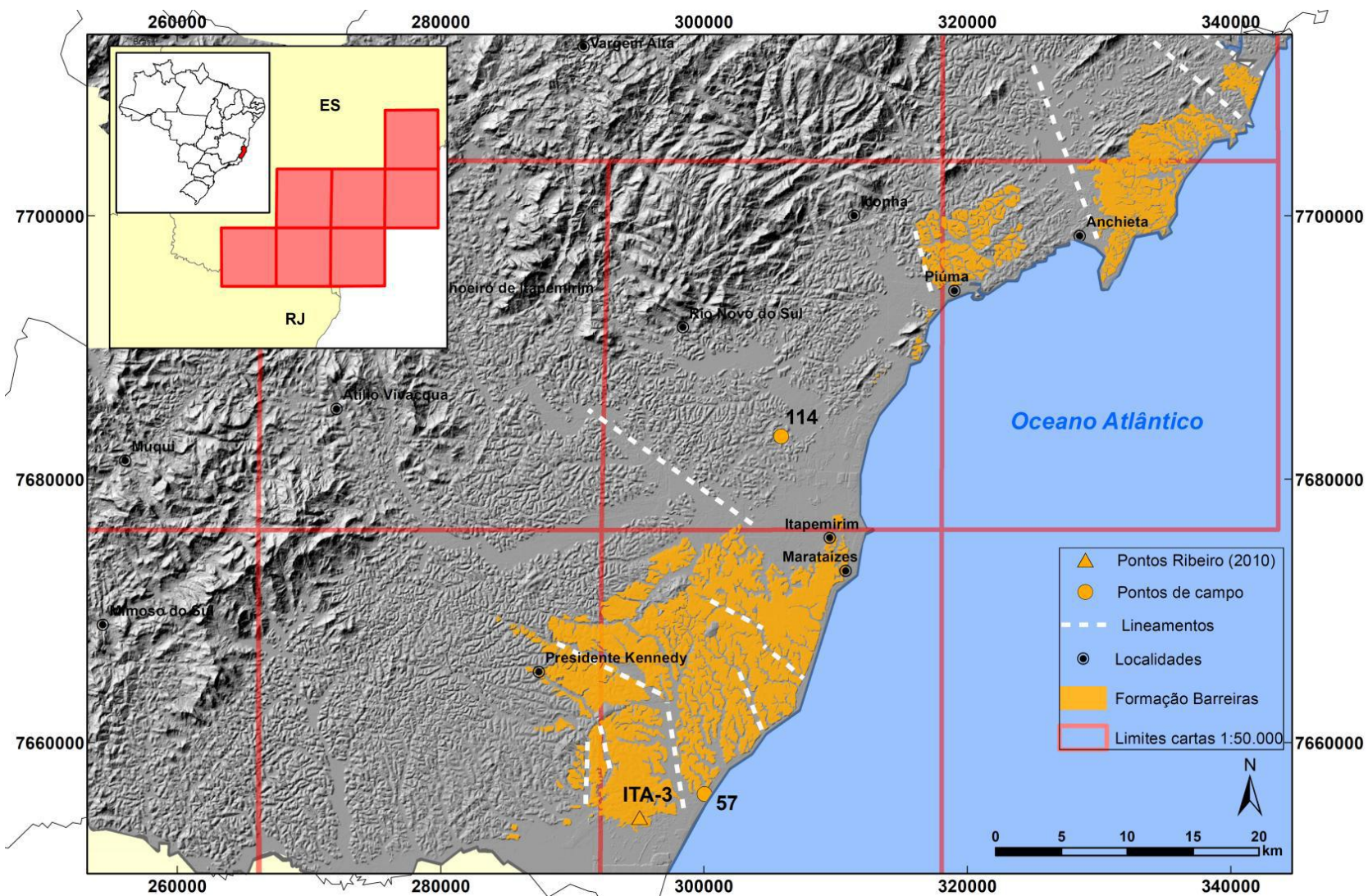


Figura 5.16 – Principais lineamentos de orientação NW-SE observados na área de estudo com provável influência na distribuição da Formação Barreiras. Estão assinalados os pontos com medidas estruturais do presente estudo e do trabalho de Ribeiro (2010).

A análise dos dados estruturais obtidos em 2 afloramentos, acrescida dos dados analisados por Ribeiro (2010) em outro afloramento na área de estudo, parece confirmar o controle neotectônico sobre a distribuição dos depósitos da Formação Barreiras:

- **Ponto 57** – está localizado em corte na ES-060 (Rodovia do Sol), a aproximadamente 16 km do centro de Presidente Kennedy (ES), na região do trevo de acesso para a localidade de Morobá. Foram identificadas falhas normais NE-SW afetando a Formação Barreiras e a cobertura pedológica, associadas a uma distensão NW-SE (Figura 5.17).

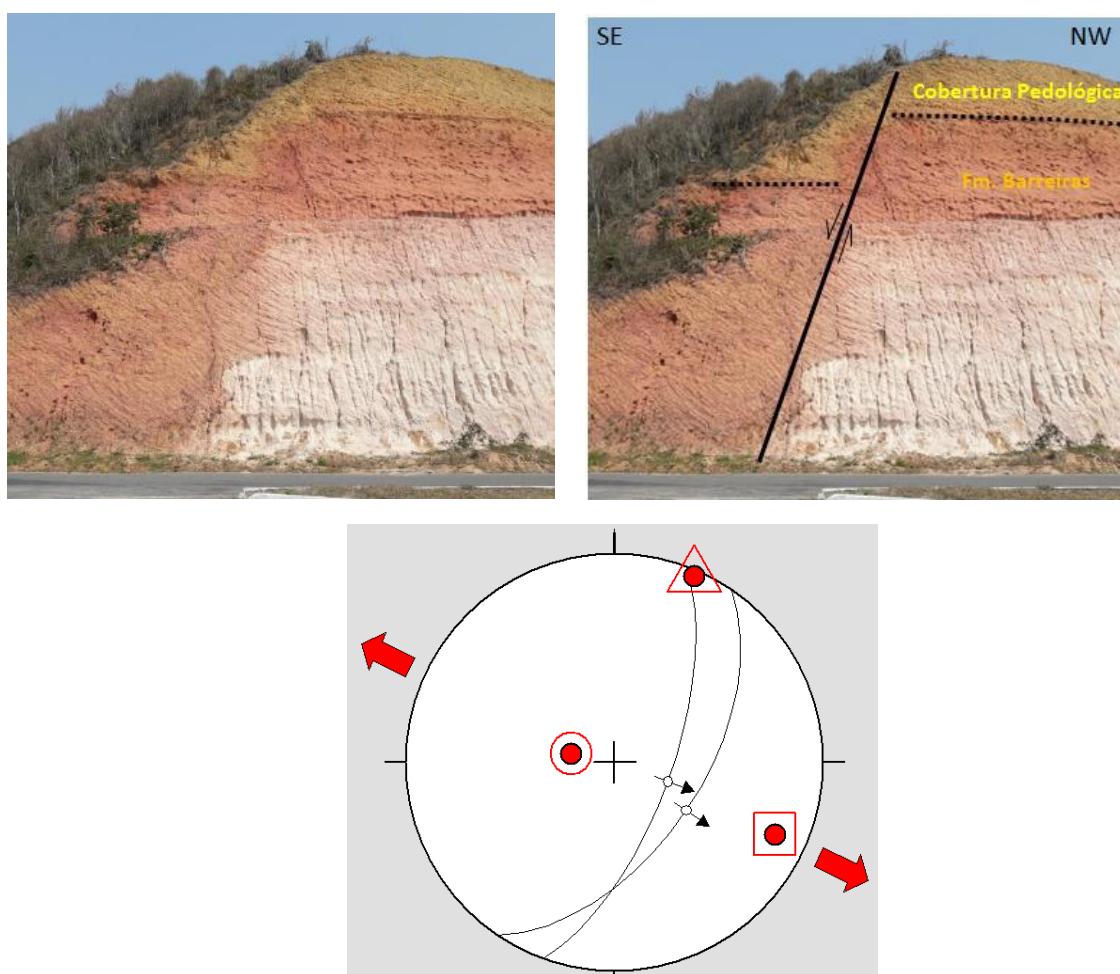


Figura 5.17 – Afloramento descrito no Ponto 57 (não interpretado e interpretado) e estereograma ilustrativo dos campos de esforços tectônicos identificados, associados à geração de falhas normais NE-SW, indicando distensão NW-SE. ● - eixo de tensão máxima (σ_1); ▲ - eixo de tensão intermediária (σ_2); ■ - eixo de tensão mínima (σ_3); setas vermelhas – orientação do campo de paleotensão distensivo.

- **Ponto 114** – localizado em corte de rodovia na região de Coroa da Onça entre Marataízes (ES) e Rio Novo do Sul (ES). Foram identificadas falhas normais NW-SE, associadas a uma distensão NE-SW, afetando os depósitos da Formação Barreiras, mas não afetando a cobertura sedimentar pós-Barreiras (Figura 5.18).

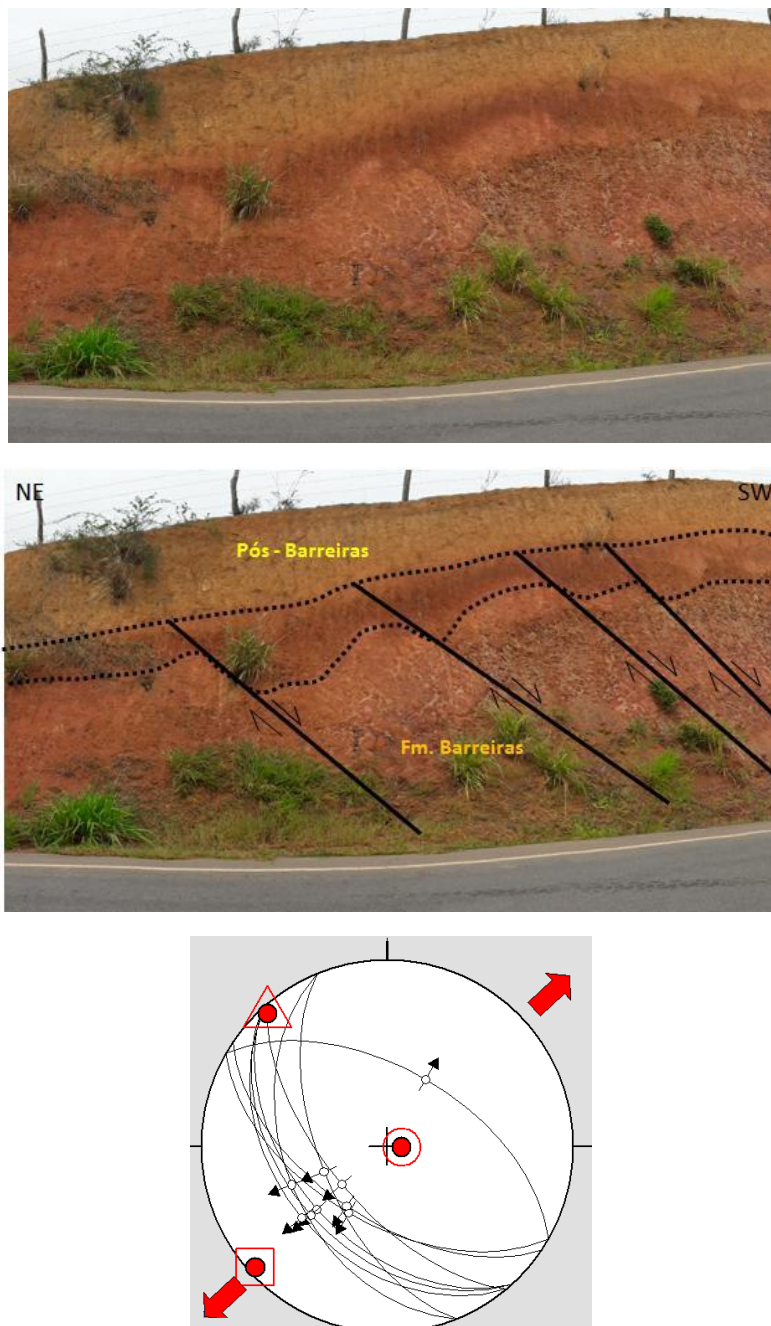


Figura 5.18 – Afloramento descrito no Ponto 114 (não interpretado e interpretado) e estereograma ilustrativo dos campos de esforços tectônicos identificados, associados à geração de falhas normais NW-SE, indicando distensão NE-SW. \odot - eixo de tensão máxima (σ_1); \triangle - eixo de tensão intermediária (σ_2); \square - eixo de tensão mínima (σ_3); setas vermelhas – orientação do campo de paleotensão distensivo.

- **Ponto ITA-03** – localizado nas proximidades do Ponto 57, foi analisado por Ribeiro (2010), que interpretou a atuação de dois campos de esforços tectônicos distintos afetando a Formação Barreiras (Figura 5.19): um, mais novo, associado à geração de falhas normais NE-SW, indicando distensão NW-SE; e o outro associado à geração de falhas normais NW-SE, indicando distensão NE-SW.

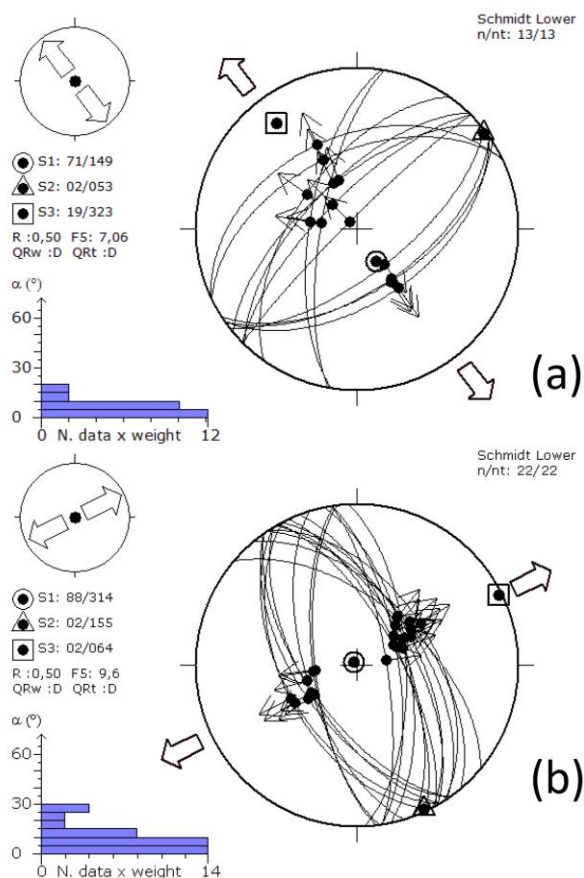


Figura 5.19 – Estereogramas ilustrativos dos campos de esforços tectônicos identificados no ponto ITA-03 por Ribeiro (2010), associados à: a) geração de falhas normais NE-SW, indicando distensão NW-SE; e b) geração de falhar normais NW-SE, indicando distensão NE-SW. \odot - eixo de tensão máxima (σ_1); \triangle - eixo de tensão intermediária (σ_2); \square - eixo de tensão mínima (σ_3); setas – orientação do campo de paleotensão distensivo.

A integração dos resultados das análises estruturais realizadas no presente estudo e os apresentados por Ribeiro (2010) levam ao reconhecimento de pelo menos duas fases de deformação neotectônica distintas afetando a Formação Barreiras.

5.4. MODELO TECTONOSSEDIMENTAR

Os principais aspectos observados na distribuição dos depósitos da Formação Barreiras integrados às características sedimentológicas descritas, padrões de lineamentos e dados estruturais possibilitaram a proposição de um modelo tectonossedimentar preliminar referente à evolução cenozoica da área investigada na região sul do Espírito Santo.

De modo bastante simplificado, o modelo aqui proposto foi dividido em dois momentos distintos, para evidenciar o cenário interpretado para a sedimentação da Formação Barreiras e aquele relacionado à sua compartimentação, sob influência de mecanismos neotectônicos.

Com base nos aspectos sedimentológicos identificados e também anteriormente descritos para a Formação Barreiras na região (Morais, 2007; Alves, 2016), a sedimentação Barreiras é associada a sistemas fluviais instalados sobre rochas do embasamento pré-cambriano compartimentado em blocos estruturais controlados por feições de orientação NE-SW.

A identificação, nas proximidades dos limites mapeados para a Formação Barreiras com o embasamento, de depósitos com expressiva participação de conglomerados angulosos permite supor que as estruturas do embasamento poderiam estar sendo reativadas concomitantemente à sedimentação, sendo aqui proposta a compartimentação em blocos controlados por falhas normais NE-SW (Figura 5.20). Reforça esta hipótese o fato de os limites entre a Formação Barreiras e os terrenos do embasamento serem marcados por lineamentos com esta direção. Variações litológicas no embasamento realçaram esta compartimentação.

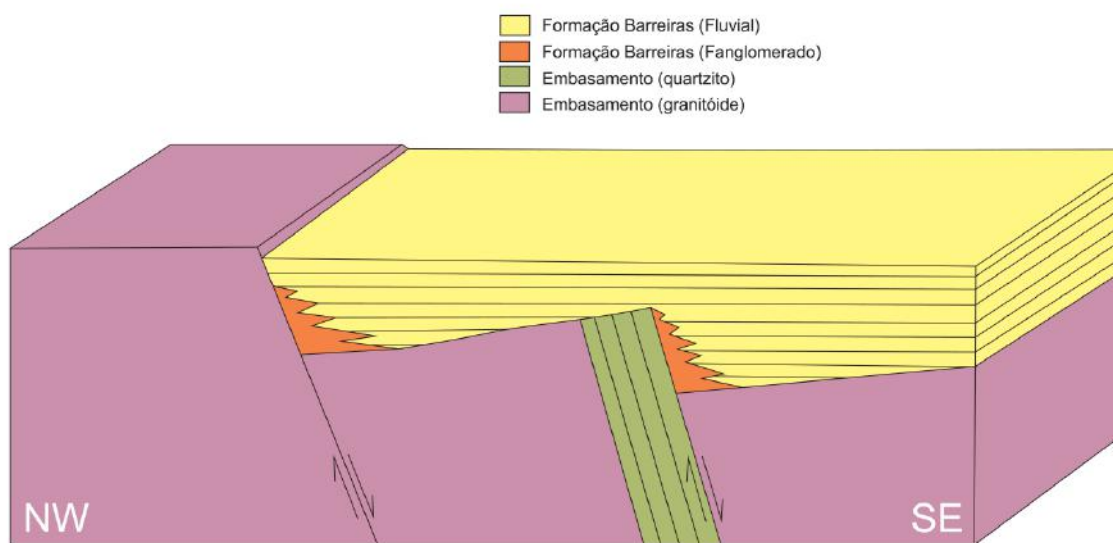


Figura 5.20 – Bloco-diagrama esquemático (sem escala) representativo da sedimentação da Formação Barreiras controlada pela reativação, como falhas normais com direção NE-SW, de estruturas do embasamento pré-cambriano.

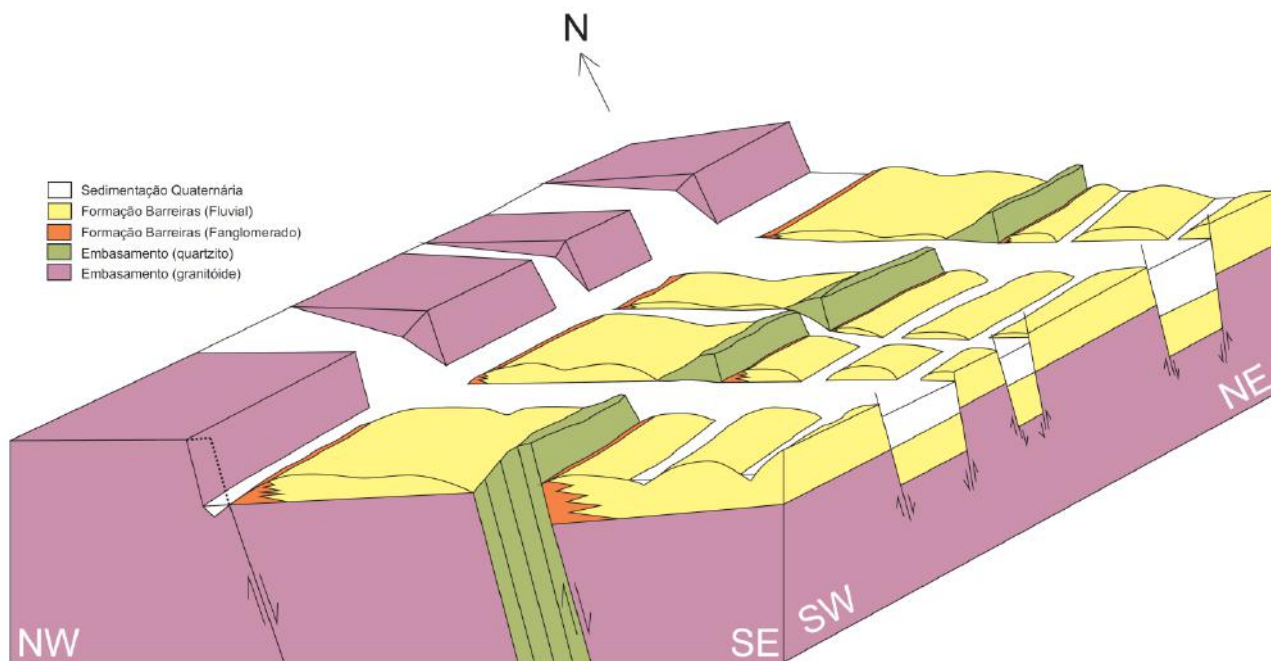


Figura 5.21 – Bloco-diagrama esquemático (sem escala) representativo da compartimentação e entalhamento da Formação Barreiras, controlados por falhas normais com direção NE-SW e NW-SE.

Após a sedimentação da Formação Barreiras, as estruturas pré-cambrianas continuaram sofrendo fases de reativação, acentuando o processo de soerguimento das porções mais internas e rebaixamento das porções mais próximas à costa, influenciando no entalhamento fluvial dos tabuleiros e na menor preservação dos depósitos da Formação Barreiras nos blocos mais afastados da costa (Figura 5.21), onde estes depósitos afloram como uma capa do embasamento, enquanto mais próximo da costa ocorrem associados a tabuleiros mais contínuos. A erosão diferencial também pode ser constatada como um processo relevante nesta dinâmica evolutiva e na configuração do relevo atual. Além da reativação das estruturas de direção NE-SW, falhas com orientação NW-SE podem ser relacionadas aos lineamentos de mesmo *trend*. As estruturas NW-SE aparentam ter importante relação com a fragmentação dos depósitos da Formação Barreiras e sua compartimentação em blocos mais dissecados e menos dissecados, controlando nitidamente o entalhamento da drenagem nos domínios dos Tabuleiros, aspecto já evidenciado por Ribeiro (2010) na área investigada no presente estudo.

O padrão escalonado de blocos rebaixados e blocos soerguidos, segundo a orientação NW-SE, descrito por Ribeiro (2010), pode ser bem observado na seção geológica DEF, transversal ao domínio dos Tabuleiros, reforçando a hipótese de controle neotectônico. Com base nessa premissa, as drenagens mais amplas e entalhadas podem representar os blocos rebaixados da Formação Barreira, enquanto as áreas de tabuleiros mais dissecados representariam os blocos soerguidos (Figura 5.21).

6. CONCLUSÃO

O uso de um modelo digital de elevação de alta resolução permitiu a confecção de um mapa de maior detalhe, contribuindo para um melhor entendimento sobre a distribuição, compartimentação e evolução da Formação Barreiras na área de estudo. O MDE obtido a partir de fotos aéreas de alta resolução mostrou-se interessante na delimitação de padrões de relevo quando comparado aos resultados de trabalhos anteriores realizados na mesma área. Em especial, permitiu destacar melhor formas de drenagens presentes no domínio dos Tabuleiros, permitindo uma nova delimitação da Formação Barreiras.

O MDE utilizado foi disponibilizado pela CPRM sem custos, e se mostrou uma alternativa válida quando comparada a outros produtos que têm sido utilizados para o mapeamento da Formação Barreiras, como imagens SRTM e ALOS, devido a sua boa qualidade e escala de detalhamento. A imagem ALOS também permite a análise em detalhe, mas o dado também não é disponibilizado publicamente, com algumas exceções disponíveis para universidades pelo IBGE. A imagem SRTM está disponível gratuitamente com *pixels* de 30 metros, qualidade menor do que a encontrada no dado utilizado no presente estudo, que permitiu analisar resoluções de *pixels* de 10 metros.

Uma dificuldade encontrada no uso do dado foi a necessidade do tratamento para suavização de ruídos na imagem, necessitando de um maior tempo para as etapas iniciais de trabalho, procedimento que pode não ser necessário com o uso da imagem SRTM.

O uso do método manual foi eficiente para a área de estudo por se tratar de uma região de pequena dimensão e por ser um mapeamento em escala de detalhe. Esse método permitiu delimitar os padrões de tabuleiros e destacar regiões onde a Formação Barreiras aflora como uma capa sobre o embasamento. Em termos de produtividade, o método consome mais tempo

de análise ao ser comparado à metodologia semi-automática, porém permite uma confiança maior nos dados produzidos pela checagem de todas as áreas mapeadas.

O trabalho de campo realizado não foi suficiente para cobrir toda a área estudada. Para as regiões não visitadas, o mapeamento foi estendido tomando como base as “assinaturas” identificadas para Formação Barreiras nas áreas checadas em campo. É importante ampliar a checagem de campo, para confirmar se a extrapolação foi bem sucedida e se as “assinaturas” reconhecidas são válidas para a proposta de extensão das áreas de mapeamento. Esta avaliação é fundamental para a continuidade do estudo utilizando abordagem de mapeamento semi-automático, como adotada por Macedo (2014) e Silva (2015) na região adjacente, no norte fluminense.

O mapa de distribuição da Formação Barreiras integrado à análise de lineamentos e ao reconhecimento sedimentológico e estrutural realizado ao longo da área de estudo levou à proposição de um modelo evolutivo preliminar com destaque para a atuação de mecanismos tectônicos cenozoicos, como também discutido por Ribeiro (2010) e Brêda (2012). É importante avançar nas investigações para a validação deste modelo, investindo-se na ampliação e detalhamento dos levantamentos sedimentológicos e estruturais.

7. BIBLIOGRAFIA

- ALVES, J. S. E. 2016. **Faciologia do Grupo Barreiras no Sul do Estado do Espírito Santo**. Alegre. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde – Departamento de Geologia – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo. 69p.
- AMADOR, E.S. 1982. Depósitos relacionados à Formação inferior do Grupo Barreiras no Estado do Espírito Santo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 1982. v. 4, 1451-1460 p.
- AMADOR, E.S. & DIAS, G.T.M. 1978. Considerações preliminares sobre depósitos do Terciário Superior do norte do Espírito Santo. **Anais da Academia Brasileira Ciências**, 50(1), 121 p.
- ARAI, M. 2006. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. In: Congresso da ABEQUA – Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 10, Guarapari (ES). **Anais...**, 2006. 249 p.
- BRÊDA, T. C. 2012. **Análise multiescalar da Formação Barreiras na área emersa da bacia de Campos, entre Búzios e Campos dos Goytacazes (RJ)**. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 112p.
- BRICALLI, L.L. 2011. **Padrões de lineamentos e fraturamento neotectônico no estado do Espírito Santo (Sudeste do Brasil)**. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 221 p.
- CHRISMANN, J. V. V. 2014. **Mapeamento da Formação Barreiras na Região Norte Fluminense, entre os Rios Paraíba do Sul e Itabapoana**. Monografia (Geologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. 49p.
- DELVAUX, D. **Win-Tensor**. Versão 5.8.6. 2016
- ESRI. (2016): **ArcGIS Help 10.2**. Disponível em:
<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/018p00000008000000>.
Acesso em: Nov. 2016.
- GALLARDO, C.; SERRÃO, M.; MUNIS, M. 1987. O intemperismo dos gnaisses do sistema montanhoso do litoral Sudeste: um exemplo de atividade tectônica atual no município de Nova Venécia. **Anais do I Simpósio de Geologia Regional RJ-ES**, Boletim SBG, 1987. 210-226 p.
- HASUI, Y. 1990. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: SBG/MG, WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO, 1, Belo Horizonte, Boletim SBG/MG, 11:11-31.
- HATUSHIKA, R.S.; MELLO, C.L. & SILVA, C.G. 2005. Evidências de atuação neotectônica na formação do lago Juparanã-Linhares (ES). In: Congresso da ABEQUA – Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 10, Guarapari (ES). **Anais...**, 2005. 17p.

- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS NETO, M.C.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J.; JANASI, V.A. Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; C. DAL RÉ CARNEIRO, C.; BRITO NEVES, BB (orgs.). 2004. **Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Editora Beca, 203-235 p.
- IBGE. (2016): **Mapeamento sistemático em 1:50.000**. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/. Acesso em: 7 Jan. 2016.
- IEMA (2016). **Modelo Digital de Elevação**. Disponibilizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), setor DICART. 2016.
- LIMA, M.D.G. 2008. **A história do intemperismo na província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: implicações paleoclimáticas e tectônicas**. Tese (Doutorado em Geodinâmica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 251 p.
- LIU, C.C. 1987. A geologia estrutural do estado do Rio de Janeiro vista através de imagens MSS de *Landsat*. Simpósio de Geologia Regional RJ-ES, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 164-188 p. 1987.
- MACEDO, H. N. 2014. **Mapeamento semi-automático da Formação Barreiras na região norte do estado do Rio de Janeiro, a partir de dados SRTM**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 66 p.
- MELLO, C.L.; RODRIGUES, H.B. & HATUSHIKA, R.S. 2005. Tectônica quaternária e anomalias de drenagem na região centro-norte do Espírito Santo. *In*: Congresso da ABEQUA – Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 10, Guarapari (ES). **Anais...**, 2005. 25p.
- MIALL, A. D. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. **Earth Science Rev.** v. 22, p. 261-308.
- MIRANDA, D. J. 2007. **Análise de estruturas rúpteis associadas a deformações neotectônicas na região centro-norte do estado do Espírito Santo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 58 p.
- MORAIS, R. M. O. 2001. **Estudo faciológico da Formação Barreiras na região entre Maricá e Barra de Itabapoana, estado do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 113 p.
- MORAIS, R.M.O. 2007. **Sistemas fluviais terciários na área emersa da bacia do Espírito Santo (formações Barreiras e Rio Doce)**. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 144 p
- RIBEIRO, C. S. 2010. **Influência da tectônica pós-deposicional na distribuição da Formação Barreiras entre o rio Paraíba do Sul (RJ) e rio Doce (ES)**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 163 p. RICCOMINI, C. 1989. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. São Paulo. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade São Paulo, São Paulo. 256p.

- RICCOMINI, C. SANT'ANNA, L.G., FERRARI, A.L. 2004 Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: V. Mantesso-Neto, A. Battorelli, C. Dal Ré Carneiro & B.B. Brito Neves (orgs.). **Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Beca, 2004. p. 383-405.
- RODRIGUES, H.B. 2005. **Aspectos Geomorfológicos e Reativação Tectônica Cenozóica na Faixa de Lineamentos Colatina (Espírito Santo)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 52 p.
- SAADI, A. 1993. **Neotectônica da plataforma brasileira: esboço e interpretação preliminares**. *Geonomos*, 1(1): 1-15.
- SALVADOR, E. D. & RICCOMINI, C. 1995. **Neotectônica na região do alto estrutural de Queluz (SP-RJ, Brasil)**. *Revista Brasileira de Geociências*. 25(3):151-164.
- SILVA, S. M. L. 2015. **Semi-automatic identification of neogenic deposits by using high resolution digital surface models in southeastern Brazil**. Dissertation (Doktor der Naturwissenschaften) - Institut für Mathematik und Naturwissenschaften, Universität Tübingen. 153p.
- SILVA, S. F.; MACHADO, M. F.; 2014. **Geodiversidade do estado do Espírito Santo. Programa Geologia do Brasil, Levantamento da Geodiversidade**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM/ Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte. 120p.
- TAMARA, G. **Contribuição ao Estudo do Grupo Barreiras na Região Metropolitana de Vitória (ES)**. 1995. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 73p.
- VIEIRA, V.S.; MENEZES, R.G.; 2015. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais, escala 1:400.000**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM/ Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte. 289 p.
- WINTER, W.R.; JAHNERT, R.J.; FRANÇA, A.B. Bacia de Campos. In: MILANI, E. J. (coord.); RANGEL, H.D.; BUENO, G.V.; STICA, J.M.; WINTER, W.R.; CAIXETA, J.M.; PESSOA NETO, O.C. **Cartas Estratigráficas**. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 511-529, maio/nov. 2007.
- WOOD, J. D. 1996. **The geomorphological characterisation of digital elevation models**. Leicester. PhD Thesis, University of Leicester, UK.