

## Compartimentação morfoestrutural da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo

*Morphostructural compartments of the Itapemirim River Catchment, in the southern region of the State of Espírito Santo, Brazil*

Julia Peixoto-Oliveira<sup>1</sup>, Mirna Aparecida Neves<sup>2</sup>, Salomão Silva Calegari<sup>3</sup>, Felipe Guadagnin<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Avenida Athos da Silveira Ramos, 274, Sala J2-013, Cidade Universitária, CEP 21941-916, Rio de Janeiro, RJ, BR (julia.peixoto.oliveira@gmail.com)

<sup>2</sup>Departamento de Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Alegre, ES, BR (mirnaan@gmail.com)

<sup>3</sup>Programa de Pós-graduação em Geologia, Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, MG, BR (salomaocalegari@hotmail.com)

<sup>4</sup>Universidade Federal do Pampa - Unipampa, Caçapava do Sul, RS, BR (felipe@unipampa.edu.br)

Recebido em 26 de julho de 2017; aceito em 10 de abril de 2018

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi analisar a compartimentação morfoestrutural da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, localizada no sul do estado do Espírito Santo, região Sudeste do Brasil. O arranjo da rede de drenagem e a compartimentação do relevo na região são controlados por estruturas geológicas, de forma similar ao que é descrito ao longo do Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil. O arcabouço geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim pertence à Província Mantiqueira e, em termos geomorfológicos, à porção Norte da Serra da Mantiqueira. Rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino compõem a maior parte do substrato geológico da região, enquanto depósitos sedimentares cenozoicos ocorrem subordinadamente. As ferramentas de trabalho envolveram análise da rede de drenagem, de lineamentos, hipsometria e estudo da distribuição das coberturas sedimentares, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e descrições de campo. Foram identificados três compartimentos morfoestruturais na Bacia do Rio Itapemirim, denominados aqui de compartimentos Litorâneo, Cachoeiro e Mantiqueira. Cada compartimento reflete diferentes características do terreno, predominando tanto feições erosivas quanto de agradiação, em diferentes patamares topográficos delimitados por lineamentos estruturais. A complexidade dos padrões topográficos e da rede de drenagem da área é resultante de regiões com predomínio de processos erosivos ou deposicionais controlados por processos tectônicos atuantes ao longo do Cenozoico.

**Palavras-chave:** Morfoestrutura; Controle estrutural; Relevo; Região do Caparaó.

### Abstract

The aim of this work was to analyze the morphostructures of the Itapemirim River Catchment, located in the south of the State of Espírito Santo, southeastern Brazil. The drainage network arrangement and the compartments of relief are controlled by geological structures, which are similar to the features that have been described along the Cenozoic Rift System in southeastern Brazil. The geologic framework of the Itapemirim River Catchment is part of the Mantiqueira Province and, in geomorphological terms, is part of the northern section of the Mantiqueira Ridge. Precambrian rocks of the crystalline basement make up most of the geological framework, while Cenozoic sedimentary deposits occur subordinately. The working tools of this project involved an analysis of the drainage network, lineaments, hypsometry, and the study of the distribution of sedimentary covers, using remote sensing techniques and field descriptions. Three morphostructural compartments were identified in the Itapemirim River Catchment: the Coastal, Cachoeiro and Mantiqueira Compartments. Each compartment reflects different characteristics of the terrains, where erosion or aggradation processes predominate at different topographic levels that are delimited by structural lineaments. The complexity of topographic patterns and the drainage network in this area result from regions where erosional or depositional processes, which are controlled by tectonic process acting during the Cenozoic, predominate.

**Keywords:** Morphostructure; Structural control; Landforms; Caparaó Region.

## INTRODUÇÃO

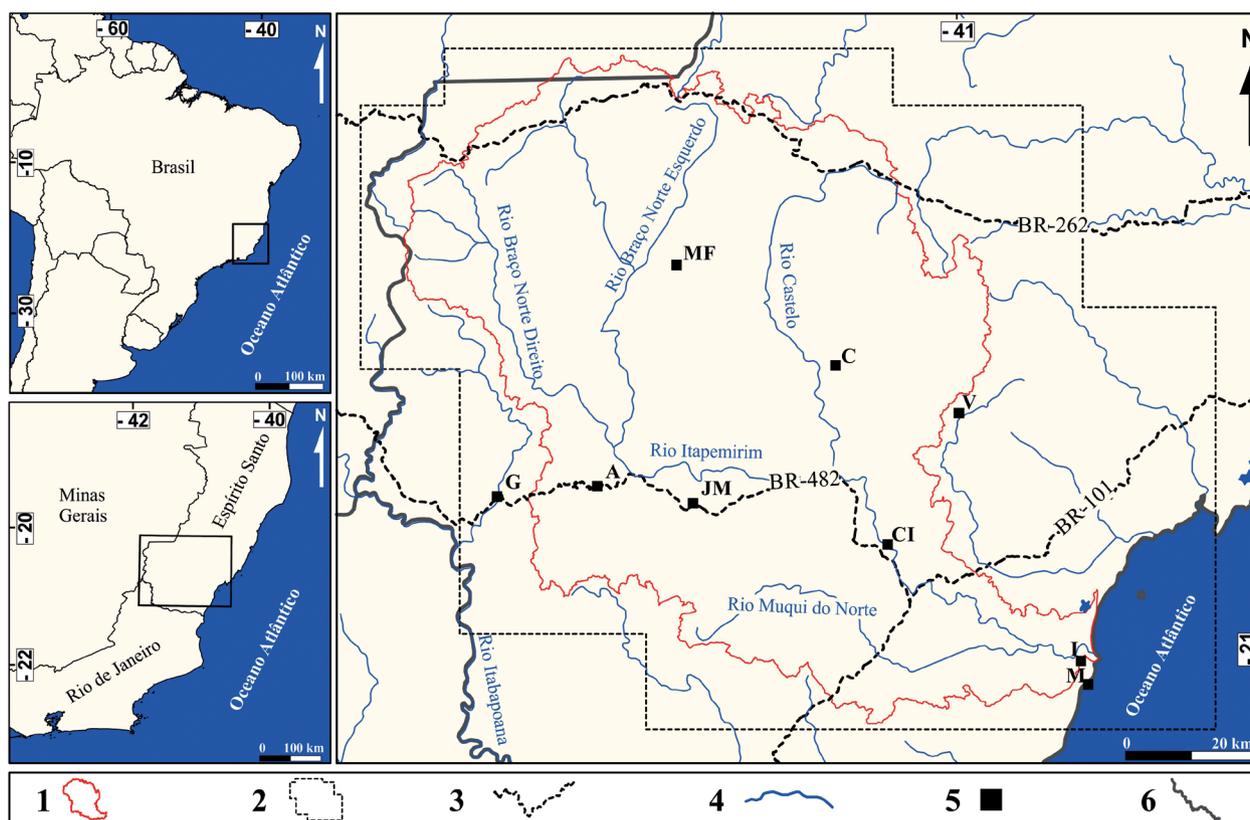
A investigação dos padrões geomorfológicos de uma região e suas relações com o substrato litológico-estrutural fornece informações cruciais para a compreensão da evolução geológica de uma área. A região sul do estado do Espírito Santo apresenta padrões geomorfológicos distintos, frutos dos processos geomorfológicos atuantes desde o Período Cretáceo, superimpostos ao substrato geológico da região. Nessa região, a principal bacia hidrográfica é a Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI), que é dividida em setores ou macroambientes que condicionam o uso da terra, sendo caracterizados por diferentes tipos de solo, vegetação e condições climáticas particulares (Lani et al., 2001).

A BHRI ocupa praticamente todo o sul do estado do Espírito Santo, desde a Serra do Caparaó até o Oceano Atlântico (Figura 1). A região se enquadra no Sistema das Serras do Mar e da Mantiqueira, que ocorre na região costeira do Brasil, desde o norte do estado de Santa Catarina até o estado do Rio de Janeiro (Almeida e Carneiro, 1998). A partir do norte do estado do Rio de Janeiro, a Serra do

Mar inflete para a direção ENE e a Serra da Mantiqueira continua até o sul do Espírito Santo, compondo as porções de relevo acidentado da Serra do Caparaó (Gatto et al., 1983). Na Serra do Caparaó, situa-se o Pico da Bandeira, o terceiro ponto mais alto do Brasil, com 2.897 m de altitude em relação ao nível do mar.

O complexo padrão geomorfológico da BHRI é fruto de uma trama litológica e estrutural complexa, gerada por eventos tectônicos compressoriais, que afetaram a região entre o Neoproterozoico Superior e o Paleozoico Inferior; e extensionais, responsáveis pela ruptura do supercontinente Gondwana e pela abertura do Oceano Atlântico a partir do Mesozoico. Os traços gerais dos principais eventos tectônicos ficaram registrados no relevo do sul do Espírito Santo. Nessa região ocorrem feições geológicas descritas também em outros estados brasileiros, porém ainda pouco abordadas na área da BHRI.

Neste trabalho são apresentadas a descrição e a delimitação dos compartimentos morfoestruturais da BHRI e de áreas adjacentes, de acordo com as relações entre os compartimentos e a distribuição das formas de relevo e das características litoestruturais da área.



M: Marataízes; I: Itapemirim; CI: Cachoeiro de Itapemirim; V: Vargem Alta; C: Castelo; JM: Jerônimo Monteiro; A: Alegre; G: Guaçu; MF: Muniz Freire; 1: limite da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim; 2: limite da área de estudos; 3: rodovias federais; 4: rios principais; 5: centros urbanos; 6: limite interestadual.

**Figura 1.** Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, no sul do estado do Espírito Santo.

## MÉTODOS

O termo “morfoestrutura” é empregado aqui no sentido proposto por Gerasimov e Mescherikov na primeira metade do século XX, que consideram as formas de relevo como resultado da interação entre fatores endógenos e exógenos (Corrêa et al., 2010), envolvendo atividade tectônica superposta por processos climáticos.

A partir da integração entre informações geológico-estruturais e geomorfológicas compiladas da literatura e de novos dados adquiridos no presente trabalho, apresenta-se a delimitação dos compartimentos morfoestruturais da BHRI. A integração das informações foi realizada a partir de análise de dados de campo e dados cartográficos.

Os dados de campo envolveram observação e descrição das formas de relevo com registro fotográfico, realizados em transectos abrangendo toda a área de estudos, desde as cabeceiras da BRHI, na região da Serra do Caparaó, até o litoral.

Os dados cartográficos foram tratados por meio de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Foram utilizados mapas topográficos em escala 1:50.000 fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e imagens orbitais ASTER GDEM v2 com resolução espacial de 30 m (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model Version 2*) de NASA e METI (2011). As fotografias aéreas em formato digital utilizadas são disponibilizadas pelo Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo (IEMA, 2007), em escala de 1:35.000, referente ao aerolevanteamento, e escala de 1:15.000, referente ao ortofotomosaico, com resolução espacial de 1 m. O padrão de exatidão cartográfica das imagens é considerado alto (classe A), com erro de posicionamento máximo de 7,5 m. Os dados foram integrados em ambiente SIG com o auxílio do *software* ArcMap 10.0® (*Environmental Systems Research Institute, Inc*), no Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) zona 24s, DATUM SIRGAS 2000.

As unidades litoestratigráficas foram reclassificadas e agrupadas para a geração de um mapa geológico simplificado, a partir da compilação e da integração dos mapas geológicos disponíveis na literatura: a Folha Cachoeiro de Itapemirim (SF.24-V-A), na escala 1:250.000 (Vieira, 1997); a Folha Vitória (SF.24), na escala 1:1.000.000 (Silva et al., 2004); e o Mapa Geológico do estado do Espírito Santo, na escala 1:400.000 (Vieira et al., 2014). Essa classificação foi baseada principalmente nas características litológicas das rochas que ocorrem na BHRI, com o intuito de identificar a influência dos diferentes litotipos na compartimentação geomorfológica da bacia.

A hidrografia disponibilizada em GEOBASES (2002) sob a forma de dados vetoriais foi utilizada para a geração do mapa de drenagens. Foram realizadas correções nos dados vetoriais com o auxílio das fotografias aéreas ortorretificadas,

para melhorar a localização dos cursos d'água. A descrição da densidade e dos padrões de drenagem foi realizada conforme Howard (1967) e Monteiro-Filho (2009). As fotografias aéreas sobrepostas às curvas de nível foram utilizadas para a confecção do mapa de coberturas sedimentares cenozoicas. As coberturas sedimentares foram vetorizadas a partir da identificação de depósitos ao longo dos trechos de drenagem na escala 1:25.000.

O traçado de feições lineares observadas em imagens de relevo sombreado, geradas com ângulos de iluminação de 45° e azimutes de 045° e 315°, foi digitalizado para a geração do mapa de lineamentos. A variação azimutal foi utilizada para destacar as feições lineares de direção NE (iluminação de 315°) e NW (iluminação de 045°). O mapa de densidade de lineamentos foi gerado utilizando a ferramenta *line density* do ArcMap 10.0®, que calcula a magnitude dos traços (lineamentos) que caem dentro de um círculo de raio definido, em torno de uma célula. Assim, foi atribuído o valor de 3,5 km para o raio do círculo e a densidade foi calculada em unidades de comprimento por unidade de área (km/km<sup>2</sup>).

Em observações de campo, sempre que possível, foi averiguado se as ocorrências de coberturas sedimentares correspondiam aos corpos demarcados em imagem aérea. Também foram descritas as formas de relevo seguindo a classificação proposta por Monteiro-Filho (2009). Da Tabela 1, consta um quadro-resumo com a nomenclatura geomorfológica utilizada e o significado de cada termo.

## CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO

A BHRI está inserida na Província Mantiqueira, unidade geotectônica formada no Neoproterozoico, durante o ciclo orogênico Brasileiro/Pan-africano (e.g., Almeida et al., 1981; Alkmin et al., 2006, 2007; Heilbron et al., 2004). As unidades geológicas do embasamento cristalino têm sua origem vinculada aos eventos tectônicos que criaram a Província Mantiqueira e compõem cerca de 90% dos litotipos presentes na bacia. Os 10% restantes são consistidos pela Formação Barreiras, que ocupa porções descontínuas da faixa litorânea, e pelos depósitos sedimentares aluviais, fluviais e litorâneos.

A Formação Barreiras, definida originalmente como Grupo Barreiras (Arai, 2006) na região Norte do Brasil, é relacionada à elevação eustática global do Mioceno Médio (Barreiras Inferior) e do Plioceno (Barreiras Superior). Nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil, a Formação Barreiras é descrita como sistemas fluviais entrelaçados associados a leques aluviais (Vilas Boas et al., 2001). No estado do Rio de Janeiro, Moraes et al. (2006) relacionam a Formação Barreiras ao Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil, desenvolvido entre o Eoceno e o Oligoceno (e.g.,

Riccomini et al., 1989; Zalán e Oliveira, 2005). Alguns autores descrevem deformação de natureza Neotectônica afetando a Formação Barreiras (e.g., Furrier et al., 2006; Nogueira et al., 2006; Ribeiro, 2010).

### Unidades litoestratigráficas

O mapa geológico da BHRI (Figura 2) mostra a ocorrência de unidades do Embasamento Paleoproterozoico, compostas por granulitos, gnaisses e gnaisses miloníticos (Vieira, 1997; Vieira et al., 2014; Silva et al., 2004). As unidades do Embasamento Neoproterozoico são constituídas por gnaisses com intercalações de anfíbolitos, quartzitos, rochas calcissilicáticas e mármore; gnaisses quartzosos; gnditos; kinzingitos; xistos com intercalações de rochas metavulcânicas; charnoquitos; e ortognaisses

granodioríticos, graníticos e tonalíticos (Vieira, 1997; Vieira et al., 2014; Silva et al., 2004). Rochas intrusivas tardi a pós-tectônicas, de composição ácida a básica e idade do Neoproterozoico ao cambriano, também ocorrem na BHRI (Wiedemann-Leonardos et al., 2000). Os sedimentos cenozoicos concentram-se na região sudeste da área, junto à faixa litorânea, compreendendo a Formação Barreiras e sedimentos aluviais, fluviais e costeiros (Vieira, 1997; Vieira et al., 2014).

### Estruturas geológicas regionais

As principais estruturas geológicas na BHRI são foliações gnáissica e milonítica, que seguem *trend* estrutural de direção NE-SW a N-S (Wiedemann et al., 2002). A foliação milonítica está presente em zonas de cisalhamento

**Tabela 1.** Descrição dos modelados de relevo encontrados na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim utilizando a classificação proposta por Monteiro-Filho (2009).

Modelados de relevo identificados		Descrição
Modelos de acumulação		
Fluviais, marinhos e fluviomarinhos	Planície	Áreas planas de acumulação de sedimentos fluviais e/ou marinhos/costeiros sujeitas a inundações periódicas: várzeas atuais, praias, restingas, manguezais, ilhas-barreira etc.
	Terraço	Áreas planas de acumulação de sedimentos fluviais e/ou marinhos com ruptura de declive em relação às planícies atuais, entalhada devido a mudanças de condições de escoamento e consequente retomada de erosão. Podem ser em eventos extremos.
Gravitacionais, de enxurrada e inundação	Rampa de colúvio	Formas suavemente inclinadas, associadas à coalescência de depósitos coluviais. Ocorrem em baixa encosta, depressões e anfiteatros.
	Plano inundável indiferenciado	Pequenas bacias resultantes de planos convergentes, sujeitas ou não a inundações, podendo apresentar arreísmo. Podem corresponder a paleocanais colmatados.
Modelos de aplanamento		
Pediaplano		Superfícies de aplanamento que perderam a continuidade em consequência de mudança do sistema morfogenético. Aparecem frequentemente mascarados, inumados por coberturas detríticas, de alteração, couraças e/ou latossolos. Às vezes, encontram-se desnudados em consequência da exumação de camada sedimentar ou remoção de cobertura preexistente.
Pedimento		Superfícies de aplanamento capeadas por material detrítico descontínuo sobre a rocha, não apresentando dissecação marcada ou deposição excessiva. Geralmente apresentam forte ângulo no contato com a vertente montanhosa íngreme (ruptura), enquanto a jusante suaviza-se com a deposição detrítica rumo aos vales ou às depressões. Situam-se na periferia de áreas montanhosas que sofreram degradação lateral da paisagem.
Modelos de dissecação		
Homogêneo		Não há controle estrutural marcante no modelado, caracterizado por colinas, morros e interflúvios tabulares. Predomina o padrão de drenagem dendrítico, além de outros compostos, cujos canais não obedecem a uma direção preferencial.
Estrutural		Há dissecação fluvial marcada por evidente controle estrutural, dando origem a cristas, vales e sulcos estruturais. Ocorrem padrões de drenagem que indicam possíveis estruturas geológicas ou acamamento estratigráfico, tais como os padrões treliça, paralelo e retangular.
Em ravinas		A dissecação em ravinas é caracterizada por alta densidade de incisões resultantes da atuação predominante da erosão pluvial sob a forma de escoamento concentrado em vertentes íngremes.

dúcteis, de cinemática predominantemente transcorrente destal (e.g., Alkmin et al., 2006). A Zona de Cisalhamento Guaçuí atravessa toda a BHRI em sua porção W (Figura 2) (Bayer et al., 1987), compondo um feixe de lineamentos NNE-SSW.

Outra estrutura geológica observada regionalmente é o Lineamento Alegre (Calegari et al., 2016), de direção NNW-SSE, subparalelo ao Lineamento Colatina (Belém, 2014), este presente no norte do estado. O Lineamento Alegre atravessa todo o sul capixaba e penetra na Bacia de Campos, onde controla altos e baixos estruturais (Calegari et al., 2016); porém, na área continental estudada, não delimita compartimentos morfoestruturais. Destaca-se, por outro lado, o Lineamento Piúma (Féboli, 1993) e estruturas associadas, que compõem um *trend* de direção NW-SE que delimita altos estruturais na BHRI.

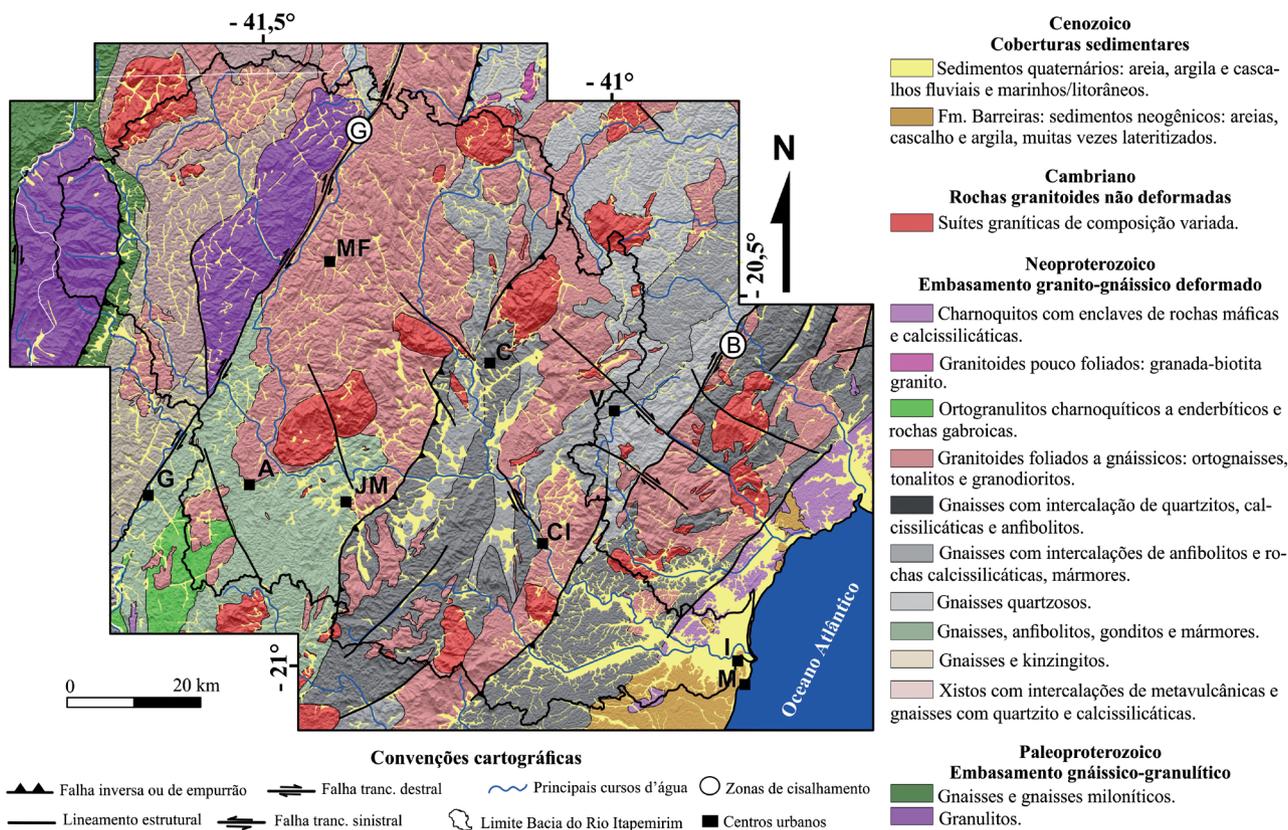
Bricalli e Mello (2013) afirmam que eventos tectônicos pós-miocênicos reativaram estruturas geológicas do embasamento cristalino no Espírito Santo e afetaram a Formação Barreiras, gerando vales alinhados, *shutter ridges*, facetas triangulares e lagos alinhados.

### Geomorfologia

A BHRI abrange dois domínios geomorfológicos: a Faixa de Dobramentos Remobilizados, com as unidades Mantiqueira Setentrional e Colinas e Maciços Costeiros; e o domínio dos Depósitos Sedimentares, englobando as unidades Planície Costeira e Tabuleiros Costeiros (Gatto et al., 1983).

A região da Mantiqueira Setentrional compreende os Patamares Escalonados do Sul Capixaba e os Maciços do Caparaó (Gatto et al., 1983). São terrenos com serras de grandes altitudes, escarpas relacionadas a processos de falhamento e vales geralmente retilíneos, com embasamento cristalino aflorante (Gatto et al., 1983). A região de Colinas e Maciços Costeiros são conjuntos de formas de relevo do tipo pães-de-açúcar e serras orientadas com intrusões graníticas que constituem os *inselbergs* característicos do sul do Espírito Santo (Gatto et al., 1983).

Os Tabuleiros Costeiros abrangem a área de ocorrência da Formação Barreiras, com colinas amplas de topos aplainados; enquanto as Planícies Costeiras englobam terrenos planos situados junto à região costeira, mas que também



Centros urbanos: M: Marataizes; I: Itapemirim; CI: Cachoeiro de Itapemirim; V: Vargem Alta; C: Castelo; JM: Jerônimo Monteiro; A: Alegre; G: Guaçuí; MF: Muniz Freire. Zonas de Cisalhamento: G: Zona de Cisalhamento Guaçuí; B: Zona de Cisalhamento Batatal.

**Figura 2.** Mapa geológico simplificado da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim com coberturas sedimentares mapeadas neste trabalho (unidades do embasamento cristalino conforme Vieira et al., 2014).

compõem vales intercalados nos Tabuleiros Costeiros (Gatto et al., 1983).

Lani et al. (2001) dividem a BHRI nos macroambientes: Pico da Bandeira, Celina, Cachoeiro, Terciário (ou Platôs Litorâneos), Litoral Mangue e Litoral Restinga. Os dois primeiros são os compartimentos mais acidentados, com solos extremamente pouco desenvolvidos. Os Platôs Litorâneos também possuem solos pouco desenvolvidos, enquanto o compartimento Cachoeiro possui solos mais diversificados e menos desenvolvidos (Lani et al., 2001).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

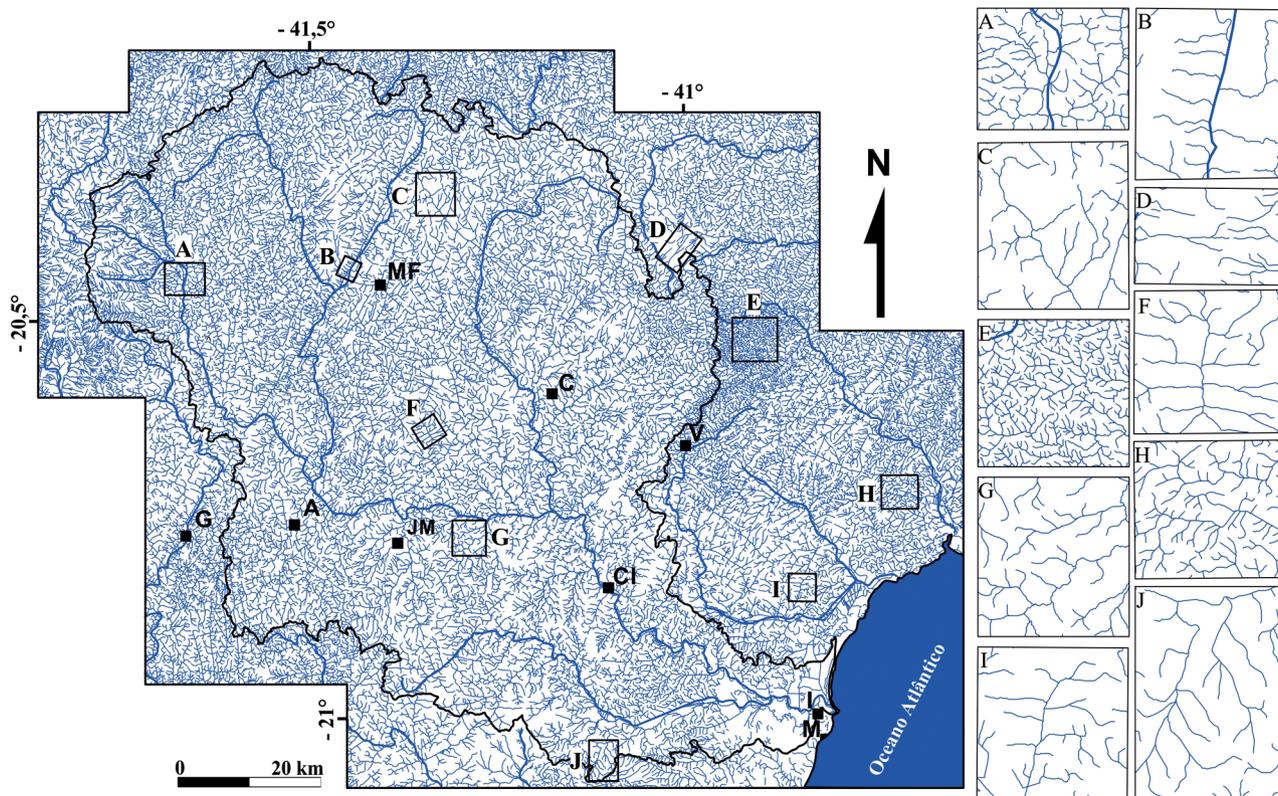
### Rede de drenagem

A BHRI possui uma área de aproximadamente 6.000 km<sup>2</sup>. O divisor de águas no lado oeste é a Serra do Caparaó, onde se origina grande parte das nascentes da rede hidrográfica que drena para leste (Figura 3). O rio Itapemirim forma-se na porção média da bacia, a partir da junção dos rios Braço Norte Direito e Braço Norte Esquerdo. Posteriormente, o

Itapemirim recebe as águas dos rios Castelo e Muqui do Norte e deságua no Oceano Atlântico, no município de Itapemirim (Figura 1).

Os rios Braço Norte Direito e Braço Norte Esquerdo possuem parte de seus cursos controlados pelo Lineamento Guaçuí, que reflete a orientação da foliação milonítica existente ao longo da Zona de Cisalhamento Guaçuí (Figura 2). Tal controle provoca o aparecimento de diversas capturas de drenagem e muitos trechos alinhados na direção NE-SW a NNE-SSW (Figura 3). No início do seu curso, o rio Itapemirim segue o sentido predominante para leste e adquire o sentido SE após receber o rio Castelo, próximo à cidade de Cachoeiro de Itapemirim. A partir desse ponto, observa-se um padrão em “zigue-zague”, no qual o rio passa do sentido SE para SW compondo uma série de cotovelos.

A densidade da rede de drenagem varia de média a alta na maior parte da BHRI (Figuras 3A, 3E), onde afloram rochas do embasamento cristalino, evidenciando maior escoamento superficial e pouca infiltração das águas pluviais. Localmente, a densidade pode ser baixa, como nas coberturas sedimentares e em platôs elevados (Figura 3C), indicando que a infiltração das águas é relativamente maior nesses locais.



M: Marataízes; I: Itapemirim; Cl: Cachoeiro de Itapemirim; V: Vargem Alta; C: Castelo; JM: Jerônimo Monteiro; A: Alegre; G: Guaçuí; MF: Muniz Freire.

**Figura 3.** Mapa da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (esquerda) e exemplos dos diferentes padrões e graus de densidade observados (direita): (A) padrão dendrítico; (B) padrão treliça; (C) baixa densidade de drenagem; (D) padrão paralelo; (E) alta densidade de drenagem; (F) padrão retangular; (G) padrão dendrítico; (H) padrão dendrítico; (I) padrão retangular; (J) padrão paralelo.

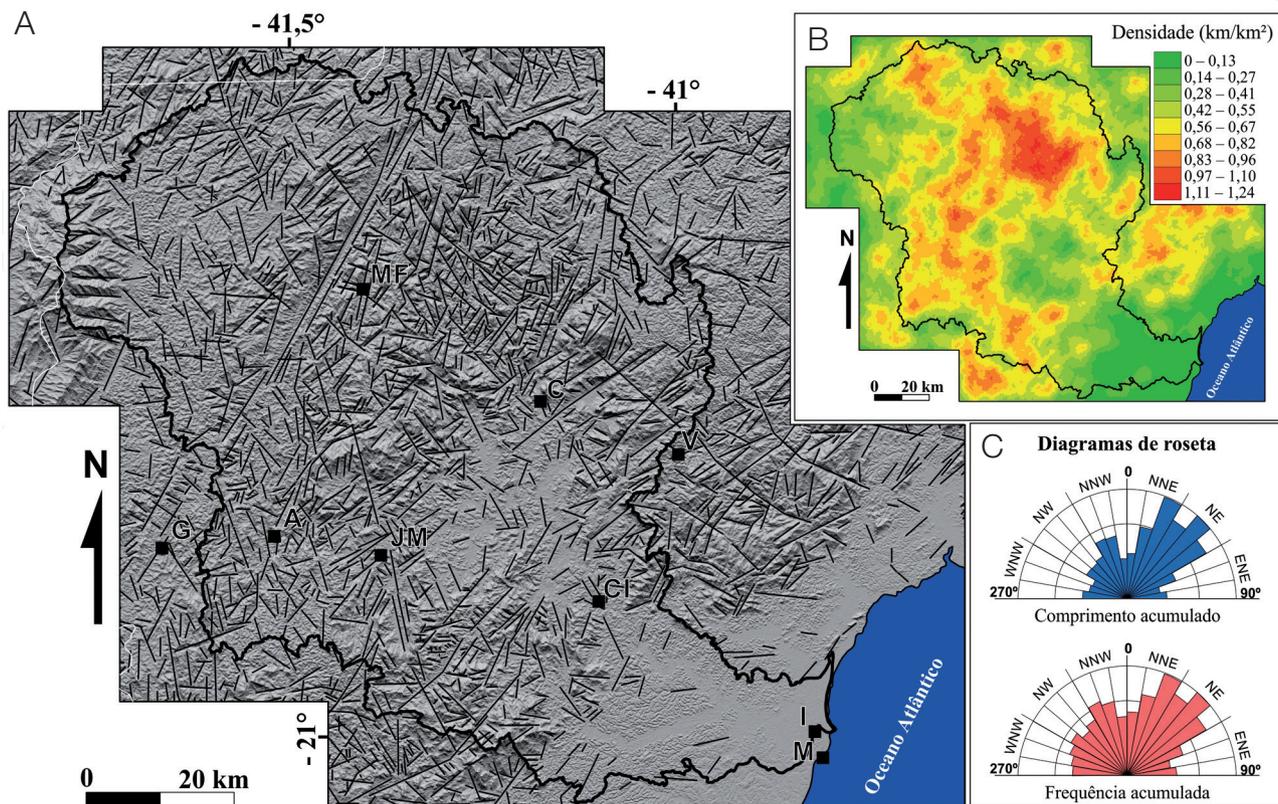
Predomina o padrão dendrítico da rede de drenagem (Figura 3); porém, observando-se em detalhe, percebe-se a ocorrência de padrões dos tipos treliça, paralelo e retangular. Esses padrões de drenagem indicam controle estrutural do relevo, principalmente associados a lineamentos estruturais. Um exemplo é o padrão de drenagem do tipo treliça que ocorre com frequência na região da Zona de Cisalhamento Guaçuí (Figura 3B), assim como o padrão de drenagem paralelo, próximo aos divisores da BHRI (Figuras 3D e 3J). Também se destaca o padrão retangular, comumente observado entre as cidades de Piúma e Cachoeiro de Itapemirim (Figuras 3F, 3I).

### Lineamentos

Os lineamentos de direção NE-SW e NNE-SSW são os mais frequentes e de maior comprimento; secundariamente, é possível observar um conjunto de lineamentos de direção NNW-SSE (Figura 4A). Os lineamentos no quadrante NE-SW refletem o controle estrutural exercido pela foliação gnáissica, difundida na área, e milonítica, que ocorre nas zonas de cisalhamento dúctil. Destacam-se, entre elas, as zonas de

cisalhamento Guaçuí e Batatal (Figuras 2 e 4). A ausência de lineamentos de grande porte na porção sudeste da área pode ser explicada pela relativa abundância de sedimentos cenozoicos nesse setor, que recobrem as estruturas do embasamento (Figura 4A).

O mapa de densidade de lineamentos (Figura 4B) mostra maior concentração de traços na porção centro-norte da área, onde afloram ortognaisses em cotas elevadas, sendo dissecados. Existe um *trend* NE-SW formado por faixas de maior densidade de lineamentos orientadas nessa direção, destacadamente ao longo das zonas de cisalhamento Guaçuí, Batatal e outras (menos contínuas, não nominadas na literatura). Também ocorrem *trends* NW-SE com maior densidade de lineamentos (Figura 4B), que correspondem a lineamentos estruturais como o Lineamento Piúma (Lourenço et al., 2016) e outros ainda não descritos na literatura. Baixa densidade de lineamentos ocorre na porção central da BHRI e na faixa litorânea, relacionada à concentração de coberturas sedimentares nessas porções e à presença de manto de intemperismo mais espesso, recobrando a rocha sã (Figuras 2 e 4).



M: Marataízes; I: Itapemirim; Cl: Cachoeiro de Itapemirim; V: Vargem Alta; C: Castelo; JM: Jerônimo Monteiro; A: Alegre; G: Guaçuí; MF: Muniz Freire.

**Figura 4.** Estruturas lineares observadas no relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim. (A) Mapa de lineamentos traçados sobre imagem de relevo sombreado (iluminação de NE e NW sobrepostas); (B) mapa de densidade de lineamentos; (C) diagramas de roseta de frequência e comprimento acumulado.

## Hipsometria

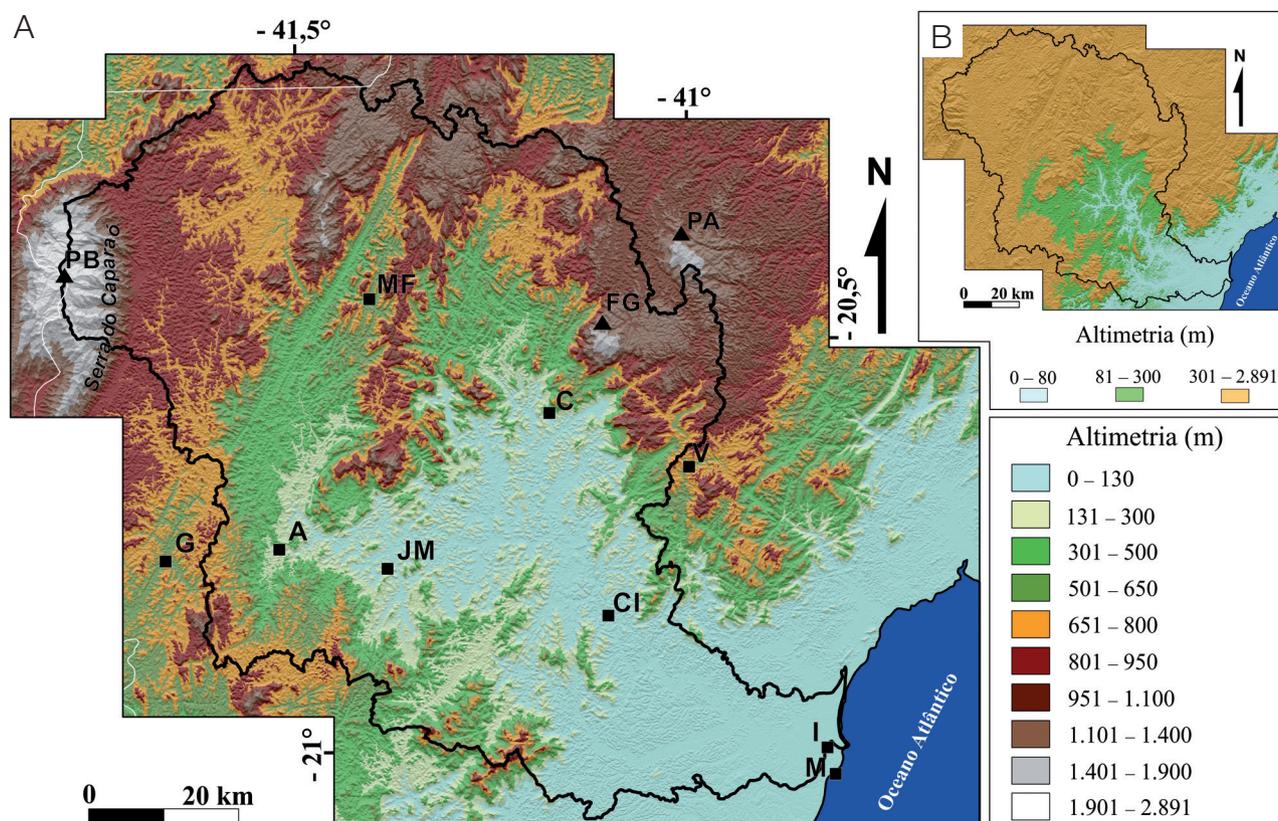
O mapa hipsométrico da BHRI permite a delimitação de diferentes compartimentos topográficos, compondo “patamares” observados nos intervalos de elevação acima do nível do mar (Figura 5).

Próximo à região litorânea, situa-se a porção mais rebaixada da área, compondo uma faixa que acompanha a borda continental em altitudes que variam entre 0 e 300 m acima do nível do mar (Figura 5). Esse patamar adentra a porção central da BHRI, passando pelas cidades de Cachoeiro de Itapemirim e Jerônimo Monteiro até as cidades de Castelo e Alegre, que estão no limite desse domínio. Acima dos 300 m de altitude há um intervalo de maior declividade — até, aproximadamente, 650 m — e, mais elevado do que esta cota, ocorre o patamar superior. Essa unidade se estende até cerca de 1.400 m nas porções nordeste, norte e noroeste da área, onde coincide com os divisores de água da BHRI. Acima dos 1.400 m de altitude ocorrem alguns topos ou pontões, destacando-se a Serra do Caparaó, onde se situa o Pico da Bandeira, ponto de maior altitude da área, com 2.897 m.

Os limites entre os patamares de altitude são geralmente alinhados, compondo lineamentos orientados de forma concordante com as estruturas geológicas observadas. As direções NE-SW a NNE-SSW e NW-SE aparecem como vales alinhados internamente aos patamares e também separando desníveis topográficos alinhados (Figura 5).

## Coberturas sedimentares

O mapa de coberturas sedimentares da BHRI inclui depósitos aluviais, fluviais e costeiros recentes e a Formação Barreiras. As coberturas se distribuem de forma diferencial, ao longo de três setores ou compartimentos (Figura 6). Ao longo da faixa atlântica, na porção topograficamente inferior da BHRI, os depósitos sedimentares são mais abundantes e compõem unidades com drenagem de padrão dendrítico. Na porção média da BHRI os depósitos sedimentares diminuem em área e adquirem formas “ameboides” (Figura 6). Essas duas porções são distintas do restante da área, onde as coberturas aluviais se distribuem de forma estruturalmente controlada, preenchendo vales alinhados, principalmente nas direções



M: Marataizes; I: Itapemirim; CI: Cachoeiro de Itapemirim; V: Vargem Alta; C: Castelo; JM: Jerônimo Monteiro; A: Alegre; G: Guaçu; MF: Muniz Freire; PB: Pico da Bandeira; FG: Forno Grande; PA: Pedra Azul.

**Figura 5.** Relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim. (A) Mapa hipsométrico sobre relevo sombreado (iluminação NE e NW sobrepostas); (B) intervalos utilizados na compartimentação topográfica da área (altimetria em metros acima do nível do mar).

NNE-SSW, NE-SW, NNW-SSE e NW-SE (Figura 6). As direções NNE-SSW, NE-SW e NNW-SSE são observadas próximas aos principais lineamentos regionais.

### Compartimentação morfoestrutural

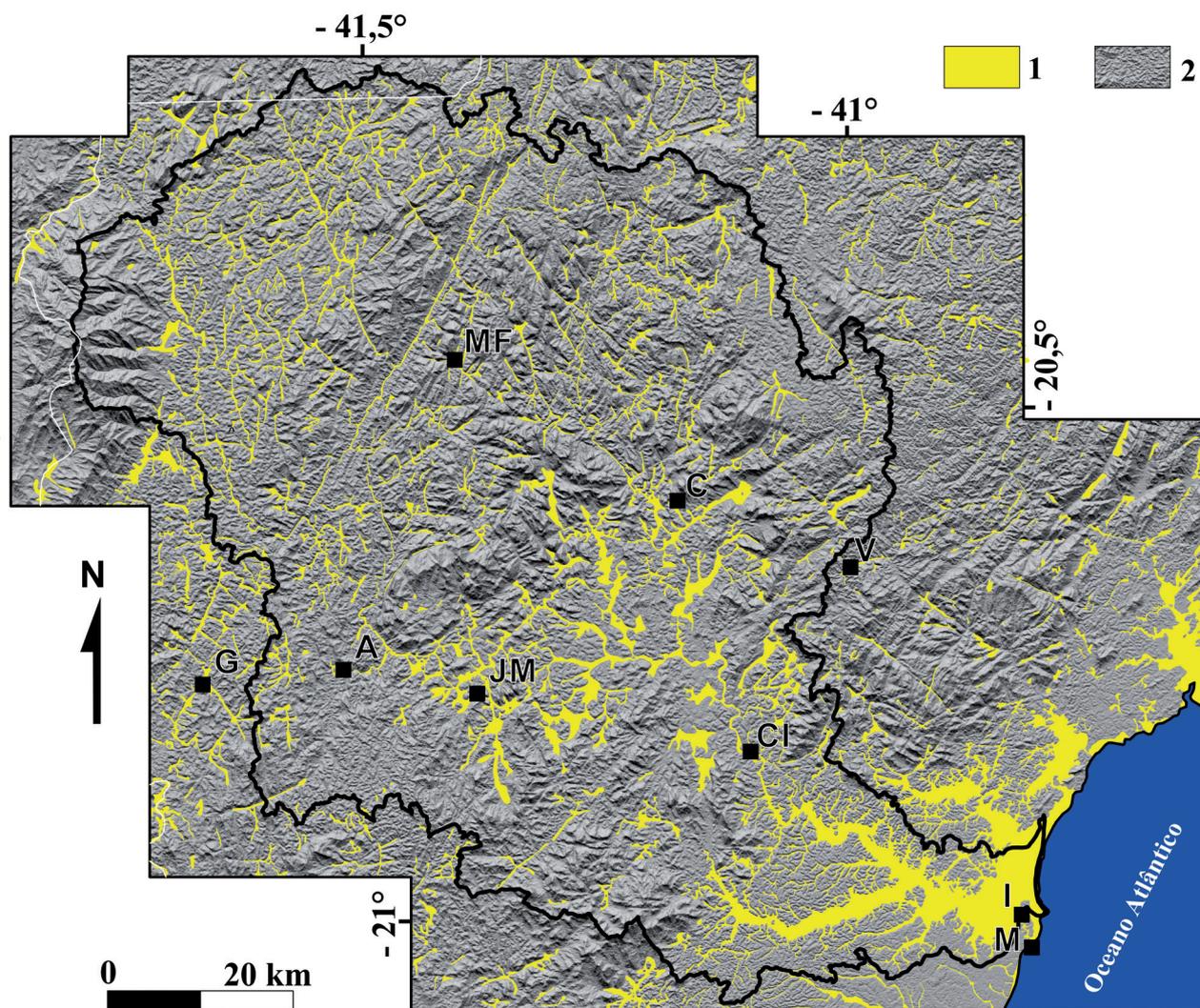
A distribuição dos padrões de drenagem, dos lineamentos, dos patamares topográficos e das coberturas sedimentares evidencia três compartimentos morfoestruturais na área ocupada pela BHRI. Os limites desses compartimentos são comumente controlados por lineamentos de extensão regional ou por escarpas alinhadas (Figura 7A). Existe um “efeito escala” que pode dificultar o traçado dos limites entre os compartimentos na observação de detalhe. Contudo, a análise dos padrões gerais dos mapas em escala regional permite

a delimitação dos compartimentos conforme a Figura 7 (linha vermelha pontilhada). Tal separação obedece não apenas às diferenças altimétricas, mas também aos padrões de distribuição das coberturas sedimentares (Figura 7B) e dos lineamentos (Figura 7C).

Os três compartimentos são denominados aqui como Compartimento Litorâneo, que ocorre ao longo da faixa atlântica; Compartimento Cachoeiro, que abrange a porção central da média BHRI; e Compartimento Mantiqueira, patamar mais elevado, correspondente à região serrana (Figura 7).

#### Compartimento Litorâneo

O Compartimento Litorâneo abrange uma faixa paralela à região costeira e sua delimitação com os demais



M: Marataízes; I: Itapemirim; Cl: Cachoeiro de Itapemirim; V: Vargem Alta; C: Castelo; JM: Jerônimo Monteiro; A: Alegre; G: Guaçu; MF: Muniz Freire; 1: coberturas sedimentares; 2: embasamento cristalino.

**Figura 6.** Mapa de coberturas sedimentares presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim sobre relevo sombreado (iluminação NE e NW sobrepostas).

compartimentos é feita por um lineamento de direção geral NE-SW. Esse lineamento constitui também uma importante quebra de relevo, separando áreas de diferentes patamares de altitude e formas de relevo contrastantes (Figura 7).

Comparando-se com a classificação geomorfológica apresentada em Gatto et al. (1983), esse compartimento compreende, com modificações em termos de delimitação, as regiões de Colinas e Maciços Costeiros, Planícies Costeiras e Tabuleiros Costeiros. Para Lani et al. (2001), essas áreas estariam englobadas nos macroambientes Platôs Litorâneos (ou Terciário), Litoral Mangue e Litoral Restinga.

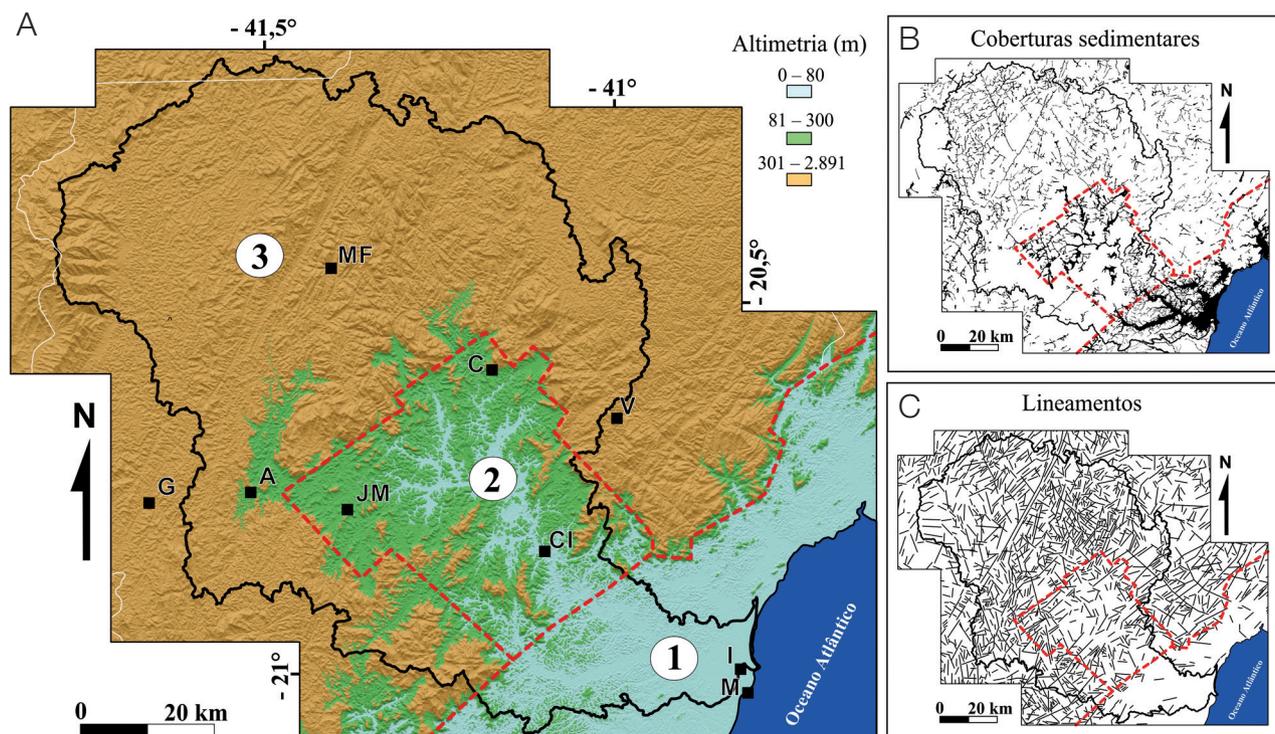
Nesse compartimento, o embasamento é composto principalmente por rochas de idade paleoproterozoica, as quais não diferem muito daquelas presentes nos demais compartimentos, com exceção da idade.

O modelo de dissecação nessa porção da área é do tipo homogêneo, predominando extensos tabuleiros e colinas nas áreas de ocorrência das coberturas sedimentares e dos morros de vertente convexa no embasamento cristalino. Predomina o padrão retangular na rede de drenagem, ocorrendo localmente os padrões do tipo paralelo e dendrítico (Figura 3). A densidade da rede de drenagem é, em geral, baixa e o aprofundamento das incisões é médio.

Essa é a principal área de acumulação de sedimentos na BHRI, sendo que a Formação Barreiras ocorre preservada nesse compartimento. Os modelos de acumulação predominantes são de gênese fluvial, nos quais as principais formas são as planícies de inundação (Figura 8A) e os terraços fluviais. Também ocorrem modelos de gênese fluvial costeira, tendo como principais características as falésias vivas (Figura 8B), as praias, os terraços fluviais e marinhos. O predomínio de modelados de acumulação indica que esses terrenos estão sujeitos a inundações e processos de assoreamento.

#### Compartimento Cachoeiro

O Compartimento Cachoeiro abrange a porção central da média BHRI e é delimitado por lineamentos ou escarpas alinhadas na direção NE-SW e NW-SE (Figura 7). A região distingue-se das demais pelas formas de relevo mais acidentadas do que no Compartimento Litorâneo e mais suaves do que no Compartimento Mantiqueira. O Compartimento Cachoeiro não foi descrito por Gatto et al. (1983), mas é possível delinear essa área, onde ocorrem as Colinas e os Maciços Costeiros. Para Lani et al. (2001), essa área corresponde ao macroambiente Cachoeiro.



M: Marataizes; I: Itapemirim; Cl: Cachoeiro de Itapemirim; V: Vargem Alta; C: Castelo; JM: Jerônimo Monteiro; A: Alegre; G: Guaçu; MF: Muniz Freire; 1: Compartimento Litorâneo; 2: Compartimento Cachoeiro; 3: Compartimento Mantiqueira.

**Figura 7.** Compartimentos morfoestruturais da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim delimitados pela linha vermelha pontilhada. (A) Compartimentos sobre dados de altimetria; (B) delimitação dos compartimentos sobre mapa de coberturas cenozoicas; (C) sobre mapa de lineamentos.

A porção central da BHRI não difere das demais áreas pelo seu conteúdo litológico pré-cambriano, e sim pela forma de ocorrência dos depósitos sedimentares. Estes são menos frequentes do que no Compartimento Litorâneo e a forma dos corpos denota maior controle estrutural (Figura 6). Por outro lado, os corpos são mais extensos e abundantes do que no Compartimento Mantiqueira.

O padrão de drenagem predominante é o tipo dendrítico (padrão referente ao modelo de dissecação homogêneo, segundo Monteiro-Filho, 2009), mas também ocorre padrão retangular (Figura 3). De forma similar ao Compartimento Litorâneo, a tendência da densidade da drenagem é fina e o aprofundamento das incisões é forte. Em alguns locais é possível observar o início de processos de ravinamento e, por vezes, ravinas já desenvolvidas, porém de forma menos proeminente do que no Compartimento Mantiqueira.

No Compartimento Cachoeiro existem extensos vales abertos de bordas suaves que compõem os lineamentos observados nas imagens de sensores remotos. Alguns desses lineamentos se estendem ao longo de toda a área, atravessando mais de um compartimento. Um exemplo é o Lineamento Alegre (Calegari et al., 2016), que atravessa o Complexo Intrusivo Santa Angélica, próximo a Jerônimo Monteiro, controlando escarpas alinhadas e incisão de vales (Figura 8D). Outros lineamentos de abrangência regional delimitam compartimentos, separando-os por meio de escarpas alinhadas nas direções NE-SW e NW-SE (Figura 7).

Os modelos de acumulação observados no Compartimento Cachoeiro são os de gênese fluvial e gravitacional de enxurrada e inundação; enquanto as principais formas observadas são planícies de inundação, terraços e rampas de colúvio.

O modelo de dissecação predominante é do tipo estrutural. São comuns os morros com formas de “meia-laranja” (Figura 8C) e, localmente, do tipo “pão-de-açúcar”. Alguns pontões de topo aguçado e lajeados aparecem distribuídos de forma isolada nesse compartimento.

Não há predomínio de um tipo de modelado, ocorrendo com a mesma importância áreas sujeitas a inundações, assoareamentos e também processos erosivos e movimentos de massa. Por ser a região de maior densidade populacional da bacia, onde se situa o principal centro urbano da região — Cachoeiro de Itapemirim —, a área exige maior atenção em termos de planejamento do uso da terra e gestão ambiental.

### *Compartimento Mantiqueira*

O Compartimento Mantiqueira representa a porção norte da Serra da Mantiqueira. A Figura 8E mostra esse compartimento ao fundo, visto a partir do Compartimento Cachoeiro, em primeiro plano. Esse compartimento coincide com a porção mais elevada da área, onde os processos erosivos atuam de forma intensa e expõem feições litoestruturais do embasamento pré-cambriano. Essa unidade corresponde à

região da Mantiqueira Setentrional de Gatto et al. (1983), envolvendo os macroambientes Celina e Pico da Bandeira, conforme Lani et al. (2001).

Os padrões de drenagem observados no Compartimento Mantiqueira são do tipo dendrítico, treliça, paralelo e retangular (Figura 3). A densidade da rede de drenagem varia de baixa a média e a incisão é profunda. O controle estrutural na distribuição dos depósitos sedimentares é marcante (Figura 6), podendo-se traçar lineamentos a partir de suas formas. Os litotipos do embasamento cristalino são, de maneira geral, semelhantes aos dos outros compartimentos, embora no Compartimento Mantiqueira sejam mais comuns os maciços granitoides e algumas rochas granulíticas, que sustentam as feições de relevo mais proeminentes.

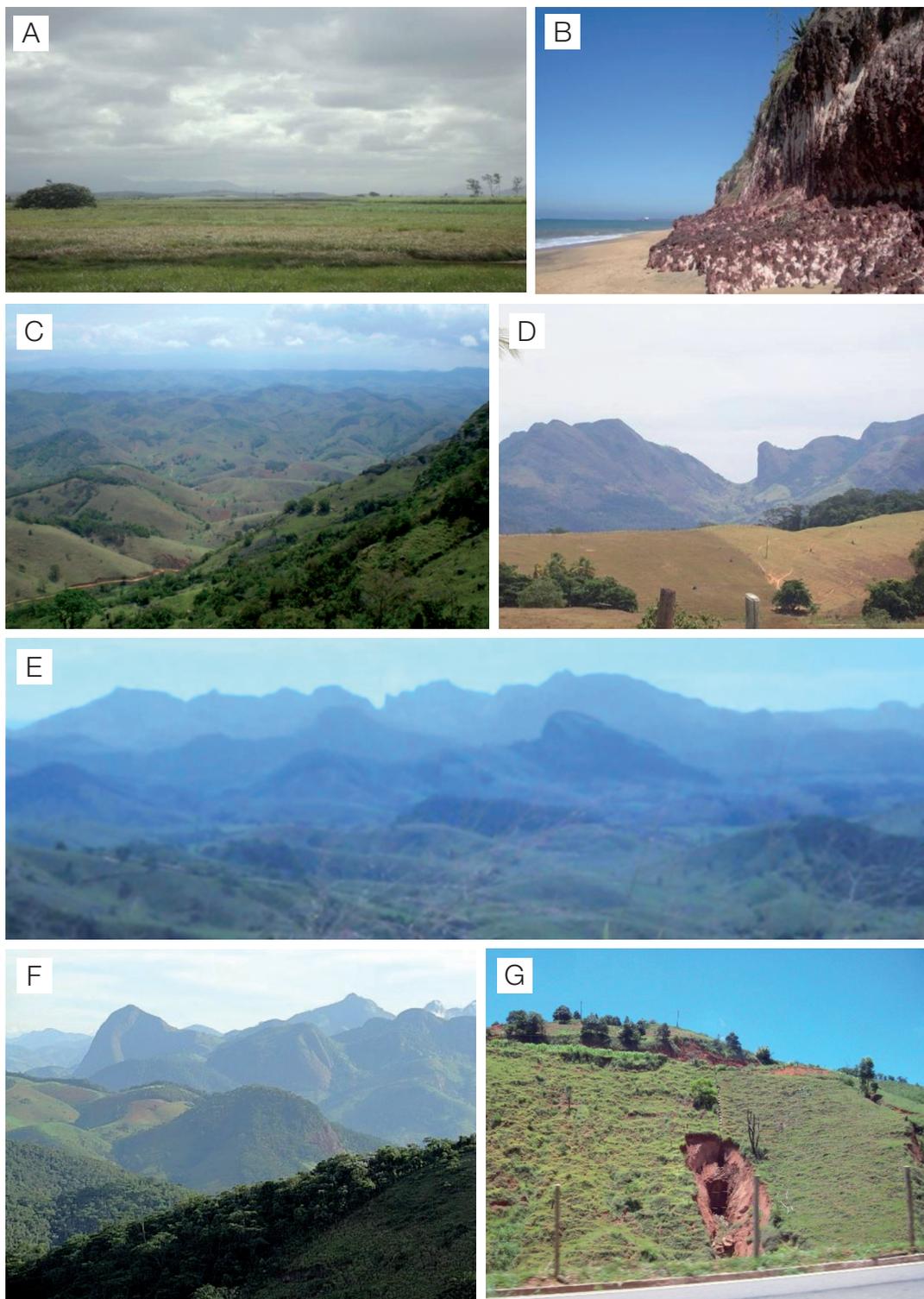
Os modelos de acumulação observados são os de gênese fluvial e gravitacional de enxurrada e inundação. As principais formas de relevo relacionadas a esses modelos são terraços fluviais, planícies de inundação e rampas de colúvio. Esses modelos ocorrem de forma muito localizada em comparação com os demais compartimentos, e já estão sendo destruídos pelos processos erosivos atuais.

O modelo de dissecação é essencialmente do tipo estrutural, sendo observados vales com bordas suaves encaixando canais de drenagem alinhados ao longo de muitos quilômetros em todo o compartimento. O modelo de dissecação homogênea também ocorre, mas não é tão frequente. As formas comumente observadas são morros, morrotes e “pães-de-açúcar”, além de lajeados e regiões com “caos-de-blocos” (Figura 8F). A feição “caos de blocos” — ou campo de matacões — está diretamente relacionada ao processo intempérico de rochas granulíticas, indicando a ação de processos erosivos intensos denudando essas terras elevadas. Tais feições indicam tratar-se de um modelo de aplainamento associado à formação de pediplanos. Processos de ravinamento são muito comuns nesse compartimento e determinados locais já apresentam uma evolução de ravinas para voçorocas (Figura 8G).

No Compartimento Mantiqueira, os processos erosivos são intensos. Tal fato, aliado à alta declividade e à presença de solo exposto, torna os terrenos altamente susceptíveis a movimentos de massa de baixa e alta viscosidade, tanto de materiais rochosos quanto inconsolidados. Atenção e investimentos são necessários para contenção de encostas, planejamento e monitoramento ambiental nessas situações.

## **CONCLUSÕES**

A aplicação de ferramentas de análise espaciais e de campo permitiu a identificação de três compartimentos morfoestruturais na área de abrangência da BHRI: os compartimentos Litorâneo, Cachoeiro e Mantiqueira. O Compartimento Litorâneo difere dos demais especialmente pela predominância do modelo de



**Figura 8.** Feições características dos compartimentos morfoestruturais da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim. (A) Compartimento Litorâneo com extensas planícies aluviais e (B) falésias vivas da Formação Barreiras sustentadas por crostas lateríticas; (C) Compartimento Cachoeiro com morros em forma de “meia-laranja” e (D) lineamentos estruturais que controlam escarpas alinhadas e incisão de vales; (E) Compartimento Mantiqueira ao fundo, visto a partir do Compartimento Cachoeiro; (F) morrotes e “pães-de-açúcar” do Compartimento Mantiqueira e (G) exemplo das feições erosivas comuns nessa área, decorrentes do manejo inadequado do solo.

acumulação sedimentar, sendo, portanto, uma região relativamente mais susceptível a inundações e assoreamento. Por outro lado, no Compartimento Mantiqueira há predominância do modelo de dissecação de gênese estrutural. Essa região corresponde a áreas muito susceptíveis a processos de movimentos de massa e entulhamento de canais. O Compartimento Cachoeiro pode ser considerado intermediário entre os compartimentos Litorâneo e Mantiqueira, onde são importantes tanto os processos de acumulação quanto os de dissecação.

A geomorfologia da BHRI é controlada pelos diferentes litotipos presentes e pelas estruturas geológicas. Esses controles podem ser observados no arranjo da rede de drenagem, no qual os padrões treliça, retangular e paralelo ocorrem como consequência do controle estrutural. As coberturas sedimentares cenozoicas se distribuem de maneira heterogênea, também controladas pela compartimentação do relevo.

Os limites entre os compartimentos morfoestruturais são delineados por lineamentos estruturais e a presença de áreas deposicionais é condicionada por esse arranjo. Os compartimentos compõem patamares escalonados abatidos rumo ao litoral, evidenciando ação da tectônica pós-mesozoica — conforme já descrito por outros autores — ao longo da margem atlântica brasileira.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) o custeio dos trabalhos de campo dentro do escopo do projeto Hidrogeologia de Aquíferos Fraturados (HIDROFRAT) — contrato nº 01.10.0808.00.

## REFERÊNCIAS

- Alkmin, F. F., Marshak, S., Pedrosa-Soares, A. C., Peres, G. G., Cruz, S. C. P., Whittington, A. (2006). Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in and Africa: Nutcracker during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Research*, 149, 43-64. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2006.06.007>
- Alkmin, F. F., Pedrosa-Soares, A. C., Noce, C. M., Cruz, S. (2007). Sobre a Evolução Tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. *Geonomos*, 15, 25-43. <http://dx.doi.org/10.18285/geonomos.v15i1.105>
- Almeida, F. F. M., Cameiro, C. D. R. (1998). Origem e Evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, 28(2), 135-150.
- Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B., Fuck, R. (1981). Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17, 1-29. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(81\)90003-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(81)90003-9)
- Arai, M. (2006). A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. *Geologia USP. Série Científica*, 6, 1-6. <http://dx.doi.org/10.5327/S1519-874X2006000300002>
- Bayer, P., Schmidt-Thomé, R., Weber-Diefenbach, K., Horn, H.A. (1987). Complex concentric granitoid intrusions in the coastal mobile belt, Espírito Santo, Brazil: the Santa Angélica Pluton – an example. *Geologische Rundschau*, 76(2), 357-371. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01821080>
- Belém, J. (2014). *Geoquímica, Geocronologia e Contexto Geotectônico do Magmatismo Máfico associado ao Feixe de Fraturas Colatina, Estado do Espírito Santo*. Tese (Doutorado). Belo Horizonte: Instituto de Geociências – UFMG.
- Bricalli, L. L., Mello, C. L. (2013). Padrões de lineamentos relacionados à litoestrutura e ao fraturamento neotectônico (Estado do Espírito Santo, SE do Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 14(3), 301-311.
- Calegari, S. S., Neves, M. A., Guadagnin, F., França, G. S., Vincentelli, M. G. C. (2016). The Alegre Lineament and its role over the tectonic evolution of the Campos Basin and adjacent continental margin, Southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 69, 226-242. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2016.04.005>
- Corrêa, A. C. B., Tavares, B. A. C., Monteiro, K. A., Cavalcanti, L. C. S., Lira, D. R. (2010). Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. *Revista do Instituto Geológico*, 31(1-2), 35-52. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-929X.20100003>
- Féboli, W. L. (1993). *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Piúma*. Folha SF.24-V-A-VI. Estado do Espírito Santo. Escala 1:100.000. Brasília: DNPM/CPRM.
- Furrier, M., Araújo, M. E., Meneses, L. F. (2006). Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. *Geologia USP. Série Científica*, 6(2), 61-70. <http://dx.doi.org/10.5327/S1519-874X2006000300008>
- Gatto, L. C. S., Ramos, V. L. S., Nunes, B. T. A., Mamede, L., Góes, M. H. B., Mauro, C. A., Alvarenga, S. M., Franco, E. M. S., Quirico, A. F., Neves, L. B. (1983). Geomorfologia. In: H. F. Moreira (Ed.), *Projeto RADAMBRASIL* (v. 32). Rio de Janeiro: MME SG.
- GEOBASES. (2002). *Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo*. Disponível em: <<http://www.geobases.es.gov.br/>>. Acesso em: 12 ago. 2016.

- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A. C., Campos-Neto, M. C., Silva, L. C., Trouw, R., Janasi, V. A. (2004). Província Mantiqueira. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C. D. R. Carneiro, B. B. Brito-Neves (Eds.), *Geologia do Continente Sul-Americano*. São Paulo: Beca.
- Howard, A. D. (1967). Drainage Analysis in Geologic Interpretation a Summation. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 51(11), 2246-2259.
- Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA. (2007). *Ortofotomosaico do Estado do Espírito Santo 2007*. Portal do Governo do Estado do Espírito Santo/SEAMA/IEMA. Disponível em: <<http://www.meioambiente.es.gov.br>>. Acesso em: 30 mar. 2016.
- Lani, J. L., Rezende, S. B., Resende, M. (2001). Estratificação de ambientes com base nas classes de solos e outros atributos na bacia do Rio Itapemirim, Espírito Santo. *Revista Ceres*, 48, 239-261.
- Lourenço, F. S., Alkmim, F. F., Araújo, M. N. C., Romeiro, M. A. T., Matos, G. C., Crósta, A. P. (2016). The Piúma lineament, Southern Espírito Santo: structural expression and tectonic significance. *Brazilian Journal of Geology*, 46(4), 531-546. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-4889201620150038>
- Monteiro-Filho, C. J. (2009). *Manual Técnico de Geomorfologia*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Morais, R. M. O., Mello, C. L., Costa, F. O., Santos, P. F. (2006). Fácies sedimentares e ambientes deposicionais associados aos depósitos da formação Barreiras no Estado do Rio de Janeiro. *Geologia USP. Série Científica*, 6(2), 19-30. <http://dx.doi.org/10.5327/S1519-874X2006000300004>
- Nogueira, F. C. C., Bezerra, F. H. R., Castro, D. L. (2006). Deformação Rúptil em Depósitos da Formação Barreiras na Porção Leste da Bacia Potiguar. *Geologia USP. Série Científica*, 6(2), 51-59. <http://dx.doi.org/10.5327/S1519-874X2006000300007>
- Ribeiro, C. S. (2010). *Influência da tectônica pós-deposicional na distribuição da Formação Barreiras entre o Rio Paraíba do Sul (RJ) e o Rio Doce (ES)*. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro: Instituto de Geociências - UFRJ.
- Riccomini, C., Peloggia, A., Saloni, J., Kohnke, M., Figueira, R. (1989). Neotectonic activity in the Serra do Mar rift system (southeastern Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 2, 191-197. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(89\)90046-1](https://doi.org/10.1016/0895-9811(89)90046-1)
- Silva, M. A., Camozzato, E., Paes, V. J. C., Junqueira, P. A., Ramgrab, G. E. (2004). Folha SF.24-Vitoria. In: C. Schobbenhaus, J. H. Gonçalves, J. O. S. Santos, M. B. Abram, R. Leão Neto, G. M. M. Matos, R. M. Vidotti, M. A. B. Ramos, J. D. A. Jesus (Eds.). (2014). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo*. Escala: 1:1.000.000. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil.
- United States National Aeronautics and Space Administration (NASA), Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) of Japan. (2011). *ASTER GDEM v2 Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model Version 2*. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em: 10 set. 2016.
- Vieira, V. S. (1997). *Projeto Mapeamento Geológico: Programa Levantamentos Geológicos Básicos. Folha Cachoeiro do Itapemirim (SF 24 Z-V-A)*. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil.
- Vieira, V. S., Silva, M. A., Corrêa, T. R., Lopes, M. H. B. (2014). Mapa Geológico do Espírito Santo. Escala 1:400.000. *VI SIMEXMIN – Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral*. Ouro Preto: ADIMB.
- Vilas Boas, G. S., Sampaio, F. J., Pereira, A. M. S. (2001). The Barreiras Group in the Northeastern coast of the State of Bahia, Brazil: depositional mechanisms and processes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 73(3), 417-427. <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652001000300010>
- Wiedemann, C. M., Medeiros, S. R., Ludka, I. P., Mendes, J. C., Moura, J. C. (2002). Architecture of late orogenic plutons in the Araçuaí-Ribeira fold belt, southeast Brazil. *Gondwana Research*, 5, 381-399. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)70730-9](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)70730-9)
- Wiedemann-Leonardos, C. M., Ludka, I. P., Medeiros, S. R., Mendes, J. C., Moura, J. C. (2000). Arquitetura de plútons zonados da Faixa Araçuaí-Ribeira. *Geonomos*, 8, 25-38. <http://dx.doi.org/10.18285/geonomos.v8i1.145>
- Zalán, P. V., Oliveira, J. A. B. (2005). Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 13(2), 269-300.