

ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DAS FRATURAS EXTRAIDAS DAS IMAGENS DO LANSAT-5/TM DA REGIÃO DE SANTA LUZIA, PB.

Antonio Costa Filho ¹
Tumkur Rajarao Gopinath ¹
Manoel de Araújo Sousa Junior ²

¹ Universidade Federal da Paraíba - UFPB
Departamento de Mineração e Geologia- DMG
Campus II, Bloco CN, Caixa Postal 10.009 – 58109-970 Campina Grande PB
antonio@dmg.ufpb.br & tumkur@openline.com.br

² INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
DSR – Divisão de Sensoriamento Remoto
Caixa Postal 515 - 12227-010, São José dos Campos - SP
manoel@dpi.inpe.br

ABSTRACT

The Seridó schist belt is a complex Precambrian terrain composed of meta-sedimentary and meta-igneous rocks, which have gone through a series of deformations resulting in the presence of fractures and lineaments of different ages. Photogeological techniques were used to analyze Landsat-5/TM images of the region, which resulted in the identification of the lineaments and fractures of the regional extent, short en echelon lineaments, intricate ramification of the wrench systems and infrastructures among major lineaments and circular or ring structures. Variographic analysis of the fracture system was undertaken to investigate the presence of continuity, correlation and range of influence.

A total of 1174 fractures were localized with geographic coordinates for variographic analysis. The variogram of these fractures showed the presence of a mixture of three structures coming from fracture sets of three distinct azimuths. The fractures were grouped in to three classes based on strike directions and they are 80° - 120° , 120° - 160° and 160° - 200° . The individual variogram models of each class resulted in reasonably good structures with varying range values and nugget effect. The fractures of 160° - 200° azimuths are more homogeneous and uniform with minimum random variance and with relatively high range of influence. On the other hand the fractures of 80° - 120° have minimum range of influence and has higher random variance. The variograms of the fracture classes show influence of lithology, fracture regimes and fracture types.

Keywords: Geostatistics, fracture, remote sensing

INTRODUÇÃO

A área de pesquisa fica situada no Estado de Paraíba, compreende uma área de aproximadamente 2.575 km², delimitada pelas coordenadas 36°42' a 37°08' de longitude oeste e 06°47' a 07°10' de latitude sul (**Fig. 1**), inclui os distritos municipais de Junco de Seridó, Salgadinho, Santa Luzia, São José de Sabugi, São Mamede e Prado, pertencendo a Microrregião de Seridó ocidental paraibano e o distrito municipal de Passagem, que pertence a Micro Região de Patos. O acesso a esta região, a partir da cidade de Campina Grande-PB, é realizado através da BR 230 até a cidade de Santa Luzia-PB, num percurso de aproximadamente 120 km, cortando a área de estudo de leste a oeste.

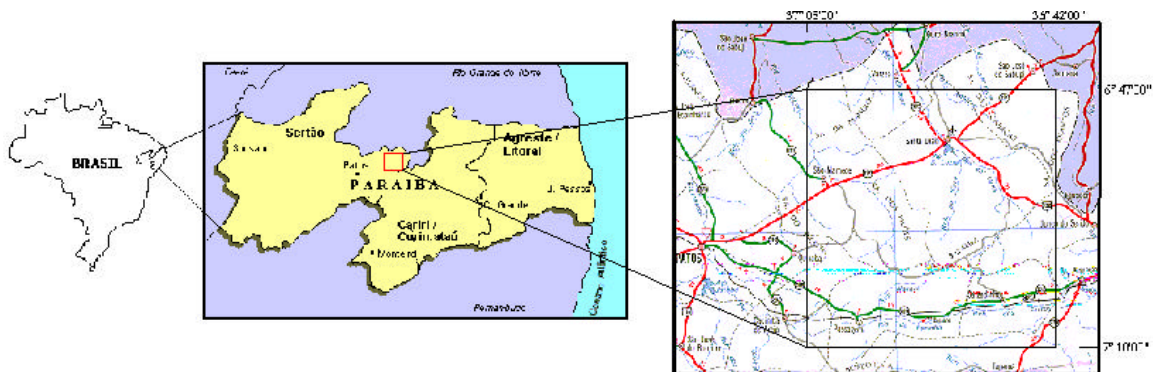


Figura 1 – Mapa de localização e principais vias de acesso à região de Santa Luzia – PB

GEOLOGIA

A geologia da região denominada de Província Borborema ocupa uma área da ordem de 380.000 km² e coincide com a Região de Dobramento Nordeste. Os terrenos da Província da Borborema afetados pela Orogênese brasileira. A Província da Borborema é constituída de diversas faixas de supracrustais, dispersas através de um terreno gnássico-migmatítico, com variáveis “trend” estruturais relacionadas a grande zona de cisalhamento E-W de Patos e Pernambuco.

A área em apreço está contida no Domínio Transnordestino formado por rochas metamórficas e graníticas de alto grau, que apresentam estruturas lineares predominantemente. Os lineamentos de Patos e Pernambuco estão na região deste Domínio. Os núcleos formados no arqueano e no pré-cambriano indiviso são encontrados neste Domínio, e estão localizados ao longo de estruturas anticlinais e ovais, que expõem o embasamento formado pelo Grupo Caicó. O Domínio Seridó na porção Nordeste do Domínio Transnordestino e é constituídos pelas Formações Equador/Jucurutu/Seridó e Cachoeirinha, e a Província Pegmatítica. A faixa metamórfica onde ocorrem estas formações esteve ativa do Proterozóico Inferior ao Superior. Jardim de Sá (2000) apresenta uma cronologia dos principais episódios de fraturamentos que atingiram a Faixa Seridó e eles são: deformação tardi-brasiliana, deformação Juro-Cretacea e Eo-Terciária, deformação Neoterciária-Pleistocênica e deformação Holocênica.

A Província Geológica da Borborema tem uma importância considerável, por abrigar duas Províncias minerais do Nordeste: A Província Scheelitífera do Seridó (Dantas & Caúla, 1982) e a Província Pegmatítica. A Província Scheelitífera da Borborema-Seridó abrange as rochas supracrustais, onde é encontrada biotita-xistos-granadíferos, biotita-muscovita-xistos, xistos filitosos, clorita-sericita-xistos, quartzitos, gnaisses e calcários mapeados como Grupo Seridó (Formações Seridó e Equador) com intrusões pegmatíticas, especialmente na sua porção leste. Na porção Centro-Norte, ocorre gnaiss intercalado com lentes de calcário cristalino ou em associação com tácticos scheelitíferos (Formação Jucurutu), originando assim, inúmeros depósitos minerais.

MATERIAS E MÉTODO

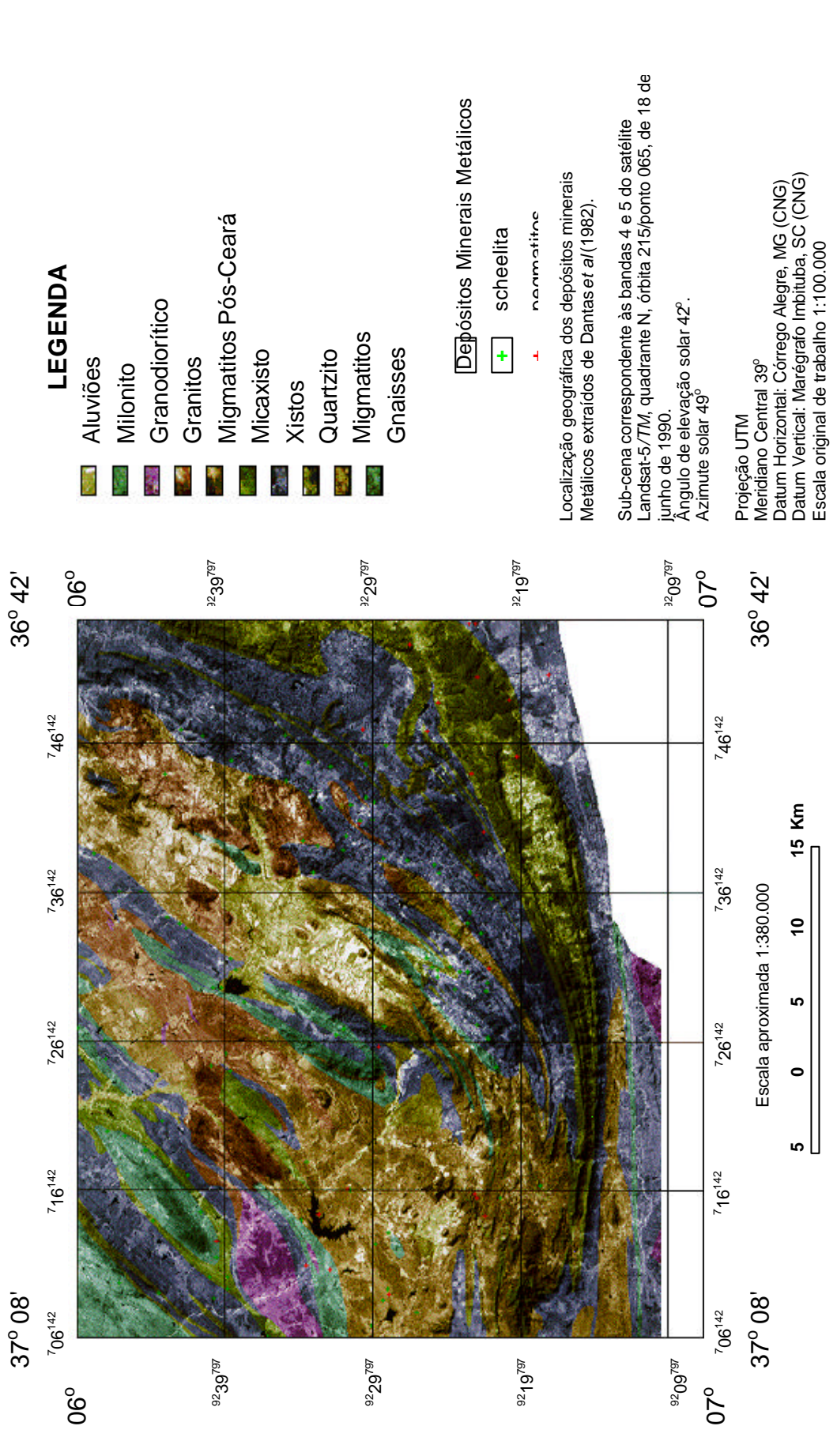
Foram utilizados para desenvolvimento desta pesquisa produtos orbitais, imagem de radar, material cartográfico, mapas topográficos e materiais suplementares.

A metodologia adotada nesta pesquisa baseou-se na extração das feições lineares do mapa de integração de dados (**Fig. 2**), na escala 1:100.000, resultante da interpretação visual, da imagem Landsat-5/TM, após serem tratadas pelo computador, quando foram aplicadas técnicas de realce, filtragem, transformações por componentes principais e transformações de IHS – I (intensidade), H (matiz) e S (saturação). O tratamento digital foi realizado no SPRING, versão 2.0.4 (Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas) e ENVI, versão 2.6 (Sistema para Processamento de Imagem). (Sousa Junior 1998).

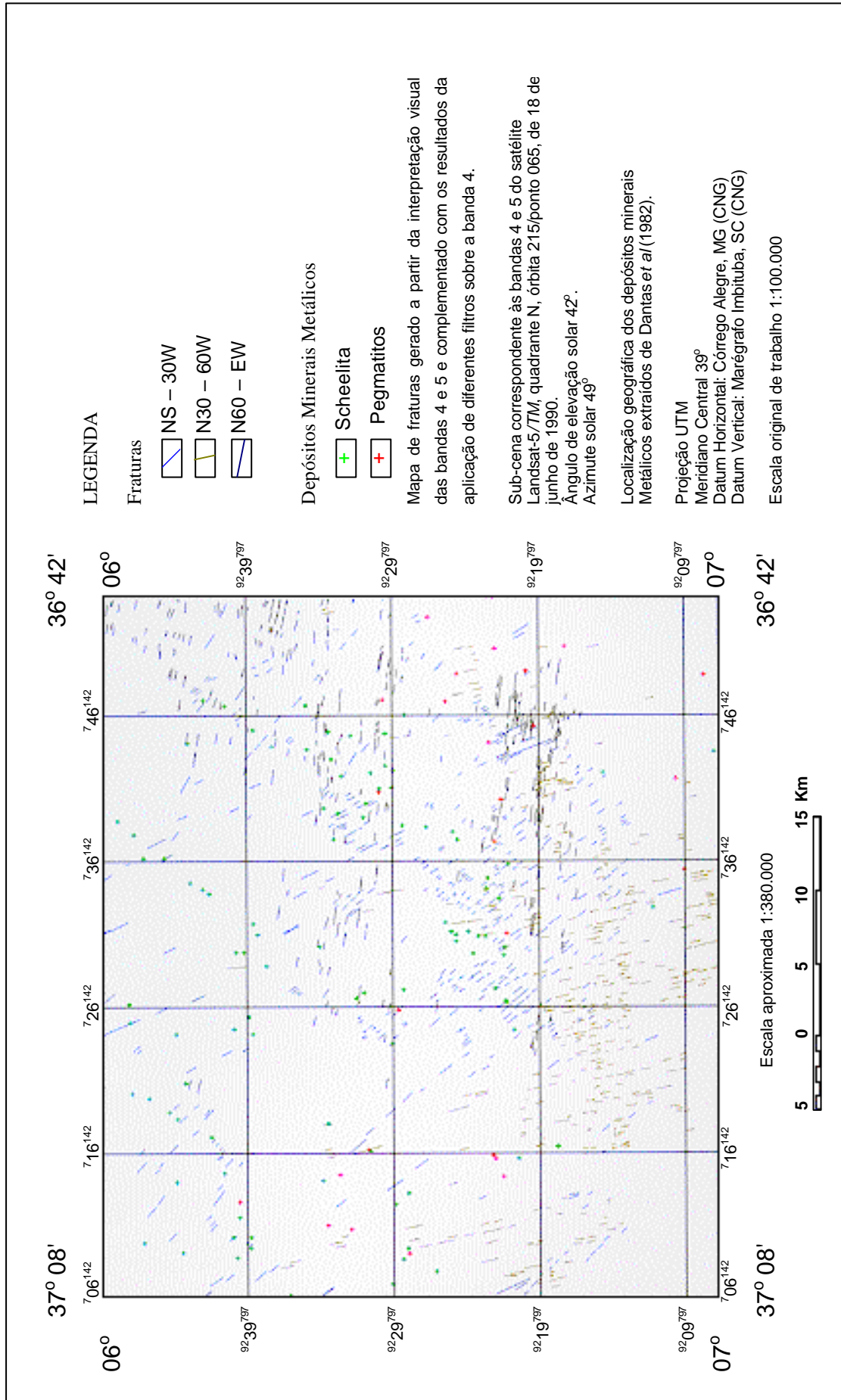
O sistema operacional aplicado para o tratamento geoestatístico foi o programa GEO-EAS criado por E. Englund e A Sparks para U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Foi extraído um total de 1174 traços de fraturas da região em estudo, para tratamento geoestatístico. A pesquisa enfatiza os seguintes aspectos: levantamento das informações sobre o tema; aquisição dos dados de feições geológicas lineares com coordenadas geográficas e azimute; preparação de planilhas com os dados de coordenadas geográficas e direção de cada observação; extração dos parâmetros estatísticos básicos para caracterizar a natureza da distribuição das amostras; elaboração de variogramas experimentais; modelagem do variogramas teóricos sobre os experimentais; validação dos dados obtidos e interpretação dos resultados.

ANÁLISE DE FRATURAS

A extração dos traços lineares de fraturas foi obtida a partir do mapa de fraturas, na escala 1:100.000 (**Fig. 3**). Foram extraídos do referido mapa 1.174 traços de juntas que permitem identificar um caráter rúptil das estruturas, sendo estas feições posteriores aos lineamentos, que apresentam um caráter dúctil. Essas feições estão expostas em 4 (quatro) concentrações principais: N-S/N30° W, N30°–60° W, N70°/E-W e N-S/N30°E (**Fig. 4**).



Fonte: Junior (1998).
Figura 2 – Integração de dados Landsat-5/TM unidades litológicas e depósitos minerais metálicos



Fonte: Junior (1998).
Figura 3 Mapa de fraturas com os depósitos minerais metálicos.

As fraturas com direção preferenciais N-S/N30°E coincidem com a mesma direção dos lineamentos e são fraturas de tensão do tipo X (inversa de alto ângulo). Na **Figura 5**, observa-se um esforço distensivo na direção E-W, ocasionando fraturas de cisalhamento, com movimento dextrógiro (Sistema principal), que são representadas pelo eixo YY'.

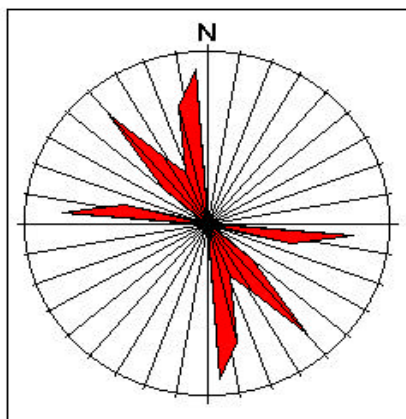
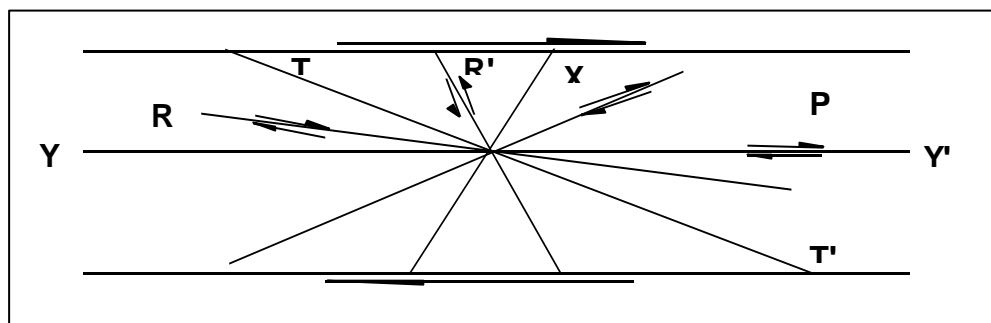


Figura 4 – Diagrama de roseta das fraturas da região de Santa Luzia – PB.

Esta zona de cisalhamento amplamente distribuída na área pode ter influenciado, as estruturas da região, formando pequenas falhas paralelas ou sub-paralelas ao eixo TT', sendo estes de esforço ou tensão, e pequenas falhas no "trend" N30°–60°W, com movimento sinistral, podem ser rupturas tencionais incluindo fraturas de extensão e falhas normais e aquelas nos "trends" N-S/N30° W e N60°/E-W podem ser um par conjugado da zona de fratura de Riedel do tipo R¹ T e R, respectivamente.



Fonte: Júnior (1998).

Figura 5 – Diagrama demonstrativo das discontinuidades da orientação das estruturas que se desenvolvem em zonas de cisalhamento transcorrente, com movimento dextrógiro.

Litologicamente a região apresenta uma deformação rúptil, que podem ser associadas às fraturas de Riedel, onde são encontradas as ocorrências minerais. As unidades litológicas estão representadas nas **Fig. 2** mostra diretamente concordante com as principais estrutura presente da região em apreço, e a distribuição das feições lineares está caracterizada pelos contatos litológicos.

Segundo análise dos padrões estruturais na região observa-se, que os depósitos minerais estão ligados as estruturas e, que a maioria das mineralizações (pegmatíticas) localiza-se dentro de zonas milonitizadas e ocorre preenchendo fraturas de alívio ou extensão.

VARIOGRAFIA DO GRUPO DE FRATURA

Na análise estatística de 1.174 dados de fraturas pesquisadas, constatou-se que a média dos azimutes é de 139,07 com variância de 855,97 (**Tabela 1**). O coeficiente de variação de 21,04 relativamente baixo, indicando uma variação mínima nos azimutes de fraturas. O histograma de

freqüência simples apresenta várias modas (multimodal), devido ao agrupamento natural dos azimutes (**Fig. 6**).

Tabela 1 – Descrições estatísticas do grupo de fratura.dat

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	VALORES
Número de observações	1174
Média dos azimutes (graus)	139,07
Variância (S^2x)	855,97
Desvio padrão (Sx)	29,26
Coef. de variação (%)	21,04
Coef. do mov. de assimetria (Skewness)	0,38
Coef. de kurtosis (curtose)	1,75
Azimute mínimo (graus)	85
Mediana dos azimutes (graus)	142
Azimute máximo (graus)	180

Foram considerado um total de 1.000 valores na análise variográfica, porque este número de valores é bastante representativo para análise. O modelo experimental foi elaborado, variando as direções com tolerância de 90° e o incremento de 2,5 km. Neste variograma experimental, obteve-se uma estrutura variográfica com um comportamento mais uniforme, apresentando um fenômeno regionalizado isotrópico, isto é, foi calculado em diversas direções distintas apresentando o mesmo variograma, cujos resultados atingiram um maior número de pares, com distância máxima de 49,7 km, portanto, mais representativo no campo geométrico. Logo após a definição do modelo foi ajustado o modelo teórico sobre o variograma experimental e se definiu os novos parâmetros que definiram melhor o modelo esférico, efeito pepita (C_0) de 200, patamar ($C_0 + C$) de 500 e o alcance (a) de 25 km (**Fig. 7**). Segundo Royle o efeito pepita relativo $\epsilon = C_0 / C$ é de 0,4, que expressa uma componente aleatória bastante importante. Segundo Journel, analisando a razão $K = C_0 / (C_0 + C)$ é de 0,3, isto sugere que cerca de 30% da variação dos azimutes é aleatória imprevisível.

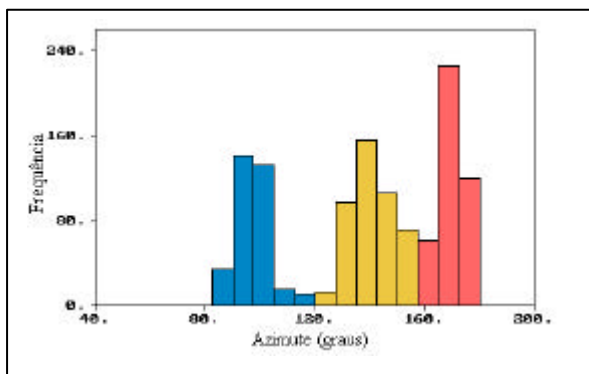


Figura 6 – Histograma de freqüência simples dos azimutes do grupo de fratura.dat. (85° – 180° Az).

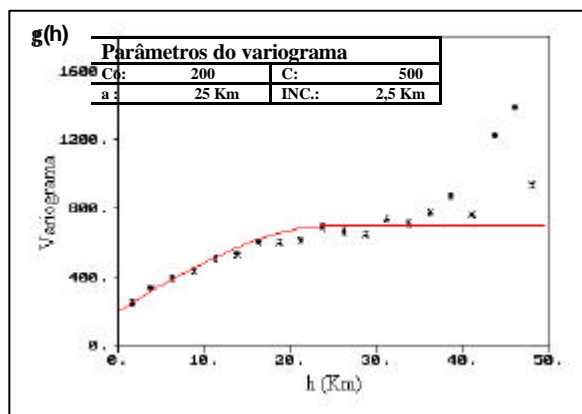


Figura 7 – Variograma teórico dos azimutes do grupo de fratura.dat (85° - 180° Az).

Observando os valores da validação cruzada, concluir-se que através da diferença entre os valores das médias observadas e estimadas, constatou-se que o erro é muito pequeno, portanto, a média do erro entre fraturas apresenta valores próximos a zero. Logo o estimador apresenta uma boa margem de confiabilidade e isso pode ser verificado pela distribuição desses valores. A variância de estimativa, isto é, a variância do erro que se comete ao extrapolar o valor da amostra foi de 334.08 menor do que da variância observada de 855,97.

CONCLUSÕES

Os variogramas demonstram a existência de correlação espacial e continuidade entre essas estruturas geológicas na região. Apresenta uma cronologia dos principais episódios de fraturamento que atingiram a faixa seridó com vários tipos de deformação. As estruturas observadas são resultados de diversos eventos tectônicos iniciados no proterozóico e com a sua culminação no mesozóico. Sendo assim as litologias da região registraram esses eventos em diversos graus de autenticidades. A presença de variância aleatória nas análises de fraturas é causada pelo desenvolvimento das estruturas geológicas em várias etapas. Os resultados obtidos na validação dos azimutes krigados indicam maiores concentrações de altos valores de azimutes, não havendo muita dispersão dos azimutes observados e estimados, ficando estes próximos da média amostral. Efeito de pepita no variograma que reflete a variância aleatória nos azimutes das feições lineares é relativamente alto. Este fato pode ser atribuído as variações nos azimutes causados por diversos eventos tectônicos e o comportamento das litologias as deformações ocorridas na região. Nota-se de que a variância espacial entre as fraturas tende a ser maior do que aleatória demonstrando que a origem dessas feições está ligada a um principal evento tectônico embora elas sofreram reativação e pequenas alterações nos outros episódios. Os azimutes krigados revelaram que as estruturas variográficas estão diretamente ligadas às fraturas mineralizadas nos “trends” NW-SE e E-W.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ENGLUND, E. & SPARKS, A. **GEO-EAS**. Geostatistical Environmental Assessment Software. U.S. Environmental Protency Agency, Las Vegas, 1988. (EPA/600/4-88/033a).
- COSTA FILHO, ANTONIO **Análise geoestatística das fraturas e lineamentos e suas implicações nas ocorrências de depósitos minerais na região de Santa Luzia – PB**. Campina Grande-PB. Julho de 2000, 164p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) CCT/UFPB.
- JARDIM de SÁ, E. F. **Fraturamento no embasamento cristalino do Nordeste do Brasil: Cronologia da deformação frágil, reativação neotectônica e implicações hidrogeológicas**. I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas, 31/07 – 04/08/2000, Fortaleza, Ceará, Trabalho completo, 13 p, CD-ROM do Evento.
- SOUSA JÚNIOR, M.A.S. **Sensoriamento Remoto Aplicado no Estudo de Estruturas Geológicas com Ocorrências de Depósitos Minerais na Porção Centro-Norte do Estado da Paraíba**. São José dos Campos, SP. Maio de 1998, 100p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.