

Sensoriamento remoto aplicado a análise estrutural da faixa Araguaia – região de Guaraí - TO

Renato Leandro^{1,2}
Leonardo Fadel Cury^{1,2}
André Ramiro Hillani Pierin^{1,2}
Fernando Mancini^{1,2}

¹ Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná - UFPR
Caixa Postal 80060 - 000 - Curitiba - PR, Brasil
renatole@hotmail.com

² Laboratório de Análises de Bacias e Petrofísica - LABAP
Caixa Postal 815131 - 980 - Curitiba - PP, Brasil

Abstract. The remote sensing imagery is one of the most used techniques in characterization of geological framework and regional structures. This paper discuss the structural framework of Araguaia Belt around Guaraí region, western Tocantins state, through multiscale analysis. The research emphasizes the comparison of structures defined on Global Digital Elevation Model (GDEM) from ASTER images, and structural data obtained from field surveys. The ASTER images were processed in spatial resolution of 15 m, rendered with lighting directions 0°, 45°, 90° 315°, and lighting altitude 45°. The lithostructural map was traced in 1:100.000 scale, covering an area of approximately 29.500 Km², composed by 26.949 lineaments. The analysis was supported by rose diagrams of lineaments frequency and length, as well foliation and fractures stereonet. The results shows pronounced trends in N-S and NE directions, suggesting that the structural pattern of ASTER images is mostly controlled by Precambrian tectonic processes. The secondary trend in E-W direction, may be related with brittle deformation in Guaraí region, developed after the tectonic evolution of Araguaia Belt, probably during the Phanerozoic tectonic events.

Palavras-chave: **faixa Araguaia; morfotectônica; Geologia; análise de lineamentos; Araguaia belt; morphotectonic; Geology; lineament analysis;**

Resumo. A análise de imagens de sensores remotos é uma das técnicas mais utilizadas na caracterização do arcabouço geológico-estrutural, através do traçado de lineamentos e da identificação de estruturas tanto em escalas regionais, quanto em escalas de detalhe. O presente trabalho tem por objetivo a caracterização litoestrutural da Faixa Araguaia na região de Guaraí – TO, através da análise multiescala, com ênfase na caracterização das estruturas definidas em imagens orbitais, comparadas com dados estruturais obtidos em levantamentos de campo. Nesta pesquisa, foram utilizadas imagens GDEM, com dados altimétricos obtidos por estéreo correlação de imagens ópticas do satélite ASTER. Para a confecção do mapa litoestrutural foram utilizadas imagens com resolução espacial de 15 m, processadas com iluminação nas direções 0°, 45°, 90° e 315°, altitude de iluminação de 45° e traçado escala 1:100.000, em uma área de aproximadamente 29.500 Km², onde foram traçados 26.949 lineamentos, analisados com auxílio de diagramas de rosetas de frequência e comprimento. As pétalas mais pronunciadas evidenciam uma forte tendência nas direções N-S, sendo estas as estruturas mais freqüentes e de maior comprimento na área de estudo. Os dados levantados em campo sugerem que o padrão estrutural observado nas imagens é produto dos processos tectônicos pré-cambrianos. As deformações mais recentes representam lineamentos secundários, provavelmente devido às características de penetratividade e espaçamento dessas estruturas.

Palavras-chave: **faixa Araguaia; morfotectônica; Geologia; análise de lineamentos; Araguaia belt; morphotectonic; Geology; lineament analysis;**

1. Introdução

O entendimento da evolução do relevo e seus controles estruturais, através do estudo de imagens orbitais, é uma das mais importantes ferramentas para avaliação do controle das anisotropias do embasamento na reativação de falhas durante e após a deposição das seqüências fanerozóicas. A região de Guaraí, a exemplo de boa parte da borda oeste da Bacia do Parnaíba, é ainda pouco estudada.

Neste trabalho foram feitas as análises dos lineamentos na região de Guaraí - TO, utilizando imagens GDEM-ASTER com resolução espacial de 15 m, processadas com iluminação nas direções 0°, 45°, 90° e 315°, altitude de iluminação de 45° e traçado na escala 1:100.000, em uma área de aproximadamente 29.500 Km². A região estudada localiza-se no estado de Tocantins, na porção central (FIGURA 1).

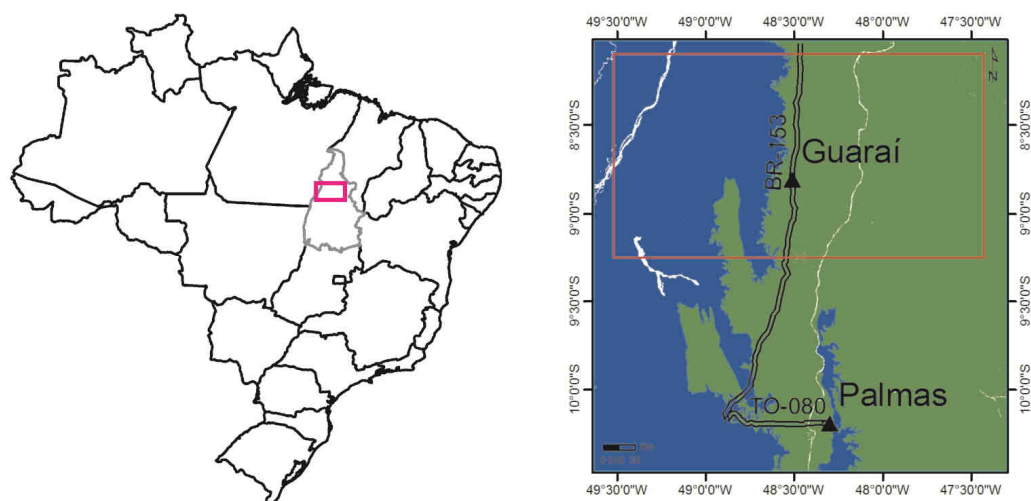


Figura 1. Localização da área de estudo (polígono vermelho) sobre mapa do Brasil e o mapa Geológico com a Faixa Araguaia em azul e a Bacia do Parnaíba em verde, com a principal via de acesso.

1.1. Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo a caracterização litoestrutural da Faixa Araguaia na região de Guaraí – TO, através da análise multiescala, com ênfase na caracterização das estruturas definidas pelo estudo do arcabouço morfotectônico em imagens orbitais e levantamento de campo. E também verificar os fatores que influenciam diretamente na geometria dos elementos observados, principalmente quanto à direção e altitude da iluminação, projeção cartográfica e escala..

2. Metodologia de Trabalho

O trabalho foi realizado em diferentes etapas. A primeira etapa foi referente a pesquisa bibliográfica, a aquisição de cartas geológicas, mapas rodoviários e imagens de sensores remotos. As imagens de sensores remotos foram obtidas nos sítios da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), disponibilizadas gratuitamente. Posteriormente essas informações foram armazenadas em um banco de dados junto a um sistema de informações geográficas (SIG).

Com auxílio do software ESRI® ArcMap™, as cartas geológicas e topográficas foram georreferenciadas dentro do sistema de coordenadas geográficas SAD-69, e posteriormente digitalizadas, editadas. Dentro desta etapa, foram levantados os principais aspectos geológicos disponíveis em publicações e projetos de domínio público, e incluídos no bando de dados deste trabalho.

2.1. Sensoriamento Remoto

A análise de imagens de sensores remotos é uma das técnicas mais utilizadas na caracterização do arcabouço geológico-estrutural, pois através do traçado de lineamentos é possível identificar estruturas em diferentes escalas.

A parti de dados altimétricos obtidos por estéreo correlação de imagens ópticas GDEM (*Global Digital Elevation Model*), do satélite ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection*) foram geradas imagens com resolução espacial de 15 m. As imagens GDEM / ASTER foram utilizadas para confecção do mapa litoestrutural, através do traçado

de lineamentos. Foram processadas com iluminações nas direções 0° , 45° , 90° e 315° e altitude de 45° (Figura 2).

Além da área total proposta neste trabalho, foram escolhidas quatro áreas menores (subáreas) com aproximadamente 2.500 Km^2 , em formas retangulares em quatro diferentes direções: leste-oeste, norte-sul, sudoeste-nordeste e noroeste-sudeste. Também foi analisada uma área ao longo do caminhamento realizado durante a etapa de campo, com área de aproximadamente 5.000 Km^2 , a fim de aproximar os dados orbitais com os dados obtidos em campo.

No total, foram traçado 26.949 lineamentos na escala 1:100.000 (FIGURA 3). O critério utilizado para traçado dos lineamentos, foi a observação das estruturas em no mínimo duas iluminações.

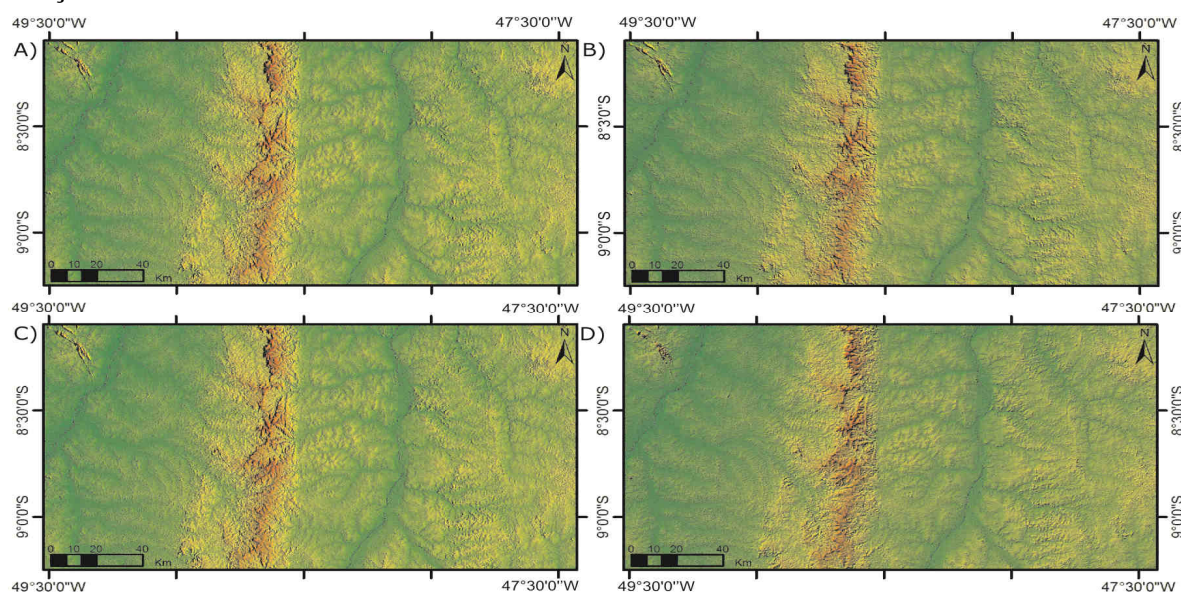


Figura 2. Modelo digital de elevação GDEM-ASTER da área de estudo, em quatro iluminações: 0° (A), 45° (B), 90° (C) e 315° (D), altitude de 45° .

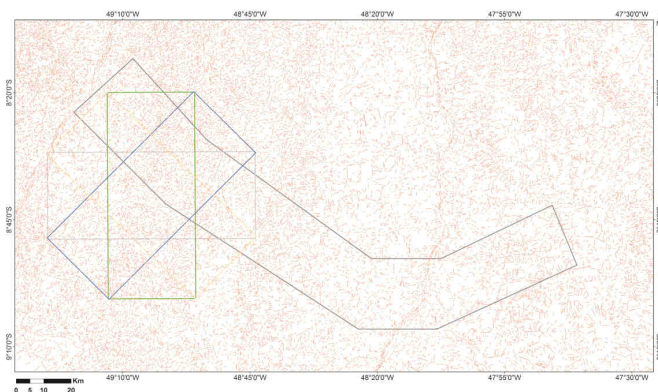


Figura 3. Mapa de lineamentos traçados para região de Guarai – TO. Contagem total = 26.949. Com Área total e as subáreas analisadas, com diferentes formas e orientações, na tentativa de se verificar o efeito de condicionantes geométricas no estudo do arcabouço litoestrutural por sensoriamento remoto.

3. Resultados e Discussão

Utilizando as imagens GDEM - ASTER, nas quatro iluminações foram traçados 26.949 lineamentos em toda área pesquisada, caracterizados por elementos retilíneos ou levemente curvilíneos, padrão predominantemente em série, com forte anisotropia. Podem ser observadas algumas sugestões de estruturas com padrão em feixe nas direções E-W, NE e N-S, porém, freqüentemente interrompidas e mascaradas por lineamentos de outras direções. A transição entre as porções com diferentes densidades de lineamentos é progressiva, caracterizada por contatos indefinidos.

Os diagramas de comprimento e frequência acumulada dos lineamentos traçados em toda área de estudo (29.500 Km²) mostram grande semelhança (FIGURA 4). Ambos revelam valores distribuídos em todos os quadrantes, com padrão caracterizado pela maior evidência das direções **N0-10E**, **N80-90W** e **N40-60E**.

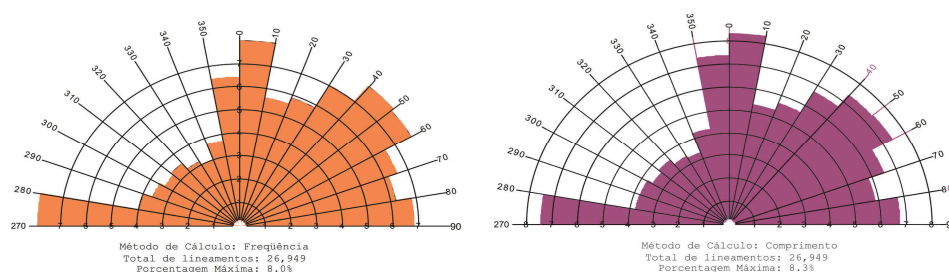


Figura 4. Diagramas de comprimento (laranja) e frequência acumulada (vinho) dos lineamentos traçados na região de Guarai – TO.

Observa-se predominância de valores no quadrante NE, que abrange aproximadamente 60% dos lineamentos traçados. Porém, apresentam grande dispersão, com pétalas secundárias em praticamente todos os intervalos. Já as direções N-S e E-W são caracterizadas por tendências bem pronunciadas, em intervalos bem definidos (entre 10° e 20°). Notadamente, o quadrante NW é caracterizado pelo menor volume de valores (FIGURA4).

A fim de realizar uma comparação mais precisa com os dados de campo, foi selecionada uma área com cerca de 5.000 Km² em forma de um polígono irregular, acompanhando o trajeto percorrido durante os levantamentos de campo na transecta de Guarai. Esta subárea contém 4.500 lineamentos, apresentando predomínio de registros no quadrante NE (FIGURA 5), padrão este muito similar ao observado na área total do projeto (FIGURA 4).

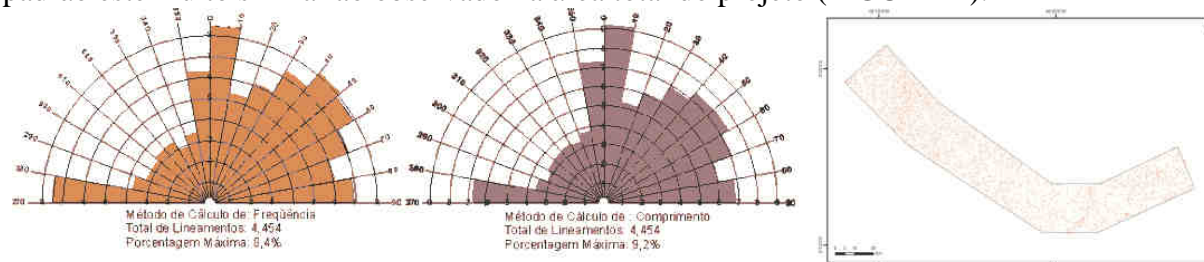


Figura 5. Diagramas de comprimento (laranja) e frequência acumulada (vinho) dos lineamentos traçados na área do polígono irregular, que acompanha o trajeto da transecta levantada em campo, escala 1:100.000.

Na tentativa de analisar a influência da forma geométrica da área nos resultados, foram avaliadas 4 subáreas retangulares com 2.500 Km² e quatro diferentes direções preferenciais: leste-oeste, norte-sul, sudoeste-nordeste e noroeste-sudeste. Estas áreas foram posicionadas no compartimento região com maior densidade de lineamentos, contendo aproximadamente 3.000 registros cada. Os resultados nas subáreas mostraram grande semelhança entre si, sendo este padrão igualmente semelhante ao observado em toda área de estudo (FIGURA 4).

Portanto, os resultados obtidos em áreas com diferenças geométricas em relação à área total do projeto, apresentaram padrões bastante similares, com *trends* principais nas direções NE-SW, N-S e E-W, sem variações substanciais.

Buscando o reconhecimento de anisotropias estruturais nos diferentes ambientes geológicos da área de estudo, foi realizada uma análise comparativa entre os padrões de lineamentos impressos na Faixa Araguaia e a Bacia do Parnaíba (FIGURA 6).

Os lineamentos traçados sobre a Faixa Araguaia correspondem a 56 % de todos os registros, concentrando-se preferencialmente no quadrante NE. Subordinadamente, apresentam direções N-S e E-W, caracterizadas por pétalas bem pronunciadas em intervalos bem definidos (FIGURA 6 B). Os lineamentos traçados sobre a Bacia do Parnaíba

correspondem a 44% do total de registros, concentrando-se preferencialmente na direção E-W. Subordinadamente, apresenta direções N-S e NW (FIGURA 7 A).

Comparativamente, pode ser observada uma leve discrepância entre os resultados da Faixa Araguaia e da Bacia do Parnaíba. O padrão observado na bacia apresenta maior volume de registros com direção E-W, enquanto que na faixa o padrão denota um volume de registros relativamente maior no quadrante NE. De modo geral ambos os resultados (FIGURA 6A e 6 B) apresentam fortes correlações com o padrão observado em toda área de estudo (FIGURA 4).

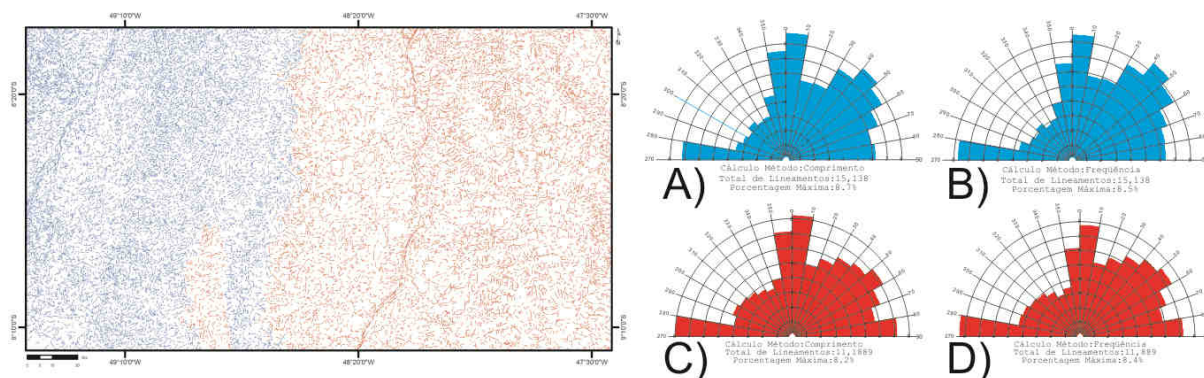
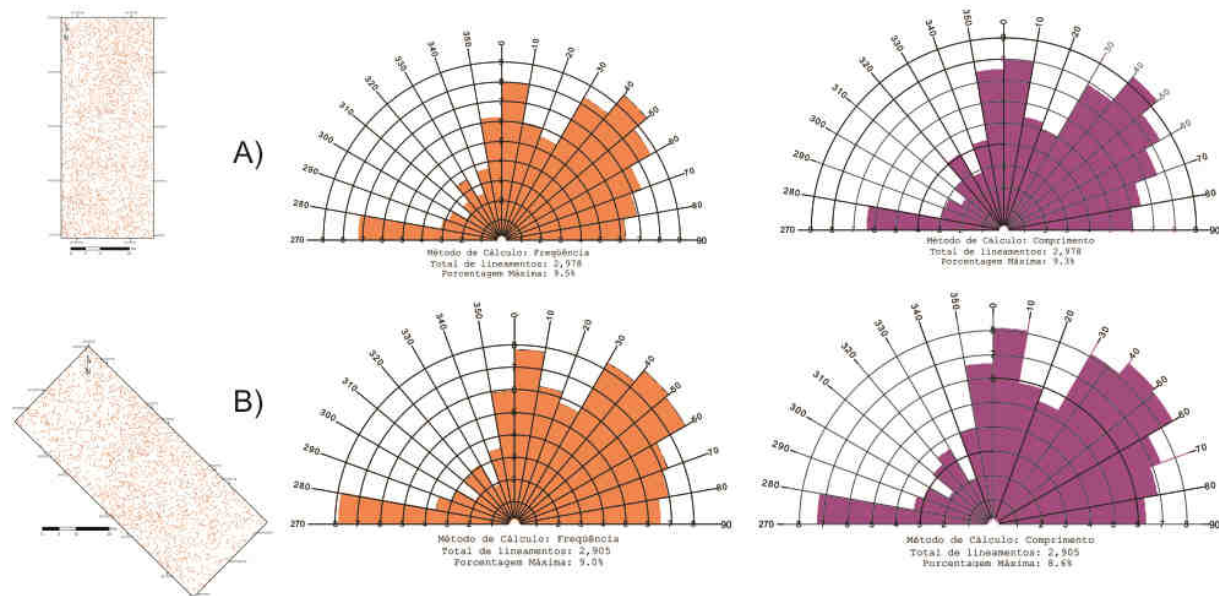


Figura 6. Figura 7. Diagramas de comprimento (A) e frequência acumulada (B) dos lineamentos traçados na Bacia do Parnaíba (vermelho), Diagramas de comprimento (C) e frequência acumulada (D) dos lineamentos traçados na Faixa Araguaia (azul), escala 1:100.000. Mapa de lineamentos distribuídos nas áreas de abrangência da Faixa Araguaia (azul) e Bacia do Paranaíba (vermelho).



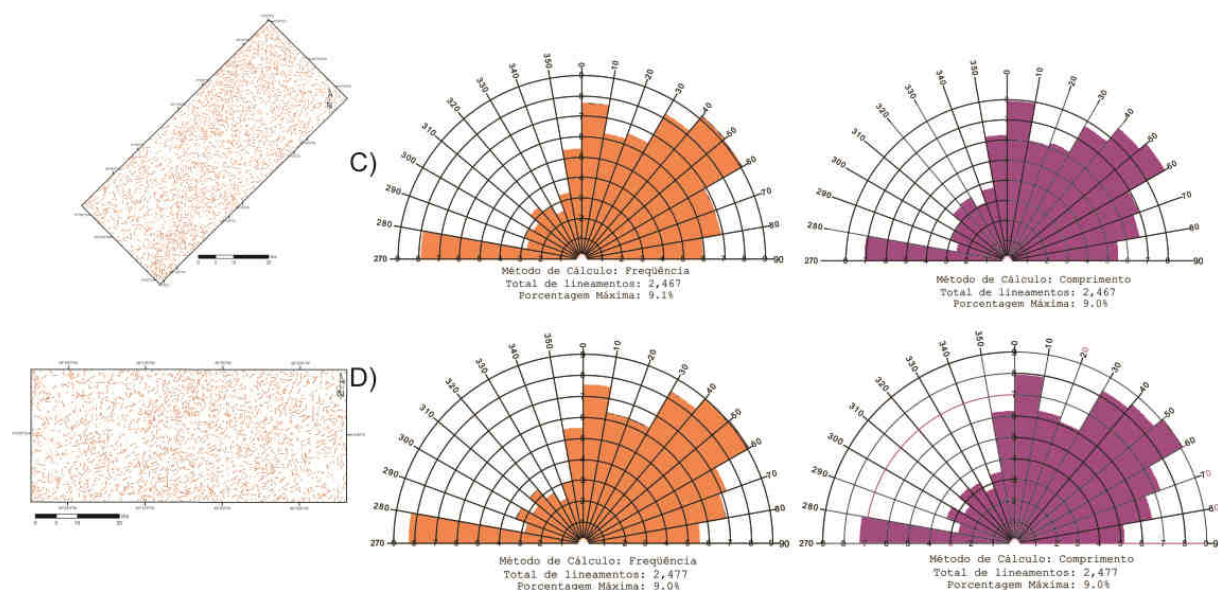


Figura 8. Diagramas de comprimento (laranja) e frequência acumulada (vinho) dos lineamentos traçados nas subáreas retangulares com direções NS (A), NW (B), NE (C) e EW (D), escala 1:100.000.

Também foram traçados lineamentos na escala 1:300.000. A diferença dos lineamentos traçados na escala 1:300.000 com os da escala 1:100.000 é perceptível, os padrões predominantes são nas direções NW e NE na escala 1:300.000 (Figura 8).

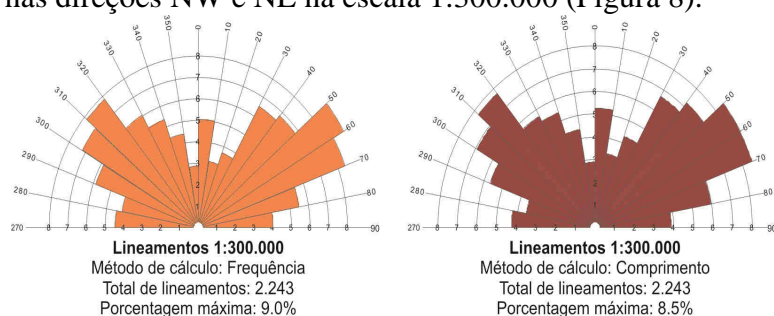


Figura 9. Diagramas de comprimento e frequência acumulados dos lineamentos traçados em escala 1:300.000.

3.1. Dados Estruturais de Campo

O levantamento estrutural realizado na transecta Guará foram obtidos dados de foliações, falhas e juntas distribuídos por toda extensão da área de estudo. Adquiridas 323 atitudes de foliações dúcteis e dúcteis - rúpteis (S_n , S_{n+1} e S_{n+2}), desenvolvidas durante eventos metamórficos relacionados às diferentes fases de deformação da Faixa Araguaia, admitidas como do Neoproterozóico (FIGURA 13). Seus registros se concentram nos quadrantes NNE e NNW, preferencialmente.

Foram adquiridas 601 atitudes de fraturas e falhas observadas tanto nas rochas Pré-cambrianas da Faixa Araguaia, quanto nas rochas paleozóicas da Bacia do Parnaíba. Os registros da faixa apresentam duas direções mais proeminentes, N-S e E-W, com pétalas secundárias nos quadrantes NNW e ENE (FIGURA 10 A). Os registros da bacia apresentam maior dispersão, com direção principal N30-40W e pétalas secundárias nas direções N-S e ENE (FIGURA 10 B).

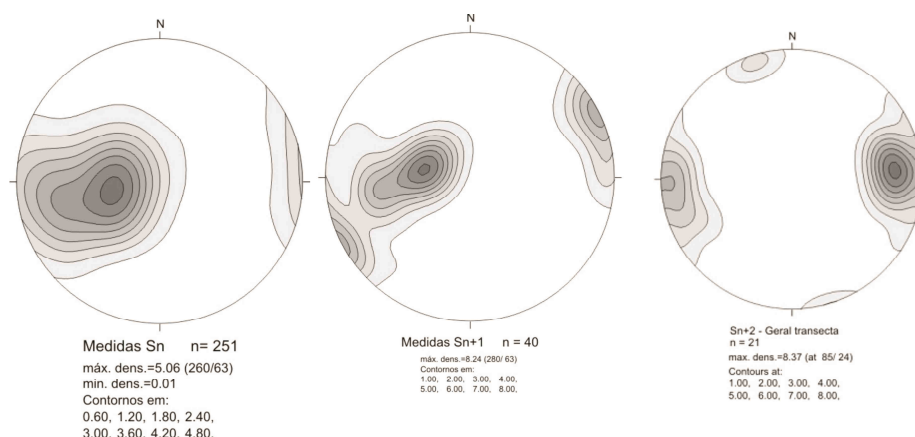


Figura 10. Esterogramas das foliações metamórficas Sn, Sn+1 e Sn+2 da Faixa Araguaia. Dados da transecta de Guarai – TO.

Em campo, foram observadas falhas neotectônicas de direção E-W, afetando sedimentos recentes depositados tanto no âmbito das rochas sedimentares da bacia, quanto nas rochas metamórficas da faixa.

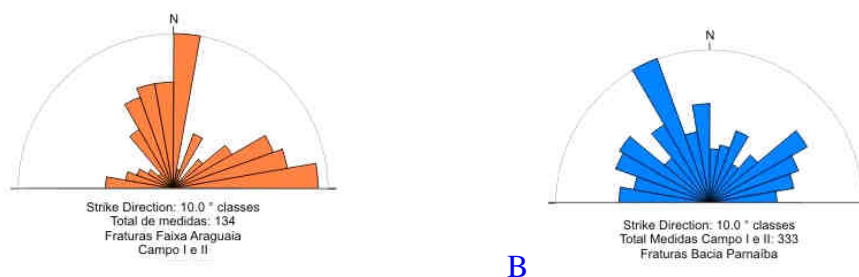


Figura 11. Diagrama de rosetas para fraturas observadas na Faixa Araguaia (A) e na Bacia do Parnaíba (B). Dados da transecta de Guarai – TO.

4. Conclusão

O estudo da influência da forma geométrica da área na análise dos lineamentos, mostrou resultados semelhantes, independentemente do formato, dimensão (em Km²) e orientação preferencial. As principais tendências observadas nas subáreas definiram padrões muito próximos ao observado na área total, sugerindo uma correlação fractal. Porém, tal resultado foi obtido na escala fixa 1:100.000, comparando com escala 1:300.000 observa-se um padrão diferenciado, mostrando influência da escala na análise dos lineamentos.

O padrão dos lineamentos analisados na região de Guarai é caracterizado pelo predomínio das direções NE, porém, com grande dispersão em praticamente todo o quadrante. Os lineamentos de direções N-S e E-W representam tendências bem pronunciadas, em intervalos entre 10° e 20°.

Relacionando as direções dos lineamentos com os dados de campo, são observadas correlações em alguns contextos. No âmbito da Faixa Araguaia, as direções N-S e NNW sugerem correlação com as foliações précambrianas, desenvolvidas durante os eventos de deformação do Neoproterozóico (semelhante ao observado por Hasui e Costa, 1990; Hertz, 1989). As direções E-W podem estar correlacionadas a fraturas e falhas, que afetaram as rochas da faixa em um período relativamente mais recente. Porém, não foi observada correlação para os lineamentos com direção NE, tendência pouco observada em campo.

Agradecimentos

Os autores agradecem Petrobrás pelo apoio financeiro e UFPR pelo apoio institucional e a todos os colaboradores do Laboratório de Análises de Bacias e Petrofísica (LABAP).

Referências Bibliográficas

Abreu, F. A. M. de. 1978. **O Supergrupo Baixo Araguaia**. Na. XXX Congresso Brasileiro de Geologia., 2:539-545. Recife.

Abreu, F.A.M. 1978. **Estratigrafia e evolução estrutural do segmento setentrional da Faixa de Dobramentos Paraguai-Araguaia**. Tese de Mestrado. Belém, UFPa, Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas. 90p.

Abreu, F.A.M. et al. 1980. **Evolução do Grupo Estrondo na região de Xambioá-GO**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. Balneário de Camboriú. Soc. Bras. Geol. 1980. Anais...v.5,p.2.542-2.550.

Almeida, F.F. M de, Neves, B. B. B. de, 1976, **The Upper Precambrian of South America**. Boleim IG. Instituto de Geociências, USP. V7:45, 80.

Almeida, F.F. M. de, Hasuy, Y. et al. **Província Tocantins; setor setentrional**. In: O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo: Ed gard Blucher, 1984. p. 187- 203.

Almeida, F.F.M. de, et al. 1985. **Alguns problemas das relações geológicas entre o Cráton Amazônico e as faixas de dobramentos marginais a leste**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, Goiânia, Soc. Bras. Geol., 1985. Atas... p.3-14.

Alvarenga, C. J. S.; Moura, C. A. V.; Gorayeb, P. S. S.; Abreu, F. A. M. 2000. **Paraguay and Araguaia Belts**, In: Cordani U., Milani E. J., Thomaz Filho A., Campos Neto M. C., Eds./ Tectonic Evolution of South América. Rio de Janeiro -RJ, 183-193p.

Cordani, U.G.; Neves, B.B.B.; Fuck, R.A.; Thomaz, A. & Cunha, F.M.B. (1984). **Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras**. Rio de Janeiro, Petrobrás, 70 pag. (Ciência-Técnica-Petróleo, 15).

Costa, J. B. S., 1980, **Estratigrafia da Região de Cólmeia, GO**. Balneário Camboriú: Anais Do 31 Congresso Brasileiro De Geologia, V.2, 1980.

Costa, J.B.S.; Borges, M.S.; Igreja, H.L.S.; Hasui, Y. 1991. **Aspectos da evolução da Bacia do Parnaíba e sua relação com o arcabouço Pré-Cambriano**. Boletim. III Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Rio Claro-SP. 96-98.

Hasui, Y. and Costa, J.B.S., 1990. **O Cinturão Araguaia: um novo enfoque estrutural-estratigráfico**. In: 36th Congresso Brasileiro de Geologia, Sociedade Brasileira de Geologia, Anais, Natal, 6: 2535-2549.

Herz, N.; Hasui, Y.; Costa, J.B.S.; Matta, M.A.S. 1989. **The Araguaia Fold Belt, Brazil: a reactivated Brasiliano-Pan-Africano Cycle (550 Ma) Geosuture**. Precambrian Research, 42: 371-386.

Góes, A.M. 1995. **A Formação Poti (Carbonífero Superior) da Bacia do Parnaíba**. Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese de Doutorado, 171 p.

Gorayeb, P.S. S. 1989. **Cor pos ser pentíníficos da Faixa Araguaia na região de Araguacema - Pequizeiro - Conceição do Araguaia (Goias-Pará)**. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo, v.19, n.1, p.51- 62.

Kegel, W. 1965. **A estrutura Geológica do Nordeste do Brasil**. Boletim da Divisão de Geologia e Mineração, DNPM. n.227. Rio de Janeiro-RJ. 43p.

Kotschoubey, Basile; Hieronymus, Bernard; Albuquerque, Carlos Alberto R. 2005. **Disrupted peridotites and basalts from the Neoproterozoic Araguaia belt (northern Brazil): Remnants of a poorly evolved oceanic crust?** Journal Of South American Earth Sciences, Ddd, p. 211-230.

Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. 1994. **Remote sensing and image interpretation**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons. 750 p.

Macambira, J.B. 1983. **Geologia e ocorrências minerais do braquianticlinal do Lontra (GO)**. M.Sc. thesis. Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, p. 108.

Matta, M. A. S., 1984, Modelamento Estratigráfico da Região de Tucuruí, Pará. [s. L.]: Anais do XXXIII Congresso Brasileiro De Geologia, Rio De Janeiro, 1984, 198p.

Oliveira, D. C. de, Mohriak W. U., 2003, **Jaibaras trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, Northern Brazil**. Marine and Petroleum Geology, 20, 351-383

Paixão, M. A. P., Nilson A. A. e Dantas, E. L., 2008 **The Neoproterozoic Quatipuru ophiolite and the Araguaia fold belt, central-northern Brazil, compared with correlatives in NW Africa**. *Geological Society, London, Special Publications*; 2008; v. 294; p. 297-318.

Santos, V.H.; Filho, M.F.L.; Neumann, V.H. 2007. **Quais as possibilidades de um sistema petrolífero na Bacia do Parnaíba?** Anais. IV Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em petróleo e gás, Campinas, SP.

Santos, M.E.deC.M.; Carvalho, M.S.S.de. 2004. **Paleontologia das Bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís**. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Rio de Janeiro-RJ. 211p.

Santos, M.D.; Macambira, J.B.; Kotschoubey, B. 1984. **Uma proposta para a origem das Braquianticlinais de Xambioá e Lontra (GO) - possíveis domos gnáissicos**. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, 3400-3414.

Strieder, A.J. e Suita, M.T.d.F. 1999. **Neoproterozoic geotectonic Evolution of Tocantins Structural province, Central Brazil**. *Geodynamics* 28 (1999). P: 267-289.