

Lineamentos estruturais da porção sul da Serra do Caparaó, ES/MG

William Medina Leite Féres¹
Paulo de Tarso Ferro de Oliveira Fortes¹

¹Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Campus de Alegre - Alto Universitário, s/n - Guararema, Alegre - ES, 29500-000
{williammedinaleite, pfgeol}@gmail.com

Abstract: Structural lineaments represent large geological structures projected on the earth's relief, sculpted by weather agents. Remote sensing images are the main tools for the identification and analysis of lineaments at different scales. The present work integrates SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) and Landsat 7 ETM satellite data for the study of the linear features present in the southern region of Serra do Caparaó. Lineaments related to ridges and valleys were vectorized, using the shaded relief image generated from SRTM data. From the shapefiles created, rosette diagrams of absolute frequency and average length of the lineaments were generated. In conjunction with these products, images were generated from edge directional filters applied on band 5 of the Landsat 7 ETM satellite. Based on the compilation of these digital products, a map of structural domains of the southern region of Serra do Caparaó was elaborated. The compartmentalization proposed by the map of structural domains subdivides the study region according to the orientation, frequency and length of the linear features present. The NNE structural domain includes lineaments resulting from tectonic constraints, such as old shear zones and flanks of regional folds. However, the WNW structural domain encompasses lineaments resulting from the carving of talvegues from orthoclinal fluvial courses. Thus, the proposed structural compartmentalization reflects the result of the interaction between two geological factors: the precambrian ductile tectonics and the current fluvial morphogenesis.

Palavras-chave: geologia, processamento digital de imagens, geology, digital image processing.

1. INTRODUÇÃO

Os lineamentos morfoestruturais, identificados através de produtos de sensoriamento remoto em diferentes escalas, representam a projeção de estruturas geológicas no relevo terrestre. O estudo desses lineamentos vem subsidiando importantes pesquisas voltadas para a morfogênese do relevo e sua relação com condicionantes petrotectônicas.

O'Leary *et al.* (1976), ao definir lineamento como uma feição linear, retilínea ou suavemente curvilínea, mapeável na superfície, e que pode ser tanto simples como composta, enfatiza a influência de processos rúpteis na gênese estrutural dos lineamentos. Entretanto, é também notória a participação de grandes estruturas dúcteis, principalmente em terrenos de alto grau metamórfico. Além disso, processos geomorfológicos recentes são também responsáveis por esculpir o relevo terrestre e dar origem aos lineamentos.

As imagens de sensoriamento remoto constituem a principal ferramenta para a análise espacial de lineamentos morfoestruturais. O processamento digital dessas imagens consiste na utilização de diferentes técnicas, de modo a realçar estruturas e facilitar análises e interpretações. Duas dessas técnicas são a vetorização de feições lineares e a filtragem espacial, ambas utilizadas neste trabalho.

Filho e Fonseca (2009) salientam a importância da vetorização manual de feições lineares, pautando seu argumento na dificuldade de se atingir eficiência na extração automática. Além disso, a extração manual permite liberdade interpretativa ao operador, cujo olhar e conhecimento geológico podem contribuir ao trabalho.

A técnica de filtragem *pixel a pixel* é baseada na aplicação de uma matriz, denominada máscara, responsável pela redistribuição dos valores dos *pixels* da imagem com base nos valores de seus *pixels* vizinhos (Meneses *et al.* 2012). Os filtros de realce de borda são utilizados para ressaltar direções preferenciais de lineamentos geológicos, de acordo com os valores atribuídos à máscara.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é o estudo das feições lineares da região sul da Serra do Caparaó, sob uma escala de visualização de 1:50.000, através de dados SRTM e imagem Landsat 7 ETM. Com base na vetorização de lineamentos extraídos dos dados SRTM trabalhados e na filtragem espacial da banda 5 do satélite Landsat 7, propõe-se uma compartimentação estrutural da região de estudo.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1) está localizada na região sul da Serra do Caparaó, na divisa entre os estados de Minas Gerais (MG) e Espírito Santo (ES). O polígono de estudo abrange parcialmente o município de Caparaó-MG, na região W da área, o distrito de São Raimundo da Pedra Menina no município de Dolores do Rio Preto-ES, na região central da área, e a localidade de Patrimônio da Penha no distrito de Divino de São Lourenço-ES, no quadrante SE da área.

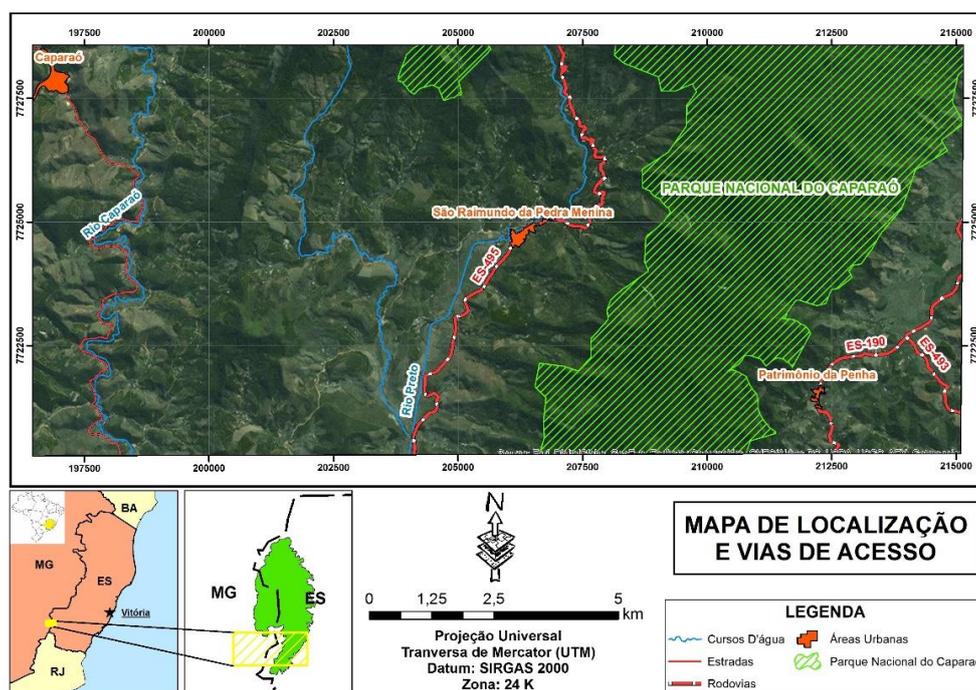


Figura 1. Mapa de localização e vias de acesso da área de estudo.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

A região de estudo está inserida no contexto da Província Estrutural Mantiqueira, definida como um sistema orogênico Neoproterozóico-Eopaleozóico instalado a leste dos crátons São Francisco e Rio de La Plata/Paraná, que perfaz cerca de 3.000 km da costa atlântica, desde Montevideu até o sul da Bahia (Bizzi *et al.* 2003, Heilbron *et al.* 2004).

A porção setentrional da Província Mantiqueira é representada pelo Orógeno Araçuaí. A Faixa Araçuaí, assim batizada por Almeida (1977) e definida 30 anos depois por Alkmim (2007) como sendo parte do domínio metamórfico externo do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, consiste em um cinturão de dobramentos e processos metamórficos de alto grau, com vergência dirigida para a zona cratônica a oeste, e que teve sua edificação relacionada à orogênese brasileira-panafricana.

No Orógeno Araçuaí, além dos terrenos Neoproterozóicos-Eopaleozóicos, encontram-se preservados também remanescentes de unidades paleoproterozóicas, como é o caso da Suíte Caparaó, unidade foco deste trabalho.

A Suíte Caparaó, assim denominada por Söllner *et al.* (1991), e posteriormente classificada como Complexo Caparaó por Horn (2006), representa um extenso e estreito *inlier* do embasamento paleoproterozóico retrabalhado no Brasiliano, de um arco magmático

intraoceânico (Silva 2002; Vieira 2014, 2015). A Suíte Caparaó configura, portanto, parte do embasamento metamórfico de alto grau do SE do Orógeno Araçuai.

Situada na região sudoeste do estado do Espírito Santo, na divisa com Minas Gerais, a suíte Caparaó compreende um conjunto de rochas granulíticas e charnockíticas, ocasionalmente migmatizadas.

Söllner *et al.* (1991), ao definirem essa unidade como suíte, realizaram estudos isotópicos em zircões de rochas granulíticas e charnockíticas e estabeleceram uma idade transamazônica provável de 2170 Ma. Tal idade, segundo esses autores, seria referente à idade de cristalização da área-fonte dos pacotes sedimentares supracrustais precusores da Suíte Caparaó.

Silva (2002) realizou datações U/Pb em zircões de leucogranulitos charnockíticos da suíte Caparaó, obtendo idades de 2195 ± 15 Ma e 587 ± 9 Ma, interpretadas como idades de cristalização magmática e metamorfismo, respectivamente. Apesar das idades encontradas por Silva (2002) serem equivalentes àquelas estabelecidas por Söllner *et al.* (1991), suas interpretações são distintas: enquanto Söllner *et al.* (1991) interpretam as rochas como paragneisses e as idades obtidas como a da área-fonte dos sedimentos, Silva (2002) admite que a idade em questão é referente à cristalização magmática do protólito dos gnaisses charnockíticos.

Horn (2006) classifica as rochas da suíte Caparaó como opx-gra-gaisses, granulitos e rochas máficas, além de migmatitos estromáticos e *schlieren*-nebulíticos. Esse autor descreve ainda opx gnaisses máficos como *schlierens* nas rochas félsicas e intermediárias (opx-gnaisses charno-enderbíticos). Nessas rochas félsicas, Horn (2006) descreve um bandamento milimétrico a centimétrico e textura milonítica com feições de recristalização.

A Serra do Caparaó compreende uma megaestrutura antiformal com vergência para W e eixo com caimento NNE, situada entre duas zonas de cisalhamento brasileiras de cinemática dextral e *trend* NS (Cunningham *et al.* 1998) (Figura 2).

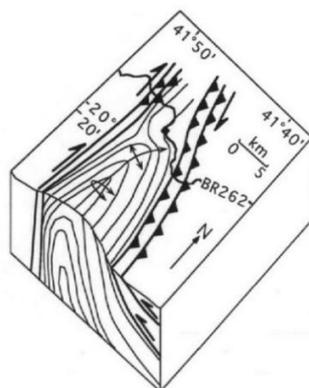


Figura 2. Modelo esquemático tridimensional da Serra do Caparaó. Adaptado de Cunningham *et al.* (1998).

Novo *et al.* (2011) corroboram o modelo de Cunningham *et al.* (1998) ao afirmar que a Serra do Caparaó configura uma lasca tectônica moldada em antiformal de proporções quilométricas, assimétrica e apertada, orientada segundo NNE-SSW, com plano axial aproximadamente vertical e flanco W parcialmente invertido. Novo *et al.* (2011) acrescentam ainda que a charneira dessa megaestrutura é marcada por intensa migmatização.

A caracterização estrutural da suíte Caparaó realizada por Novo *et al.* (2011) ressalta uma gama de estruturas geradas em regime deformacional dúctil: foliação paralela ao bandamento composicional, com direção NNE e mergulhos entre 60 e 80°, ora para W, ora para E; lineação mineral e de estiramento *downdip*, contida na foliação principal; porfiroclastos oclares com sombra de pressão e calda de recristalização, próximos a contatos tectônicos; e amplo acervo de dobras, tanto abertas quanto fechadas, decimétricas a decamétricas, assimétricas e com vergência para NW.

Horn (2006) enfatiza que as rochas do Complexo Caparaó estão normalmente dobradas de forma isoclinal.

4. METODOLOGIA

Os *softwares* utilizados para o processamento digital das imagens foram: (i) ArcGis® na versão 10.3 da ESRI, utilizado no Laboratório de Informática da Universidade Federal do Espírito Santo para a extração manual de linemanetos na escala de 1:50.000, e (ii) o software livre Spring® na versão 5.4.2 do INPE, utilizado para os procedimentos de filtragem espacial.

As imagens de sensoriamento remoto utilizadas foram a imagem da banda 5 do satélite Landsat 7 e os dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

Os dados obtidos do projeto SRTM possuem resolução espacial de 90 m. Dessa forma, realizou-se o refinamento da grade do modelo numérico de terreno, convertendo sua resolução espacial para 10 m. A partir da grade refinada, gerou-se uma imagem de relevo sombreado com exagero vertical de 3 vezes e azimute de iluminação de 315°. O azimute escolhido justifica-se por ressaltar os lineamentos ortogonais àquele sentido, paralelos às estruturas regionais. Elegeu-se o valor do exagero vertical por conveniência visual.

A partir da imagem de relevo sombreado gerada, foram extraídos manualmente lineamentos associados a cristas e vales, dando origem a *shapefiles* ilustrativos das quebras positivas e negativas do relevo da área de estudo. Através da medição dos azimutes dos vetores contidos nesses *shapefiles*, foram gerados diagramas de roseta de frequência absoluta e comprimento médio dos lineamentos extraídos, de modo a subsidiar a geração do mapa de domínios estruturais.

Sobre a imagem da banda 5 do satélite Landsat 7 aplicou-se uma ampliação histogrâmica de contraste por expansão linear, seguida de filtragem espacial. Utilizou-se de dois filtros lineares: um direcional de borda NW e outro direcional de borda SE, ambos responsáveis por realçar estruturas ortogonais ao seu sentido, condizentes com a orientação das estruturas regionais. Em ambos foi realizada apenas uma iteração durante o processamento, pois duas ou mais iterações não geraram bons produtos.

A rotina de aquisição, processamento e análise das imagens utilizadas no trabalho encontra-se ilustrada no fluxograma da Figura 3.

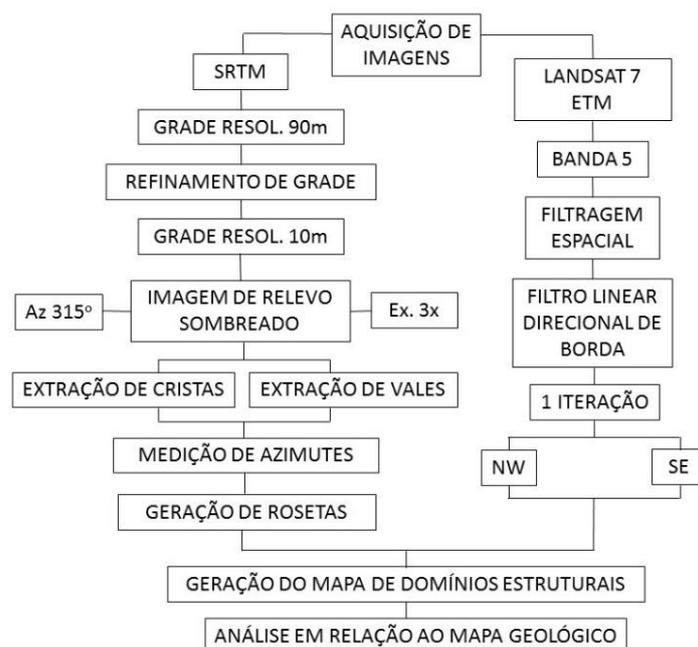


Figura 3. Fluxograma síntese da metodologia de trabalho: aquisição, processamento e análise das imagens.

5. RESULTADOS

As Figuras 4 e 5 representam as imagens geradas a partir da filtragem espacial, bem como as respectivas máscaras utilizadas no processamento.

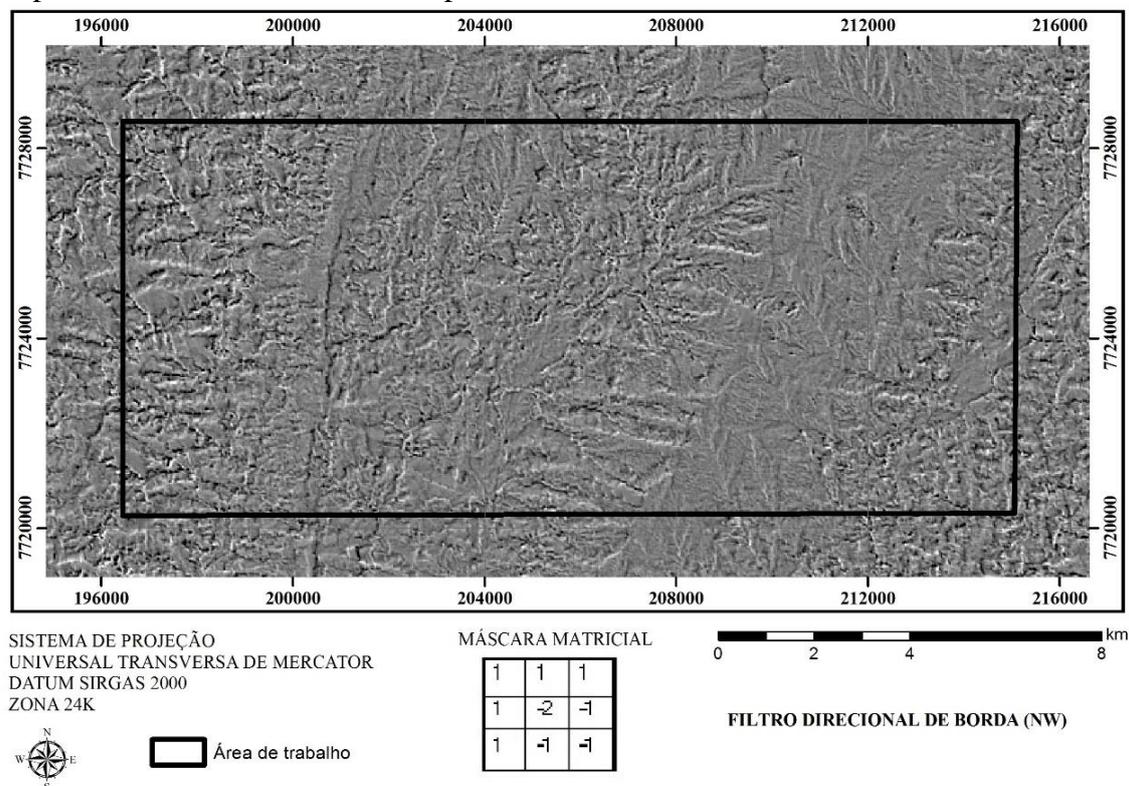


Figura 4. Imagem produto da filtragem linear direcional de borda NW.

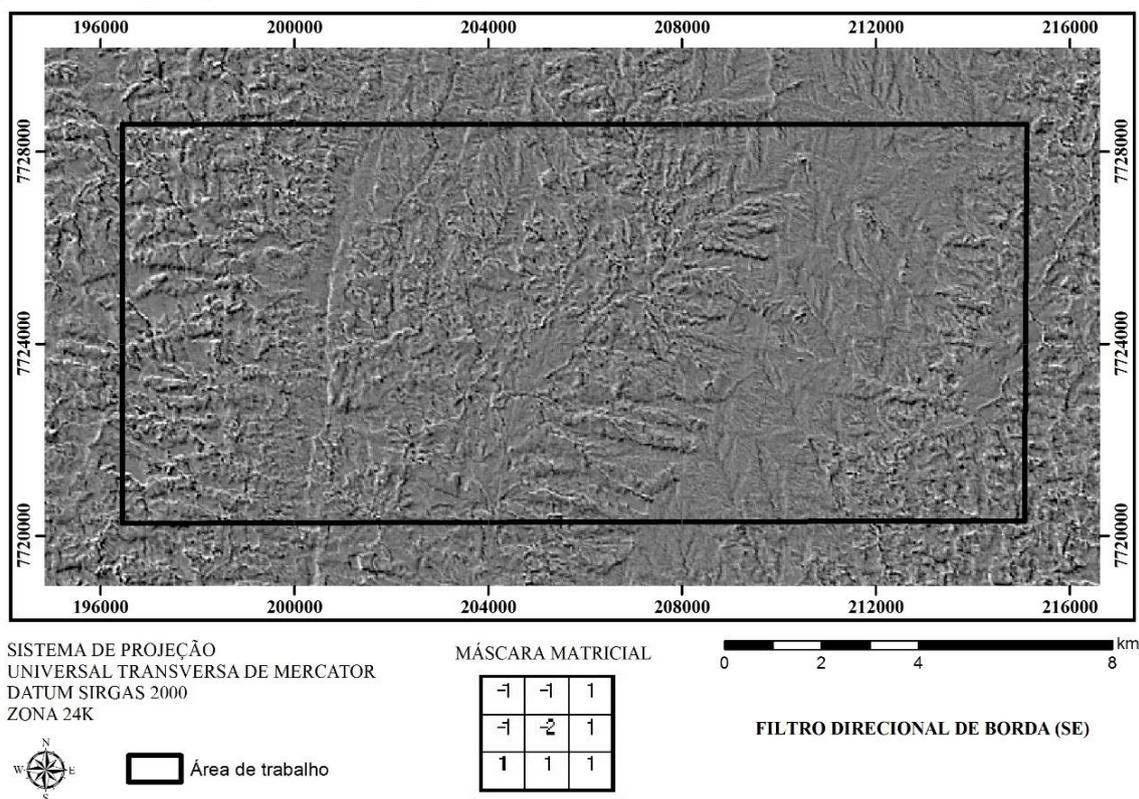


Figura 5. Imagem produto da filtragem linear direcional de borda SE.

As Figuras 6 e 7 ilustram os lineamentos extraídos sobre a imagem de relevo sombreado, associados aos vales e cristas da área de trabalho. Com base nos lineamentos extraídos, foram gerados diagramas de roseta de frequência absoluta e comprimento médio, para cristas e vales separadamente, de modo a auxiliar nas interpretações estruturais da área.

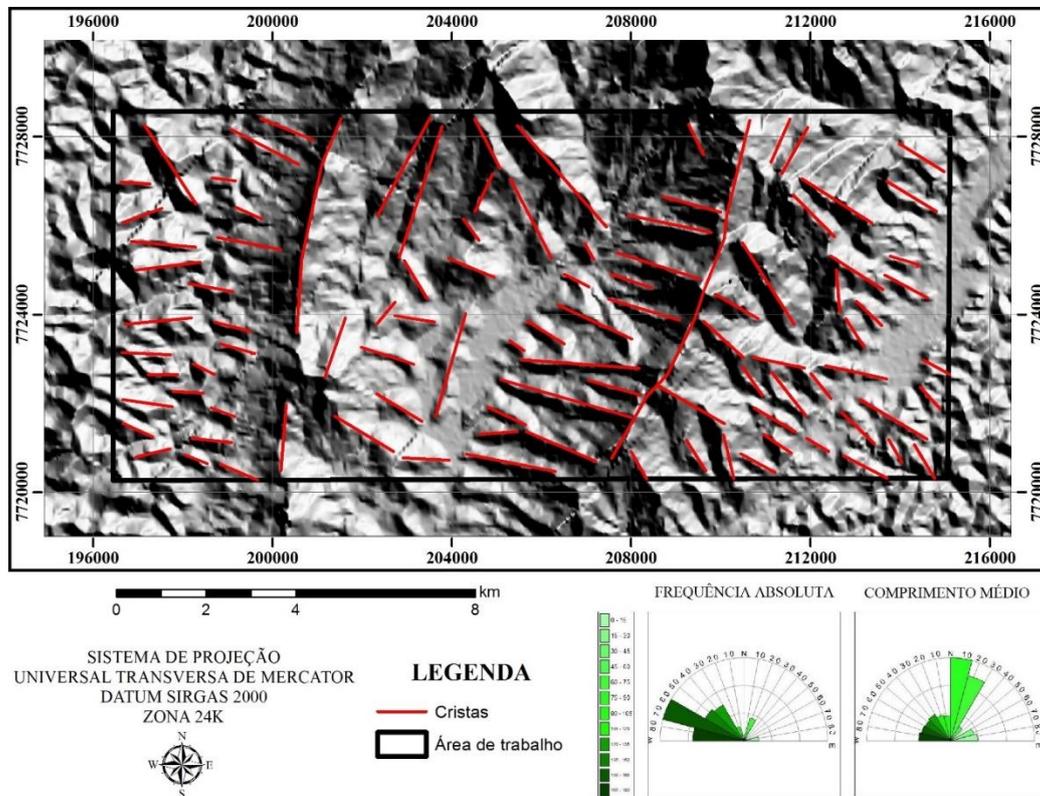


Figura 6. Lineamentos associados às cristas, extraídos da imagem de relevo sombreado.

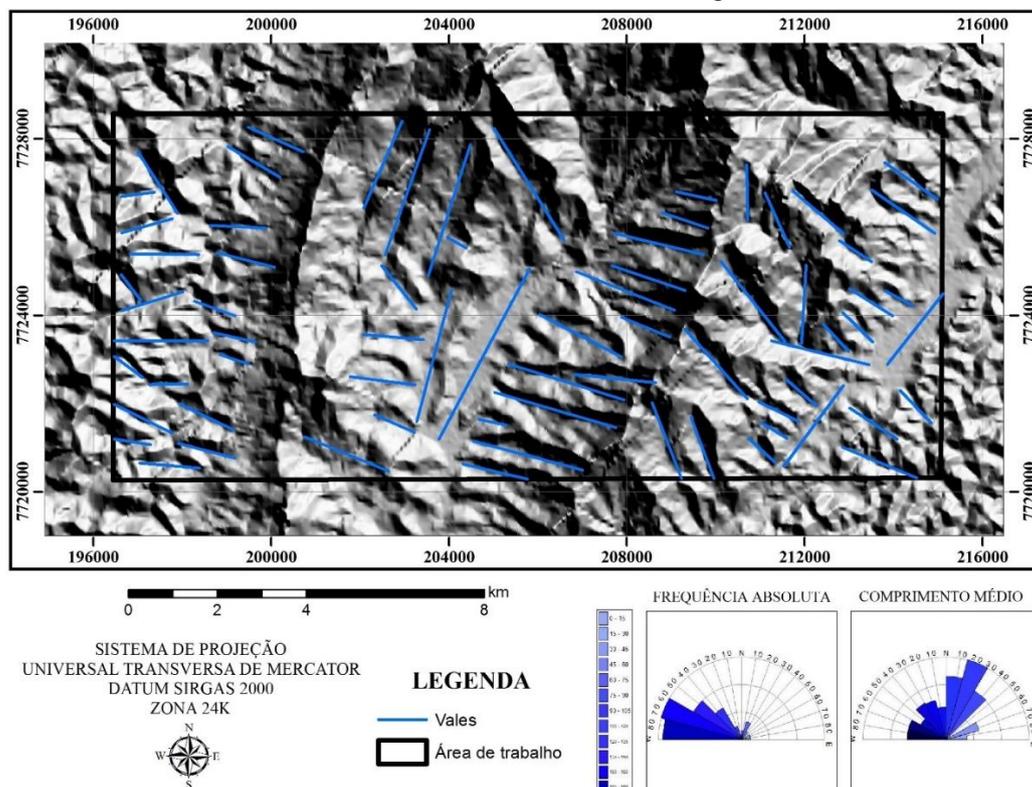


Figura 7. Lineamentos associados aos vales, extraídos da imagem de relevo sombreado.

Para a geração do mapa de domínios estruturais foi realizada a análise visual e interpolação dos dados obtidos nas imagens processadas, como ilustra o fluxograma da Figura 8.

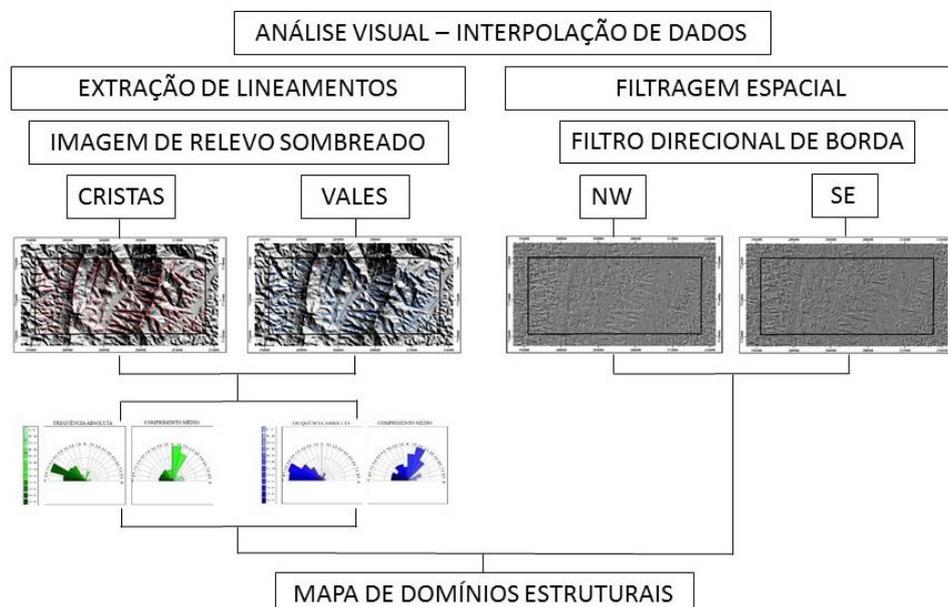


Figura 8. Fluxograma da geração do mapa de domínios estruturais.

A partir da interpretação visual das imagens gerou-se, portanto, o mapa de domínios estruturais (Figura 9). Os produtos da filtragem, em conjunto com os dados estatísticos dos lineamentos extraídos sobre a imagem de relevo sombreado, permitiram compartimentar a área de estudo em dois domínios estruturais distintos: O primeiro, WNW, engloba lineamentos de no máximo 3 km de extensão, ordenados de forma paralela, que variam sua orientação de EW a NW e ocorrem em alta frequência na área de trabalho. O segundo, NNE, contempla os grandes lineamentos da área, com até 10 km de extensão. Esses lineamentos orientam-se no intervalo de NS a NE e possuem baixa frequência.

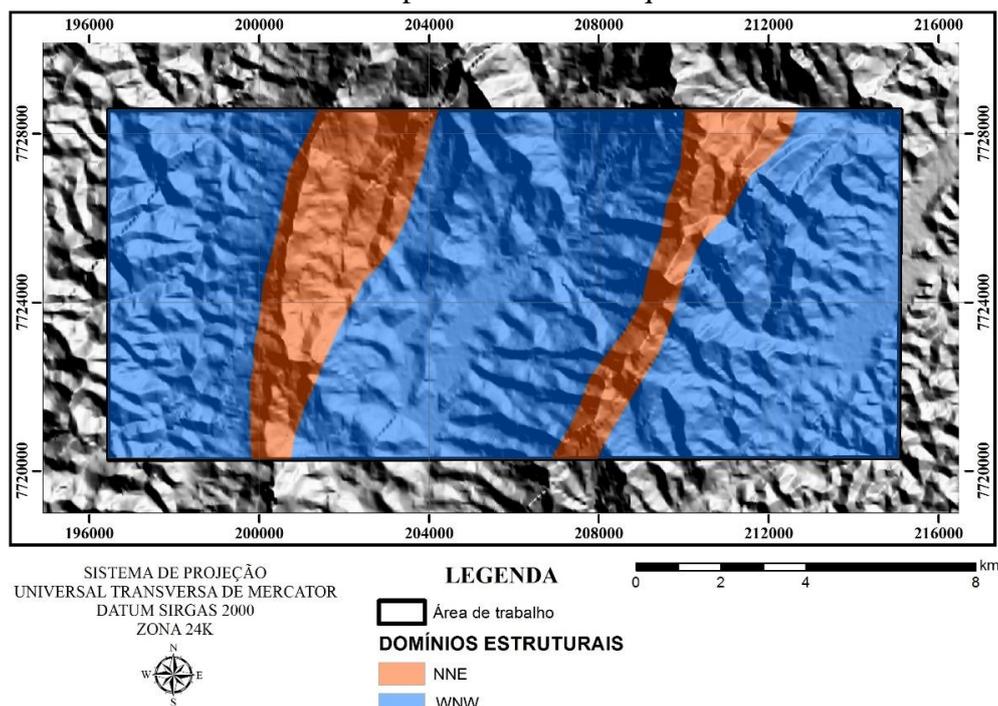


Figura 9. Mapa de domínios estruturais.

6. CONCLUSÕES

O traçado proposto pelo mapa de domínios estruturais compartimenta duas porções distintas do relevo, cujos condicionantes genéticos dos lineamentos são: (i) a projeção de antigas estruturas do embasamento na superfície, ou (ii) os processos atuais de morfogênese.

O domínio estrutural NNE contempla os lineamentos que resultam de condicionantes tectônicos, como antigas zonas de cisalhamento e flancos de dobras regionais. Nesse domínio encontram-se projetadas na superfície, alçando as cristas da Serra do Caparaó, grandes estruturas do embasamento, cuja história tectônica remonta ao pré-cambriano.

O domínio estrutural WNW engloba todos os lineamentos (sejam quebras positivas ou negativas do relevo) resultantes do entalhamento de talvegues a partir de cursos fluviais ortoclinais. A evolução desses cursos fluviais resultou na modelagem de lineamentos curtos e ortogonais em relação àqueles do domínio NNE.

A evolução do relevo da região sul da Serra do Caparaó é compreendida, portanto, com base na análise de seus lineamentos morfoestruturais. A compartimentação estrutural proposta reflete o resultado da interação entre dois fatores responsáveis por projetar e esculpir os lineamentos da região: a tectônica dúctil pré-cambriana e a atual morfogênese fluvial.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim F.F., Marshak S., Pedrosa-Soares A.C., Peres G.G., Cruz S.C.P., Whittington A. **Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana.** In: Precambrian Research 149: 43 – 64. 2006.
- Alkmim F.F., Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Cruz S.C.P. **Sobre a Evolução Tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental.** In: Geonomos 15(1): 25 – 43. 2007.
- Almeida F.F. **O Cráton do São Francisco.** Revista Brasileira de Geociências, 7(4):349-364. 1977.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Rodrigues, E.P. & Yamamoto, J. **A Faixa de Dobramentos Araçuaí na região do Rio Pardo.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife. SBG, Anais, v. 1, p. 270 – 283. 1978.
- Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG.** CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Brasília. 692 p. 2003.
- Cunningham, D., Alkmim F. F., Marshak, S. **A structural transect across the coastal mobile belt in the Brazilian Highlands (latitude 20°S): the roots of a Precambrian transpressional orogen.** In: Precambrian Research 92: 251-275. 1998.
- Filho, C. O. A.; Fonseca, L. M. G. **Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. p. 3151-3158. Natal. 2009.
- Heilbron M., Pedrosa-Soares A.C., Neto M.C.C., Silva L.C., Trow R.A.J., Janasi, V.A. **Província Mantiqueira.** In: Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de Fernando Marques de Almeida. Cap. XIII. São Paulo. 2004.
- Horn, A. H. **Mapa Geológico da Folha SF.24-V-A-IV – Espera Feliz 1:100.000.** CPRM. 2006.
- Horn, A. H. **Nota explicativa da Folha SF.24-V-A-IV – Espera Feliz 1:100.000.** Série Programa de Geologia do Brasil – PGB. UFMG/CPRM. 63 p. 2007.
- Meneses P. R., Almeida T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília. Unb. 266p. 2012.
- Novo, T. A., Noce, C. M., Pedrosa-Soares, A. C., Batista, G. A. P. **Rochas granulíticas da Suíte Caparaó na região do Pico da Bandeira: embasamento oriental do Orógeno Araçuaí.** In: Geonomos 19(2): 70-77. 2011.
- O’leary D. W., Freidman J. D., Pohn H. A. **Lineament, linear, lineation: Some proposed new definitions for old terms.** Geological Society of America Bulletin 87: 1463-1469. 1976.
- Silva, L. C. *et al.* **Reavaliação da evolução geológica em terrenos pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U/Pb SHRIMP, parte II: Orógeno Araçuaí, Cinturão Mineiro e Cráton São Francisco Meridional.** In: Revista Brasileira de Geociências 32(4): 513-528. 2002.
- Söllner F., Lammerer B., Weber-Diffenback K. **Die krustenentwicklung nordlich von Rio de Janeiro/Brasilien.** Munchner Geologische Heft 4, München, 100 p. 1991.
- Vieira, V. S., Menezes, R. G. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais.** CPRM. 2015.