



ANÁLISE DO PADRÃO DE LINEAMENTOS DE RELEVO E CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA REGIÃO DA SERRA DAS ANDORINHAS (PARÁ), COM USO DE IMAGENS AW3D30

TOPOGRAPHIC LINEAMENT PATTERN ANALYSIS AND GEOMORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE ANDORINHAS MOUNTAIN RANGE REGION (PARÁ), USING AW3D30 IMAGES

ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR DE LINEAMENTOS DE RELEVO Y CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA REGIÓN DE LA SERRA DAS ANDORINHAS (PARÁ), CON USO DE IMÁGENES AW3D30

ABRAÃO LEVI DOS SANTOS MASCARENHAS ¹
MARIA RITA VIDAL ²
LEONARDO BRASIL FELIPE ³

¹ Professor da Faculdade de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará /UNIFESSPA.
E-mail: abraãolevi@unifesspa.edu.br, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0546-8836>

² Professora da Faculdade de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará/UNIFESSPA,
Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Pará/UFPA.
E-mail: ritavidal@unifesspa.edu.br, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3392-3624>

³ Professor da Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará /UNIFESSPA.
E-mail: lbfelipe@unifesspa.edu.br, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8049-907X>

Recebido: 15/08/2021

Enviado para correção: 25/08/2021

Aceito: 05/09/2021

RESUMO

Durante a Era Neoproterozóica, eventos tectônicos de zona de cinturão orogênico (colagem continental), na região geologicamente conhecida como Faixa Araguaia, foram essenciais para a arquitetura das formas de relevo atuais na região da Serra das Andorinhas, SE do Estado do Pará. As atuais formas de relevo mostram a complexidade desses eventos colisionais. As geotecnologias possibilitam a identificação de deformações estruturais através dos SIGs, técnicas de geoprocessamento em imagens AW3D30 foram utilizadas a fim de identificar o padrão de lineamentos de relevo, para auxílio na definição e classificação das unidades geomorfológicas para a região da Serra das Andorinhas. Como resultados foi possível identificar lineamentos rúpteis de orientação preferencial NE, EW e NW, nos quais possibilitaram definir quatro unidades geomorfológicas em consonância com as feições lineares.

Palavras-chave: Lineamentos. Serra das Andorinhas. Cartografia Geomorfológica.

ABSTRACT

During the Neoproterozoic Era, orogenic belt-zone tectonic events (continental collage) in the region geologically known as the Araguaia Belt were essential for the architecture of the present relief forms in the Serra das Andorinhas region, Pará State. Its current topographic formations reveal the complexity of such collision events. We used geotechnologies that allow to identify structural deformation through the SIGs, geoprocessing techniques on AW3D30 images, to trace the topographic lineament pattern that benefit the definition and classification of geomorphological units for the Serra das Andorinhas region. The results show brittle lineaments preferably oriented to NE, EW, and NW, which enabled to define four geomorphological units according to the linear features.

Keywords: Lineament. Serra das Andorinhas. Geomorphological Cartography.

RESUMEN

Durante la Era Neoproterozoica, eventos tectónicos de zona de cinturón orogénico (collage continental), en la región geológicamente conocida como Franja Araguaia, fueron esenciales para la arquitectura de las formas de relevo actuales en la región de Serra das Andorinhas, SE del Estado de Pará. Las actuales formas de relevo muestran la complejidad de esos eventos de colisión. Las geotecnologías posibilitan la identificación de deformaciones estructurales, por medio de GIS, fueron utilizadas técnicas de geoprocésamiento en imágenes AW3D30, con el fin de identificar el estándar de lineamientos



de relevo, para auxílio en la definición y clasificación de las unidades geomorfológicas para la región de Serra das Andorinhas. Fue posible identificar lineamientos quebradizos de orientación preferencial NE, EW y NW, en los cuales fue posible definir cuatro unidades geomorfológicas en consonancia con las facciones lineales

Palabras clave: Lineamientos. Serra das Andorinhas. Cartografía Geomorfológica.

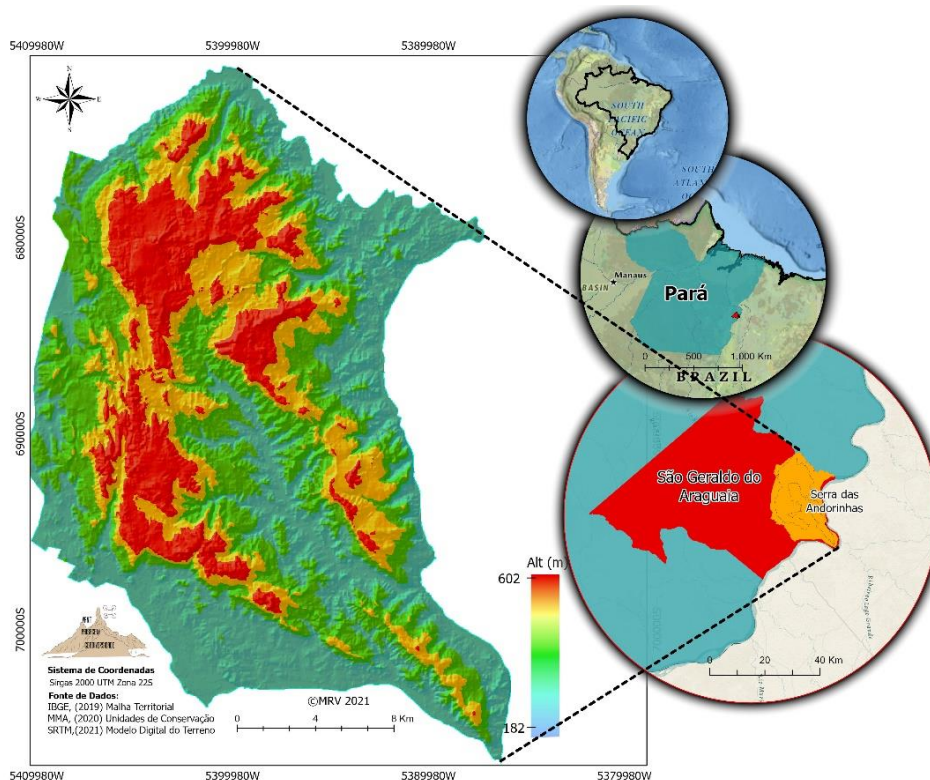
INTRODUÇÃO

Estudos geomorfológicos no extremo leste da Região Amazônica, em geral, são dificultados pelo adensamento da floresta ombrófila e mesmo em fragmentos de vegetação savânicas há um extenso recobrimento de Cerrado *Stricto Sensu*.

Contudo, os patamares e sobressaltos nos perfis de dossel da floresta possibilitam encontrar indicadores de estruturas deformacionais nas rochas, em que se torna capaz de construir a análise de frequência de lineamentos, evidenciando que tais arranjos revelam movimentos crustais intensos, responsáveis por estruturar as geoformas atuais, na região da Serra das Andorinhas/Pará-Brasil.

Com seus aproximadamente 600 metros de elevação, o relevo da Serra das Andorinhas se destaca no conjunto de colinas e terras baixas da depressão interplanáltica do Araguaia e parte da planície do megassistema fluvial do rio Araguaia, guardando em suas reentrâncias, fabulosos ambientes de dissoluções em litologia quartzítica do neoproterozóico (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da Serra das Andorinhas e as principais classes altimétricas da área de estudo.



Fonte: Autores, 2021.

As rochas que embasam a Serra das Andorinhas têm graus elevados de metamorfismos associados ao subgrupo do baixo Araguaia dividido pelo Grupo Tocantins e Grupo Estrondo,

esse último de litologia predominantemente em quartzitos puros e micáceos com intercalação de micaxisto (GORAYEB; MOURA; ABREU, 2008; MIYAGAWA, 2012).

As métricas topográficas sempre foram usadas em geomorfologia no sentido de compreender a evolução do relevo, que atualmente é potencializada pelos equipamentos de processamento de dados, dos quais facilitam e agilizam a obtenção de modelos digitais de elevação (MUDD, 2020). A análise de domínios de lineamentos sobre MDS possibilita apurar os estudos em geomorfologia tectônica.

Dados de modelos digitais de elevação fornecidos pela agência japonesa são exemplos de dados ópticos, sendo uma tendência crescente no sensoriamento remoto intercruzado com os estudos geomorfológicos.

Atualmente, detém-se uma variedade de imagens possíveis de serem usadas para delimitar lineamentos. Uma dessas possibilidades inclui as imagens AW3D30 que possuem resolução espacial de 30 metros derivados das imagens AW3D de alta resolução de 5 metros fornecidas pelo *World 3D Topographic Data* com erros verticais em escala regional de 2,45 metros (AKSHAY et al., 2018). Dados provenientes da identificação dos padrões de lineamentos auxiliam na delimitação de unidades geomorfológicas.

Os estudos de lineamentos observados em imagens aéreas e orbitais por Goudie (2004) devem ser meticulosamente compreendidos por técnicas de sensoriamento em vários ângulos e tipos de iluminação, haja vista que as características lineares realizadas pelo homem podem confundir essas análises, nas quais muitas simplificações, justificadas por questões operacionais representam desvios aceitáveis em relação a realidade.

Esse desafio na diferenciação de padrões de lineamentos naturais e antrópicos já vem sendo estudados em sensoriamento por Ehlen et al. (1995), e mais recentemente por Pi et al. (2021), que lançaram proposta de automatização para identificar geometrias lineares geológicas por meio de limiar e suavização de escalas de cinza entre outros parâmetros em imagens digitais.

Os estudos ressaltam a importância dos modelos digitais de superfície para análise de lineamentos como os de Gabrielsen, Braathen (2014) realizados em rochas cristalinas para estudos sistemáticos de arquitetura de padrões e espacialização geométricos de falhamentos.

Aponta-se ainda para a importância do mapeamento de unidades litológicas, linhas estruturais em cinturão orogênico a partir de dados gravimétricos em imagens de satélites vistos em Forson, Menyeh e Wemegah (2021) e na obra editada por Igor V. Florinsky em 2016 que apresenta extensa contribuição sobre a utilização de modelos digitais de terreno para uso em geologia, geomorfologia e ciência do solo.

Reconhecer e analisar os padrões de lineamentos estruturais, a fim de definir as unidades geomorfológicas da Serra das Andorinhas, com uso de imagens estéreo constitui o principal objetivo da presente seção.

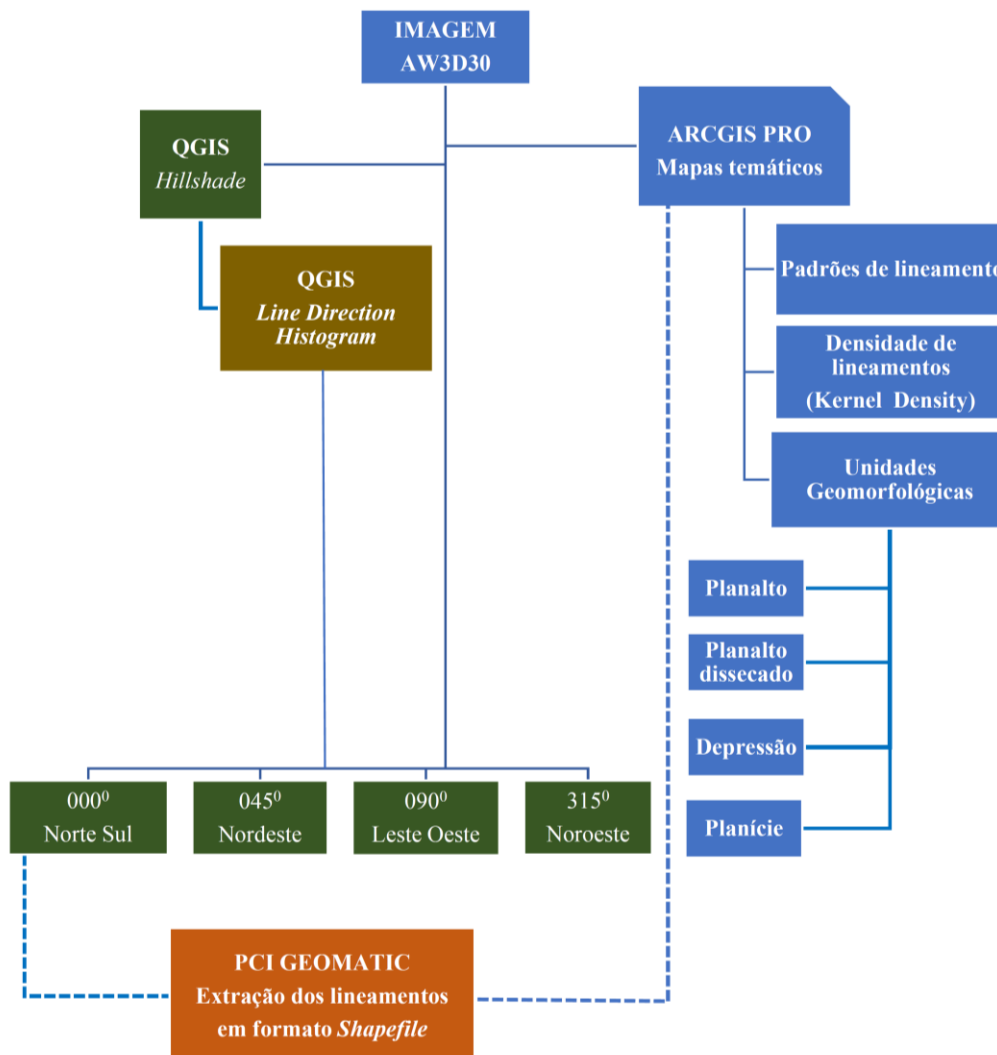
METODOLOGIA

Uso de recursos geoinformativos como os acoplados em plataformas de processamento de imagens facilitam o monitoramento ambiental por meio dos conjuntos de ferramentas computacionais de geoprocessamento, daí é possível localizar e espacializar informações importantes. Entre as plataformas mais conhecidas mundialmente encontra-se o projeto Qgis *open source* que tem desenvolvido um robusto software de geoprocessamento com miríades de ferramentas de manipulação de imagens orbitais.

O desenvolvimento dessa pesquisa segue o fluxograma apresentado na figura 2, na qual está inserido o detalhamento progressivo proposto para serem executadas as etapas

metodológicas na construção dos lineamentos e delimitação das unidades geomorfológicas para a Serra das Andorinhas.

Figura 2 - Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: Autores, 2021.

O mapa de lineamento foi confeccionado a partir da técnica de extração de lineamentos sobre um Modelo Digital de Superfície (MDS). O MDS permite a aplicação de diferentes iluminações, o que favorece o realce diferenciado dos ângulos de iluminação.

A aplicação da iluminação permite uma maior visibilidade das zonas de discontinuidades (fraturas) na imagem. As imagens ópticas AW3D30 de resolução 30 metros foram tratadas digitalmente de acordo com Bricalli (2013) e Bricalli (2016), em que foram usados recursos de iluminação artificial em imagens interferométricas a fim de construir uma imagem de relevo sombreado (*hillshade*) conforme os ângulos azimutais 000°, 045°, 090° e 315° buscando destacar a maior quantidade de lineamentos.

Para a presente pesquisa foi utilizado um modelo digital de superfície (MDS) AW3D30 encontrado na imagem pancromática por meio de instrumentos de mapeamento estéreo (ALOS - *Advanced Land Observing Satellite*).

Três sensores a bordo do ALOS: a) o radiômetro PRISM que é o instrumento estéreo de sensoriamento remoto Pan-cromático para mapeamento, sendo capaz de adquirir imagens tridimensionais detalhadas da superfície terrestre, b) o avançado infravermelho radiômetro e o c) radar de abertura sintética banda L (AKSHAY et al., 2018; SHIMADA; TADONO; ROSENQVIST, 2010).

No Software Qgis 3.X, as imagens foram reprojatadas - Datum WGS84 para SIRGAS 2000 UTM 22S. Na sequência, utilizou-se as ferramentas raster/análise/sombreamento para composição dos relevos sombreados com aplicação de quatro iluminações artificiais de (000°, 045°, 090° e 315°) buscando destacar a maior variedade de lineamentos possíveis, que foram salvos em extensão GEOTIF.

O software *PCI Geomatics* (licença de avaliação) usando a ferramenta LINE possibilitou retirar de forma automatizada os principais lineamentos que foram posteriormente salvos em formato *shapefile* (SHP).

Para a construção de mapa de densidade de lineamentos foi usada a ferramenta “*line density*” do *software* Arcgis Pro (licença acadêmica), a qual permite calcular a magnitude de uma determinada área a partir de múltiplas linhas, gerando um arquivo *raster* que foi classificado por meio de algoritmo de quebras naturais (*Natural Breaks Jenks*), o qual agrupa e classifica um conjunto de valores associados aos *trends* estruturais, para ao final apresentar as cartografias temáticas e sua análise.

Análise e tratamento da informação espaciais por meio de um conjunto de *softwares* de geoprocessamento com uso de imagens orbitais possibilitaram elaborar o mapa de direção de lineamentos litológicos e o mapa das unidades geomorfológicas.

Para efeito de análise do relevo, as unidades geomorfológicas foram delimitadas com uso dos níveis hipsométricos e dos padrões estruturais a partir do MDS- AW3D30 reclassificado no *software* Arcgis Pro (*reclassify*). Na sequência, o arquivo raster foi reprocessado para formato *shapefile*, que permitiu definir os polígonos correspondentes a quatro unidades geomorfológicas para a área de estudo.

Os critérios usados para delimitar as unidades geomorfológicas permitem analisar os fatores altimétricos, fisionômicos e padrões estruturais (lineamentos), podendo ser associados ao segundo táxon de Ross (1992).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No extremo leste da região Amazônica verifica-se um mosaico de rochas que guardam os mais variados eventos tectogênicos que estruturam geofomas tanto em ambientes sedimentares e cristalinos da complexa região de Carajás como em ambientes metassedimentares do Cinturão Araguaia.

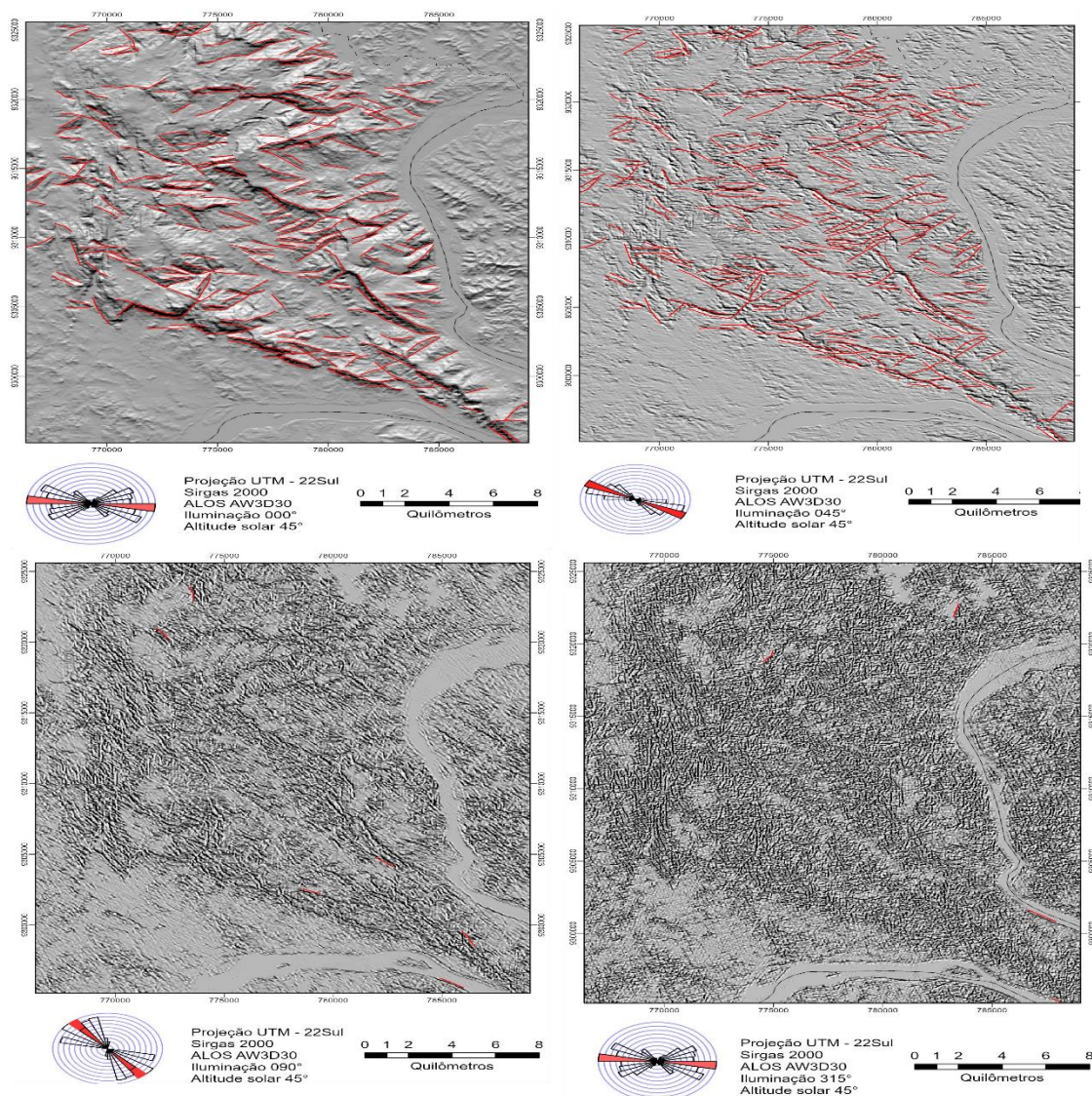
Verifica-se na porção crustal, um alongamento de 1200 km de extensão com largura de 100 km formado por rochas Neoproterozóica (0,82 Ga) com um lineamento preferencial N-S, a qual, de acordo com Dutra, Gorayeb, Nogueira (2014) e Herz et al. (1989), corresponde ao setor norte da província Tocantins do Subgrupo Baixo Araguaia.

A litoestratigrafia do Cinturão Araguaia foi descrita por Gorayeb, Moura e Abreu (2008) como pertencente ao Grupo Tocantins da formação Couto Magalhães e pelo Grupo Estrondo contendo a formação Xambioá e Morro do Campo. Em especial a Serra das Andorinhas pertence ao Grupo Estrondo porção setentrional do Cinturão Araguaia onde quartzitos puros estão intercalados com muscovitas, cianitas e magnetitas (GORAYEB; MOURA; ABREU, 2008).

Os lineamentos estruturais encontrados em imagens AW3D30 por meio de identificação automatizada gerou um total de 466 padrões de lineamentos, que foram agrupados em quatro

cartas de lineamento com direções: NS, NE, EW e NW. Os lineamentos Noroeste-Sudeste revelam uma flexura estrutural que, de acordo com Herz et al. (1989), associados aos eventos Orogênicos do Brasiliano (Figura 3).

Figura 3 - Trend estruturais identificados na Serra das Andorinhas.



Legenda: Fotomosaico da Serra das Andorinhas - apresenta corpo quartzito soerguido junto a planície do Araguaia próximo as cidades de Xambioá-TO e São Geraldo do Araguaia-PA afetado por tectônicas no neoproterozóico.

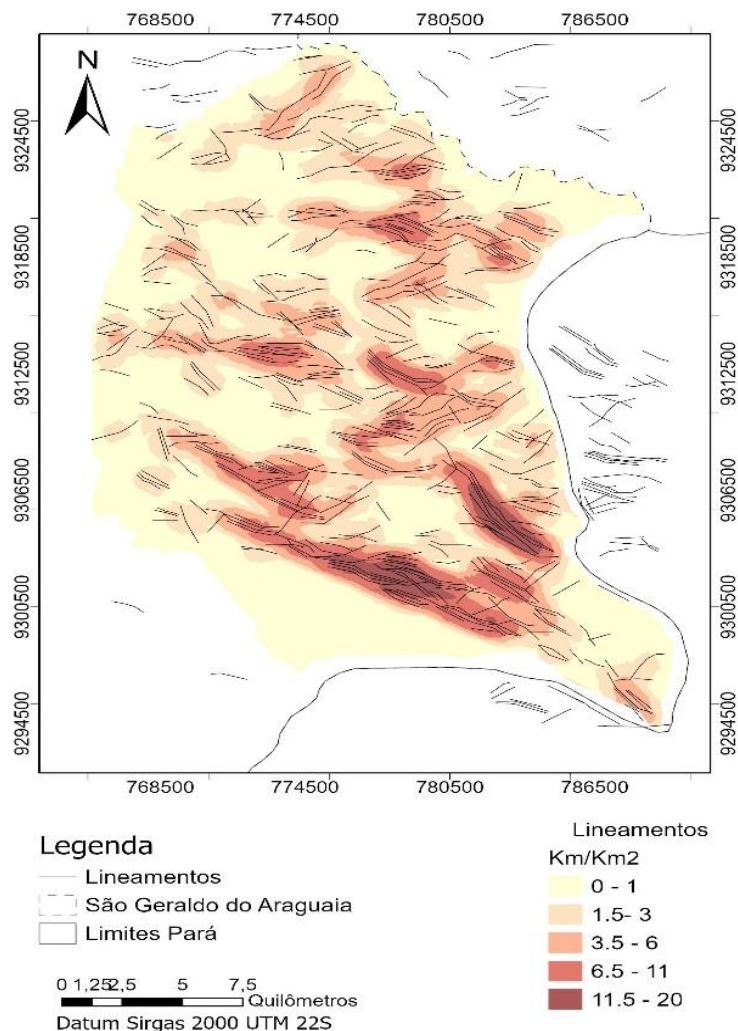
Fonte: Autores, 2021.

O mapa de densidade de lineamento (Figura 4) permite identificar um acúmulo nas áreas periféricas escarpadas, além de permitir compreender o trabalho de entalhamento do rio em especial no exultório do rio sucupira onde o relevo de direção NW parece comandar o curso do rio, produzindo uma geomorfologia de relevo encaixado sobre as rochas quartzíticas. A evolução das cavidades naturais se desenvolve em conformidade com os traços de lineamentos litológicos NS e NE que coadunam com os resultados de Souza (2001).

Os principais rios que drenam este maciço quartzítico são os rios Xambioazinho, Sucupira e Gameleira, uma sub-bacia hidrográfica do rio Araguaia que dinamiza os processos

de dissoluções e formam *kinckpoint* nas vertentes das escarpas apresentando quedas de água com mais de 150 metros de altura sobre o planalto dissecado.

Figura 4- Densidade de lineamento na Serra das Andorinhas.



Fonte: Autores, 2021.

Os *trends* da bacia do Rio Sucupira seguem o padrão de falhas normais descrito por Costa et al. (1996), sendo fortemente inclinadas para oeste, as quais são destacadas por extensos trechos retilíneos do Rio Araguaia e de seus principais afluentes, aqui os rios Sucupira, Xambioazinho e Gameleiro seria o exemplo dessa área.

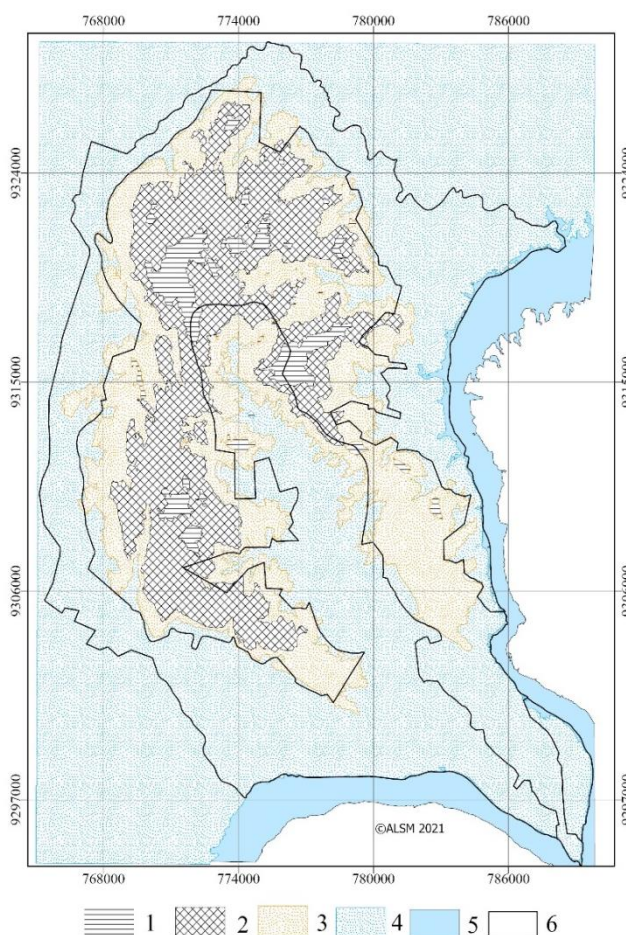
A densidade de lineamento NS da Serra das Andorinhas apresenta-se com mais de 12 quilômetros, formando grandes ambientes deposicionais em rampas coluvionares, derivadas dos processos erosivos e de deposição recortados por fluxos laminares de água e ora por vegetações do tipo tropicais, ora por vegetação savânicas.

A nordeste os lineamentos possibilitam armazenar fluxos hídricos que correspondem aos setores de nascente do rio Sucupira, os neossolos litológicos com baixo desenvolvimento de seu corpo pedológico favorecido pela baixa permeabilidade do substrato rochoso armazena grande quantidade de águas meteóricas e logo em seguida ao processo de saturação em subsuperfície libera fluxos hídricos para as redes de drenagem comandadas pelos lineamentos NE.

Os fundos de vales representados pelos direção EW e NW foram os que melhor possibilitaram identificar lineamentos em vertentes côncavas, as quais podem ser representadas por canais encaixantes sobre o quartzito. Estes apresentam pouca densidade de lineamento, o que talvez indique uma maior resistência litológica dessas estruturas, lineamentos desse padrão e, em especial, o padrão NE-SW, retratado por Costa et al. (1996) como as marcas dos últimos eventos de reativação tectônica que ocorreram no terciário superior.

Ao observar as unidades geomorfológicas pode-se relacioná-las com os padrões lineares em que os limites concordantes dos aspectos geomórficos são bem definidos. Os processos erosivos em fases recentes entalham o platô e os vales em “U” comandados pelos processos mecânicos de desagregação litológica formando um manto pedológico de cascalhos e seixos. Através do lineamento foram definidas quatro unidades geomorfológicas levando em conta os limites estruturais e as idades dos modelados (Figura 5).

Figura 5 - Unidades geomorfológicas para a Serra das Andorinhas.



Legenda: 1 - Planalto; 2 - Planalto rebaixado; 3 - Depressão Araguaia; 4 - Planície Fluvial Araguaia; 5 - Rio Araguaia; 6 - APA Araguaia e Parque Estadual Serra das Andorinhas Martírios.

Organização: Autores 2021

Fonte: Ideflor, 2020; Imagem AW3D30.

Planalto é uma unidade geomorfológica comumente caracterizada como superfície de variável gradiente topográfico, associado a processos erosivos formando geofomas caracterizando morros, colinas, serras e chapadas, segundo Suertegaray (2008).

Acrescentando a esse conceito, o IBGE (2009) define que os planaltos apresentam relevos planos ou dissecados, em altas cotas de altitudes, limitados, pelo menos em uma face do relevo, por superfícies mais baixas comandadas pelos processos erosivos. O Planalto é a unidade geomorfológica que representa inexoravelmente os processos de orogenia ocorridos no Neoproterozóico, com altimetrias de até 580 metros entalhados com maior frequência no Cenozóico. Esses processos erosivos são facilitados pelas diaclases das rochas quartzíticas com os dobramentos. Estão orientados, predominantemente, na direção nordeste.

O planalto rebaixado com bordas escarpadas apresenta altimetrias de até 360 metros, onde ambientes diaclasados fornecem grande quantidade de colúvio na borda dessa unidade geomorfológica. As declividades podem apresentar-se em até 45°, capazes de produzir geoformas de rampas de colúvios. Os planaltos rebaixados apresentam *trend* estruturais com extensões entre 3 a 6 km que marcam nos quartzíticos planos de fraturas capazes produzir geoformas runeiformes e ambientes espeleológicos variando de 1,5 m a 1500 km. Ampla drenagem encaixada é influenciada por processos tectônicos que estruturaram a área desde os fins do neoproterozoico, em que os processos de dissoluções ocorrem em fraturas do quartzítico.

Para o IBGE (2009), a depressão é uma unidade geomorfológica que denota um conjunto de relevos planos e ondulados situados nas regiões vizinhas dos planaltos. Coadunando com essas questões, Suertegaray (2008) conceitua como depressão a superfície aplainada em longos processos erosivos localizada entre os planaltos. A depressão Araguaia com colinas em geoformas em “U” aponta para vales com gradientes topográficos (declividades) recobertos pelos sedimentos Fanerozóicos nas superfícies depressionares. Sua altimetria pode apresentar valores de até 170 metros nas bordas das planícies fluviais do rio Araguaia recortados pelos seus tributários como os rios Xambeozinho e Gameleiro.

A unidade geomorfológica “planície” aparece associada a superfícies planas de origem variadas, as atividades de produção de sedimentos de origem eólica, marinha, fluvial, lacustre, ou glacial, entre outros, são os critérios gerais que definem essa unidade Suertegaray (2008). De acordo com o IBGE (2009), essa unidade apresenta geoformas planas a suavemente onduladas com baixas cotas altimétricas comandadas por processos de sedimentação. A Planície fluvial Araguaia é um megassistema fluvial que banha a porção leste da Serra das Andorinhas com limites estruturais dos lineamentos perpendiculares ao canal fluvial, assim as corredeiras formam *knickpoint* em direção NE e alguns pontos em NW-SE.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O direcionamento N-S e com menor intensidade NE-NW revelam os eventos tectônicos passados que influenciam a geomorfologia dos vales fluviais, em especial os *knickpoint* formando quedas d’água, além das escarpas de falhas fornecedoras dos sedimentos fanerozóicos modelando grandes rampas de colúvios nos *piemont* da serra das andorinhas junto aos *trend* de estruturais de extensões de 11 a 20 km.

Os softwares de geoprocessamento e de cartografia digital possibilitam a produção de uma base de dados acurados para fins de mapeamento sistemático, para a qual o reconhecimento desse ambiente precisa melhor detalhamento para ser validada. Os próximos passos da pesquisa serão o levantamento em escala de detalhe para possíveis reconhecimentos de feições e *trend* de lineamento.

Repensar a preservação do patrimônio geomorfológico e de seus serviços geossistêmicos é essencial para ampliar os estudos sobre sistemas quartzíticos na Serra das Andorinhas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado com recursos da Fundação Amazônia de Amparo à Pesquisa (FAPESPA/Unifesspa, convênio n°10/2020 - processo n°23479.014841/2020-35), no subprojeto “proposta metodológica de monitoramento ambiental com uso de veículo aéreo não tripulado (vant) na caracterização de paisagens, geodiversidade e geomorfossítios para a Região de Carajás.”

REFERÊNCIAS

AKSHAY, O. J; THAKER, T; CHAURASIA, A; PATEL. P; SINGH, A. K. Vertical accuracy evaluation of SRTM-GL1, GDEM-V2, AW3D30 and CartoDEM-V3.1 of 30-m resolution with dual frequency GNSS for lower Tapi Basin India, **Geocarto International**, v.33, n.11, p.1237-1256, 2018. <<https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1343392>>.

BRICALLI, L. L. Procedimentos Metodológicos e Técnicas em Geomorfologia Tectônica. **Espaço Aberto**, PPGG - UFRJ, v.6, n.1, p.75-110, 2016.

BRICALLI, L. L. Padrões de lineamentos relacionados à litoestrutura e ao fraturamento neotectônico (estado do espírito santo, se do brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.3, p.301-311, 2013.

COSTA, J. B. S; BEMERGUY, R. L; HASUI, Y; BORGES, M. S; FERREIRA, JR. C. R. P; BEZERRA, P. E. L; COSTA, M. L. C. FERNANDES, J. M. G. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, v.4, n.2, p. 23-44,1996. <<https://doi.org/10.18285/geonomos.v4i2.199>>.

DUTRA, A. C. S; GORAYEB, P. S. S; NOGUEIRA, A. C. R. Depósitos sedimentares neoproterozoicos do Grupo Tucuruí – Cinturão Araguaia, Nordeste do Pará. **Geol. USP, Sér. cient.**, São Paulo, v.14, n.1, p.21-36, 2014. <<https://doi.org/10.5327/Z1519-874X201400010002>>.

EHLEN, J; HEVENOR, R.A; KEMENY, J.M; GIRDNER, K. Fracture recognition in digital imagery. **Anais...The 35th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS)**, Reno, Nevada, June. p.141-146, 1995.

FORSON, E. D; MENYEH, A; WEMEGAH, D. D. Mapping lithological units, structural lineaments and alteration zones in the Southern Kibi-Winneba belt of Ghana using integrated geophysical and remote sensing datasets, **Journal Ore Geology Reviews**, v. 137, p.104-272, 2021. <<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104271>>.

FLORINSKY, I. V. (Ed.). **Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology**, 2.ed. London: Elsevier, 2016.

GABRIELSEN, R. H; BRAATHEN, A. Models of fracture lineaments: Joint swarms, fracture corridors and faults in crystalline rocks, and their genetic relations. **Journal Tectonophysics**, v. 628, p.26-44, 2014. <<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.04.022>>.

GORAYEB, P. S. S; MOURA, C. A. V; ABREU, F. A. M. **Geologia do parque Andorinhas e região adjacente**. In: P.S.S. Gorayeb (org.). Parque Martírios-Andorinhas: Conhecimento, história e Preservação. Belém: EDUFPA, 2008.

GOUDIE, A. **Encyclopedia of geomorphology**. Londres: Taylor & Francis e-Library, 2004.

HERZ, N; HASUI, Y; COSTA, J. B. S; MATTA, M. A. S. The Araguaia fold belt, Brazil: a reactivated brasiliano-pan-african cycle (550 ma) geosuture. **Journal Precambrian Research**, v.42, p.371-386,1989. <[https://doi.org/10.1016/0301-9268\(89\)90020-X](https://doi.org/10.1016/0301-9268(89)90020-X)>.

IBGE. **Manual técnico de Geomorfologia**. n.6, Rio de Janeiro: IBGE, 2009

MIYAGAWA, L. J P. P. **Geologia, petrografia e geoquímica da suíte ofiolítica Araguacema – Cinturão Araguaia**. Dissertação (mestrado em geoquímica e petrologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2012.

MUDD, S. M. **Topographic data from satélites**. TAROLLI, P.; MUDD, S. M.(eds). *Developments in Earth Surface Processes*, Elsevier, v.23, p.91-128, 2020. <<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64177-9.00004-7>>.

PI, Z; ZHOU, Z; LI, X; WANG, S. Digital Image Processing Method for Characterization of Fractures, Fragments, and Particles of Soil/Rock-Like Materials. **Mathematics**, v.9, n.8, p.1-13, 2021. <<https://doi.org/10.3390/math9080815>>.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Rev. do Departamento de Geografia - USP**, São Paulo, v.6, p. 17-29,1992.

SOUZA, J. O. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. PLGB. Xambioá – Folha SB.22-Z-B. Esta dos da Pará e Tocantins**. Escala 1:250.000. (org.). João Olímpio Souza e Luiz Carlos Moreton – Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2001.

SHIMADA, M; TADONO, T; ROSENQVIST, A. Advanced Land Observing Satellite (ALOS) and Monitoring Global Environmental Change. **Proceedings of the IEEE**, v. 98, n. 5, p.780-799, 2010. <<https://doi.org/10.1109/JPROC.2009.2033724>>.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Terra: feições ilustradas**. Porto Alegre: EDUFRGS, 2008.