

A GEOLOGIA ESTRUTURAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO VISTA ATRAVÉS DE IMAGENS MSS DO LANDSAT

Chan Chiang Liu

Instituto de Pesquisas Espaciais
Ministério da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

Os lineamentos são a principal ou às vezes a única feição estrutural no contexto regional abrangido pelas imagens fornecidas pelo sensoriamento remoto orbital. Por isto a classificação de numerosa quantidade de lineamentos exibidos pelas imagens torna-se um procedimento preponderante para o estudo dos mesmos. Isto advém a necessidade do desenvolvimento e aplicação de uma criteriosa metodologia de trabalho, motivação maior do presente estudo. A metodologia aplicada ao estudo dos lineamentos no Estado do Rio de Janeiro pode ser sumarizada num procedimento sequencial: identificação, extração, comparação e correlação. Com este procedimento os lineamentos são classificados em sistemas e subsistemas a partir dos quais um esboço de evolução estrutural da área pode ser tentativamente inferido e serão usados futuramente para comparar com dados estruturais de detalhes a serem obtidos.

ABSTRACT

Lineaments are the main or sometimes the unique structural feature in the context of regional dimension provided by orbital remote sensing, and the classification of these numerous lineaments becomes a weighty procedure in lineament study. Therefore to develop a sound methodology for classifying the lineaments is necessary and is the main goal of this paper. The methodology applied to lineament study in the State of Rio de Janeiro can be summarized into a sequential procedure: identification, extration, comparison and correlation. From this procedure, lineaments are classified into systems and subsystems from which a sketch of the structural and tectonic evolution of the area can be tentatively inferred and will be used to confront with detailed structural data in the future.

1. INTRODUÇÃO

O primeiro contato visual com as imagens LANDSAT dos terrenos Pré-cambrianos do Estado do Rio de Janeiro mostra a existência de uma enorme quantidade de feições lineares fortemente expressas na topografia. Atualmente, a tecnologia instrumental de sensores remotos possibilita, com grande facilidade, a obtenção de imagens a partir de satélites, as quais recobrem extensas áreas e permitem observações de feições lineares de âmbito regional, muito valiosas ao conhecimento geológico, podendo de constituir numa ferramenta muito útil para a investigação estrutural.

Nos terrenos cristalinos do Estado do Rio de Janeiro, milhares de lineamentos foram identificados, compondo um mapa no qual se observa a distribuição de conjuntos de lineamentos de diferentes tamanhos e em diferentes direções. Em todos os casos, lineamentos com relação às estruturas geológicas e seu significado tectônico não foi evidente e a interpretação do mapa foi tarefa muito complexa. Assim, para conveniência da interpretação geológica de tão grande número de lineamentos, foi necessário classificá-los e analisá-los por métodos práticos. Por esse motivo, o principal objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de uma metodologia

prática de pesquisa voltada para os processos de identificação, extração, análise e classificação de lineamentos em imagens de satélite.

As imagens MSS-LANDSAT na escala 1:500.000 foram empregadas na identificação, extração, classificação, análise e interpretação dos lineamentos e construção de mosaico de imagens para confecção de um mapa de lineamentos. A cobertura de todo o Estado do Rio de Janeiro foi feita com quatro cenas do MSS-LANDSAT (Fig. 1).

2. IDENTIFICAÇÃO E EXTRAÇÃO DE LINEAMENTOS

Para o reconhecimento e extração de lineamentos, os critérios são as expressões dos elementos topográficos retilíneos do relevo, tais como: linhas ou segmentos de escarpas, alinhamentos de cristas, vales, trechos de rios e lagos, linhas de costa alongadas, depressões alongadas (dolinas) etc. Outros lineamentos são identificados através de feições lineares que se param terrenos com diferentes texturas e feições tonais lineares (causadas por alinhamentos de vegetação ou por linhas que mostram diferenças na umidade do solo).

Esses elementos são quase sempre controlados estruturalmente. Fraturas ou zonas de fratura (incluindo falhas, zonas de falhas, zonas de cisalhamento e juntas) na crosta terrestre afe-

tam de várias formas a topografia ou as feições do terreno. Há exemplos em que falhas podem produzir escarpamento em rochas de um mesmo tipo, por deslocamento vertical de blocos, ou colocar num mesmo nível, por deslocamento horizontal, rochas diferentes que sofrem erosão diferencial e conseqüente formação de escarpas ao longo do falhamento. As fraturas ou zonas de fraturas controlam a distribuição linear da vegetação e do fluxo de água subterrânea; nas rochas homogêneas são comuns zonas de fraca resistência à erosão e ao intemperismo (fraturas ou falhas), as quais tendem a formar feições rebaixadas e lineares.

O comprimento dos lineamentos deve ser objetivamente determinado. Por exemplo, uma seqüência de feições lineares, com a mesma direção mas não claramente contínua ou mesmo interrompida por outras feições lineares de direção diferente, deve ser representada por uma seqüência de lineamentos cujos comprimentos são compatíveis com o comprimento de cada feição linear que representam e não por um lineamento único que englobe todos os segmentos observados, fato comum nos mapas geológicos regionais. A razão deste procedimento é que, desta forma, a dedução sobre o significado geológico de tais lineamentos, na etapa seguinte à da interpretação, é mais correta e confiável.

3. CONSTRUÇÃO DO MAPA DE LINEAMENTOS

O mapa de lineamento (Figura 2) baseia-se num mosaico de quatro imagens do canal 6 do MSS-LANDSAT, em papel fotográfico positivo na escala 1:500.000 (Figura 1). O fotomapeamento foi efetuado conforme a seqüência de procedimentos descrita a seguir. Numa primeira etapa, cada imagem foi superficialmente examinada de modo a obter uma visão geral dos aspectos geológicos e geomorfológicos mais evidentes na área imageada e poder formar um esquema de trabalho para o mapeamento dos lineamentos. A segunda etapa consistiu no exame de cada imagem, com auxílio de lupa. Cada imagem foi examinada sob luz fluorescente com o foco dirigido, de modo a fornecer iluminação com intensidade e direção constantes. Ela não foi fixada à mesa, para facilitar sua rotação e inclinação. As observações foram efetuadas em vários ângulos, primeiro verticalmente e depois sob diferentes ângulos de inclinação. As imagens foram rotacionadas para várias posições, principalmente para a posição em que as sombras observadas na imagem ficavam voltadas para o lado do observador, o que fornece uma impressão de estereoscopia. Quando as sombras são colocadas em posição contrária a esta, há uma impressão de inversão do relevo. Os lineamentos observados foram traçados diretamente sobre a imagem, com lápis dermatológico.

A terceira etapa do trabalho foi a compilação do mosaico e o exame dos lineamentos em âmbito regional. Neste mosaico foram observadas algumas irregularidades: 1) nem sempre ocorria coincidência, na área de recobrimento, entre os lineamentos extraídos de duas imagens adjacentes, e 2) havia casos em que os lineamentos ma-

peados terminavam nas bordas das imagens, sem se estenderem à imagem ao lado, em virtude de eventuais mudanças de contrastes entre elas, mesmo nos casos em que foram selecionadas passagens da mesma estação, mesma banda e com igual ângulo de iluminação solar. Estas discrepâncias são devidas à própria geometria de imageamento e ao processamento fotográfico no laboratório. Deste modo, os lineamentos que não coincidem ou que terminavam abruptamente nos limites da imagem, tiveram de ser reexaminados e cuidadosamente completados e ajustados.

Após serem examinados várias vezes, os lineamentos foram representados numa base cartográfica que abrangia toda a região.

4. CLASSIFICAÇÃO DE LINEAMENTOS

Nas classificações adotadas na literatura, foram utilizados índices como: origem, tipo de expressão e tamanho dos lineamentos. Classificações com base nestes índices não são apenas tendenciosas e pouco práticas, mas também de difícil aceitação, pois cada intérprete tem sua própria opinião a respeito desses parâmetros, mesmo quando interpretam uma mesma imagem. Felizmente, na extração de lineamentos a partir de imagens, cada intérprete identifica o mesmo "trend" ou direção de lineamentos que não muda com a escala ou com o observador, sendo por isto um índice muito objetivo para classificação.

Usando a direção ou "trend" como um índice, a classificação torna-se simples, prática e aceitável, embora ainda permanecem algumas deficiências como, por exemplo, para classificar lineamentos curvos. Alguns autores dividem os lineamentos curvos em dois ou mais segmentos, sendo cada segmento em diferente intervalo de direção nos diagramas ou histogramas. De maneira a evitar esta divisão arbitrária e uma conseqüente deficiência de classificação baseada tão somente na direção, passou-se, no presente trabalho, a considerar seis outros fatores adicionais: a) padrões de distribuição; b) comprimentos comparativos; c) relações mútuas de intersecção; d) grau de expressão; e) espaçamento entre lineamentos paralelos ou subparalelos e f) tendência ao agrupamento. Pela combinação destas características, os lineamentos contidos na Figura 2 podem ser classificados em três sistemas e cinco subsistemas. O conjunto de lineamentos longos e paralelos entre si, com pequeno espaçamento e concentrados ao longo do curso do rio Paraíba do Sul, mas divergindo deste na porção norte e sudoeste do Estado, pode ser considerado como um sistema. Os lineamentos longos, sem orientação preferencial, retilíneos ou curvos, que coexistem com feições circulares e concentradas apenas ao longo da Serra do Mar, podem ser classificados como um segundo sistema. O terceiro sistema é formado pelos lineamentos curtos e de direções variadas, não muito nítidos nas imagens, mas distribuídos homoganeamente por toda a área de estudo; este sistema pode ser dividido em cinco subsistemas, levando em conta o direcionamento de seus lineamentos.

De acordo com os conceitos acima mencionados, a classificação foi executada em duas etapas. Na primeira etapa foram compilados, a partir do mapa de lineamentos, todos aqueles de pequeno tamanho. Devido ao seu número, à diversidade na orientação e à ampla distribuição que tem na área, este conjunto de lineamentos confunde o padrão dos lineamentos principais (mais longos) e deve ser separado deles para que as direções mais regionais fiquem evidentes. A transcrição destes lineamentos, copiados em cores diferentes que representam os cinco subsistemas, agrupou lineamentos de mesmo "trend" com variações de no máximo $\pm 5^\circ$. Após completar a transcrição de todos os lineamentos deste sistema, os outros dois sistemas de lineamentos mais longos e comparativamente mais nítidos, foram também representados no mesmo "overlay" em cores também diferentes e com traços mais fortes. Esta representação dos lineamentos em diferentes cores para um mesmo "overlay" apresenta grande facilidade para verificar se todos os lineamentos foram ou não classificados e representados no mapa de lineamentos (Figura 2). Esta separação é muito adequada para facilitar a interpretação e análise geológica. Assim, num segundo estágio, os lineamentos de cada sistema e de cada subsistema foram transferidos para "overlays" individuais, compondo vários mapas.

Deste modo, cada sistema e subsistema está representado em um mapa próprio, que permite a observação isolada de seu padrão, sua distribuição espacial e geográfica, sua direção e seus relacionamentos em sistema e/ou subsistema, oferecendo assim maior facilidade para a análise quantitativa e qualitativa.

5. LINEAMENTOS DO SISTEMA "A"

A principal faixa de lineamentos do Sistema "A" (Figura 3) é concordante com o "Lineamento de Além Paraíba", interpretado como uma falha direcional de rejeito dextral por Almeida et alii (1975) e estudado em detalhes por Campanha (1980, 1981) na região de Três Rios. As faixas subordinadas "A₁", "A₂" e "A₃" são parcialmente concordantes com as zonas cataclásticas mapeadas por Brenner et alii (1980) no nordeste do Estado do Rio de Janeiro.

O mapa dos lineamentos do Sistema "A" (Figura 3) mostra claramente que a principal faixa de lineamentos segue constantemente a direção N60°E e todas as faixas subordinadas têm direção N30°E e sofrem vergadura nas proximidades do encontro com a faixa principal. Esta vergadura tem concavidade voltada para oeste no bloco nordeste e para leste no bloco sudoeste. Estas relações mútuas permitem considerar que:

- O movimento relativo na faixa principal de lineamentos, ou seja, na principal zona de transcorrência, deve ter sido de caráter dextral.
- As faixas subordinadas podem ser relacionadas à preexistência da principal zona de transcorrência e são dependentes delas. Isto é, as zonas de transcorrência subordinadas podem ocorrer quando a zona principal continua

ou é reativa.

- Todas as zonas de transcorrência subordinadas podem ser também dextrais.

Seguindo este raciocínio, a mecânica deste sistema de lineamento pode ser concebida conforme mostra a Figura 4, baseada na interpretação tectônica proposta por McKinstry (em Badgley, 1965) para o distrito de Yellowknife (Canadá). O ângulo entre a suposta força compressiva e a zona principal de cisalhamento é da ordem de 30°; assim, o esforço regional de primeira ordem deve ter direção E-W conforme mostrado pela grande seta P₁ com direção E-W. Segundo o conceito de Billings (1954, 1972), é lógico supor que antes da formação da zona de transcorrência, o embasamento foi submetido ao esforço P₁ e passou pelo estágio de deformação plástica, no qual se formou a foliação regional, ... mostrada nos mapas geológicos obtida no campo pelo autor, e representada pelos lineamentos em torno da direção N60°E, de pequena expressão nas imagens e espalhadas por toda a região estudada, paralela ao plano de cisalhamento (N60°E). Com o aumento progressivo de P₁, o embasamento sofreu a grande deformação ductil, representada pela zona de transcorrência dextral de primeira ordem, o "Lineamento de Além Paraíba".

Com base no conceito de reorientação do esforço nos blocos adjacentes (Moody e Hill, 1956, 1964, 1966, 1973; Badgley, 1965), o esforço regional de segunda ordem P₂ pode ter tido direção N60°E, em concordância com as zonas transcorrentes dextrais de segunda ordem, representadas pelas faixas de lineamentos "A₁", "A₂", ..., "A₃" (Figura 4) e tem direção comum N30°E. Devido à suposição de que, neste caso, o esforço regional de segunda ordem P₂ é paralelo à zona de transcorrência dextral de primeira ordem, pode-se considerar que ele não apenas gera as zonas de transcorrência de segunda ordem, mas também promove a movimentação ao longo da zona de transcorrência de primeira ordem, assim, a estreita faixa blastomilonítica, com 3km de largura, inserida na zona principal de deformação definida por Campanha (1980) pode ser atribuída à ação do esforço P₂. Estas considerações são justificadas pela vergadura que as faixas de lineamentos de segunda ordem sofrem nas proximidades da faixa de primeira ordem. Em outras palavras, simultaneamente à formação das faixas de segunda ordem, a zona central da transcorrência principal foi reativada e se movimentou sob a ação do esforço de segunda ordem, gerando o arrasto observado nas faixas secundárias de lineamentos.

6. LINEAMENTOS DO SISTEMA "B"

Em síntese são atribuídos a este sistema os lineamentos com as seguintes características comuns:

- são curtos e fracamente expressos sob a forma de pequenos segmentos de vales;
- não se concentram em faixas, mas distribuem-se de forma mais ou menos homogênea por todo o Estado do Rio de Janeiro;

- atravessam os lineamentos do Sistema "A" e não têm suas direções afetadas por eles.

De acordo com seus "trend" eles podem ser agrupadas em cinco subsistemas conforme é mostrado na Tabela 1, na qual estão listadas características quantitativas de cada subsistema.

É visível na Tabela 1 que existem algumas similaridades entre os lineamentos dos subsistemas 1 e 2 (Figuras 5 e 6): 1) o número e o comprimento acumulado de lineamentos são semelhantes; 2) mesma distância média entre lineamentos, ou seja, igual densidade de distribuição e 3) distribuição igualmente uniforme. Assim, os lineamentos destes dois subsistemas podem ser considerados como um par conjugado de fraturas de cisalhamento. Os lineamentos dos subsistemas 3 e 5 também possuem algumas similaridades, tais como sua distribuição espacial (Figuras 6 e 7) e todas as características numéricas listadas na Tabela I. Assim, os lineamentos destes dois subsistemas podem também ser considerados como outro par conjugado de fraturas de cisalhamento.

Com base nas teorias sobre fraturas de cisalhamento (Hills, 1963; Badgley, 1965; Billings, 1954 and 1972; Dennis, 1972), podem ser feitas algumas inferências como a suposição de que o par conjugado, representado pelos subsistemas 1 e 2 que formam um ângulo de conjugação igual a 50° , deve ter sido gerado por um esforço compressional com direção $N57^\circ W-S57^\circ E$ (ou simplesmente NW-SE) sob condições de pressão confiante e temperaturas baixas, ou seja, em ambiente de pouca profundidade. O outro par conjugado, representado pelos sistemas 3 e 5, que formam um ângulo de 80° , teria sido causado por uma compressão com direção $N30^\circ E-S30^\circ W$ sob condições de pressão e temperatura elevadas, isto é, em níveis estruturais mais profundos.

De acordo com a teoria de Wegmann sobre a superposição de estruturas formadas em níveis tectônicos (Dennis, 1972), os lineamentos dos subsistemas 3 e 5 podem ser consideradas como estruturas originadas em níveis tectônicos mais inferiores, que ascenderam por ação da denudação e às quais foram superimpostas os estilos de níveis mais elevados, representados pelos lineamentos conjugados dos subsistemas 1 e 2. Deve-se rever as características numéricas e o grau de expressão, nas imagens LANDSAT, dos lineamentos desses quatro subsistemas, conforme foi mostrado na Tabela 1. O número e o comprimento acumulado dos lineamentos dos subsistemas 1 e 2 são quase quatro vezes maior que os dos subsistemas 3 e 5. Isto significa que a densidade de distribuição dos primeiros também será quatro vezes maior que os últimos, enquanto o comprimento médio dos lineamentos dos subsistemas 3 e 5 é maior do que aqueles dos subsistemas 1 e 2 que manifestam-se com maior clareza nas imagens do que os dos subsistemas 3 e 5. A julgar por estas características, os lineamentos dos subsistemas 3 e 5 devem ser mais velhos que os dos subsistemas 1 e 2, porque lineamentos mais curtos e mais nítidos refletem não apenas estruturas de nível estrutural mais elevado, como também de episódios tectônicos mais jovens.

Os lineamentos mais curtos, representando estruturas mais jovens, sempre se distribuem com densidade mais alta, de forma que tendem a mascarar os lineamentos mais longos, representativos de estruturas mais velhas e de níveis estruturais mais profundos (Lathram and Albert, 1974).

Os lineamentos do subsistema 4 (Figura 9) têm direção em geral $N20^\circ E$, ou seja, são aproximadamente paralelos às faixas transcorrentes dos lineamentos de segunda ordem do sistema "A". Seu número e seu comprimento acumulado são os menores, mas os comprimentos individuais de seus lineamentos são os maiores entre todos os subsistemas do sistema "B". Assim, como ocorre com os outros subsistemas, os lineamentos do subsistema 4 distribuem-se por todo o Estado do Rio de Janeiro e cortam os lineamentos de primeira ordem e a parte encurvada dos de segunda ordem do sistema "A". Entretanto, são seccionados pelos lineamentos dos outros quatro subsistemas. Partindo destes parâmetros os lineamentos do subsistema 4 podem ser inferidos como: 1) mais velhos que os lineamentos dos outros subsistemas do sistema "B" e mais jovens que os lineamentos do sistema "A"; 2) fraturas de cisalhamento causadas por uma força direcional em torno de $N60^\circ E-S60^\circ W$ que coincide com a suposta direção do esforço regional de segunda ordem P_2 . A partir desta suposição, parece lógico que o movimento das faixas transcorrentes de segunda ordem pode ter causado um decréscimo no esforço regional de segunda ordem P_2 . Esse esforço deve ter diminuindo gradualmente até a cessação do movimento e a consolidação das zonas de falha. Assim, o embasamento submetido a esse esforço decrescente pode ter se deformado sob forma de numerosas fraturas menores de cisalhamento, amplamente distribuídas por toda a área de atuação da compressão. Da mesma forma, os lineamentos do subsistema 4 podem ser considerados como fraturas de cisalhamento, causados pela atividade tardia do esforço P_2 .

Recorrendo ao conceito da reorientação do esforço deve ser entendido que, por causa de formação das fraturas de cisalhamento sob o esforço de segunda ordem P_2 , em direção $N60^\circ E$, o esforço de terceira ordem pode ter sido reorientado na direção $N30^\circ E$, da mesma forma como ocorreu com o de segunda ordem em relação ao esforço de primeira ordem. Sendo assim, os lineamentos dos subsistemas 3 e 5 podem ser considerados fraturas de cisalhamento de terceira ordem, causadas pelo esforço de terceira ordem ($N30^\circ E$), coincidente com a direção estimada mecanicamente; devem também ser consideradas como produtos do estágio final da evolução do sistema de falhas transcorrentes na região em estudo. Os lineamentos dos subsistemas 1 e 2 foram considerados como outro par de fraturas de cisalhamento conjugadas, muito mais jovens e em um nível tectônico mais alto. Assim, o desenvolvimento destas feições lineares estruturais dos subsistemas podem não ter qualquer ligação com o desenvolvimento dos lineamentos antes mencionados e ser resultado de um evento tectônico tardio.

7. LINEAMENTOS DO SISTEMA "C"

A distribuição dos lineamentos do sistema "C" (Figura 10) é totalmente congruente com a extensão do Grupo Serra dos Órgãos que consiste de gnaisses graníticos, migmáticos e granitos de origem plutônica (Liu et alii, 1976). Formam proeminentes feições topográficas em elevações que superam os 2.000 m de altitude. Estas feições incluem cumes e cristas agudas e muito elevadas do tipo "pão-de-açúcar" e escarpamentos e vales profundamente entalhados com encostas muito inclinadas, e podem ser divididas em dois grupos, cada qual com suas próprias características fotogeológicas diagnósticas.

Um desses grupos compõe-se de lineamentos retilíneos ou suavemente curvos com as seguintes características diagnósticas: 1) As orientações principais situam-se em volta de $N20^{\circ}E$, $N70^{\circ}W$, $N60^{\circ}E$ e $N70^{\circ}E$; orientações secundárias estão ao redor de $N10^{\circ}W$ e $N30^{\circ}W$. Verifica-se assim que a maioria desses lineamentos são aproximadamente concordantes com os lineamentos do sistema "B" o que significa que são concordantes com o padrão regional de fraturamento; 2) São bem fortemente expressos na topografia que os outros sistemas; 3) As relações de intersecção destes lineamentos são bastante nítidas nas imagens. Outro grupo consiste em feições lineares anelares, as quais são truncadas e deslocadas pelos lineamentos retilíneos e forma um complexo de segmentos curvos com arranjo concêntrico. Desta forma, uma série de concentração de fragmentos de feições anelares estende-se por toda a área de distribuição do batólito "Serra dos Órgãos".

Tendo em vista a litologia do embasamento, a expressão topográfica, a distribuição espacial, as relações de intersecção mútua e a relação com o "trend" dos lineamentos regionais e em conexão com os conceitos sobre a tectônica dos plútons (Hills 1963, Badgley 1965, Dennis 1972), esses segmentos anelares podem ser considerados estruturas dômicas provocadas por diapirismo. Da mesma forma, os lineamentos retilíneos podem ser considerados fraturas de um sistema de tectônica de blocos causada por movimentação vertical. Muitas dessas fraturas concordam com o padrão das linhas estruturais mais antigas, conforme definido pelos lineamentos do sistema "B", de modo que esses lineamentos mais jovens podem estar relacionados à reativação dessas linhas preexistentes.

A Serra do Mar, no Estado do Rio de Janeiro, forma uma linha de crista em zig-zague, com direção geral nordeste. Os lineamentos distribuídos nesta região montanhosa têm direções diversas, mas os sistemas mais proeminentes situam-se em torno de $N80^{\circ}W$, $N30^{\circ}W$ e $N20^{\circ}E$, coincidentes com as direções dos subsistemas 1, 2 e 4 do sistema "B". A combinação dessas feições geomórficas e lineares sugere que a mecânica dos lineamentos dos subsistemas 1 e 2 provavelmente está relacionada ao episódio de formação da Serra do Mar, porque supõem-se que a compressão original que gerou o par conjugado de fraturas está na direção NW-SE, ou seja, perpendicular ao "trend" NE-SW da cadeia de montanhas. Com base nesta relação, pode-se imaginar que, numa dada época, a

parte superior da crosta, nesta região, esteve sujeita a uma força compressional de direção NW-SE, e no estágio final formou-se um par de fraturas conjugadas de cisalhamento, representado pelos lineamentos dos subsistemas 1 e 2. Sob os esforços de compressão horizontal e de soerguimento, foi formada uma série de montanhas por falhamentos de blocos ocorrido principalmente ao longo das fraturas preexistentes; dentre estes os de direções $N80^{\circ}W$, $N30^{\circ}W$ e $N20^{\circ}E$ foram reativados com maior intensidade. Assim, os lineamentos com essas direções são mais proeminentes que os demais.

8. FEIÇÕES CIRCULARES E SEMICIRCULARES

Há, na topografia, a presença de numerosas feições circulares e semicirculares com tamanhos variados, que se distribuem em toda a área do Estado. Algumas foram mapeadas como domos graníticos e intrusivas alcalinas, mas a maioria delas foi primeiramente fotomapeada durante este trabalho.

Essas feições anelares ou semi-anelares apresentam contornos que podem ser bem distintos ou um pouco vagos e têm sido revelados nas imagens LANDSAT como uma característica freqüente de terrenos cristalinos. O maior número destas feições estruturais localiza-se na região da Serra dos Órgãos. As formas perfeitamente circulares têm diâmetros de 1 a 9 km, algumas circundam altos topográficos e várias já foram mapeadas como corpos graníticos e intrusivas alcalinas. As formas semi-circulares compõem-se de segmentos concêntricos ou não, quebrados e deslocados por outros lineamentos, que atingem dezenas de quilômetros de diâmetro. Surgindo como feições menos realçadas na topografia elas parecem tratar-se de reflexos de antigas estruturas, talvez relacionadas a movimentos de massas plutônicas.

Nos termos gnáissicos do tipo Paraíba, a presença destas estruturas é menos evidente, o que torna difícil explicar sua origem. Em alguns embasamentos cristalinos muito antigos, elas já foram relacionadas a domos gnáissicos, e o exemplo mais recente foi apresentado por Riccomini (1982) na região do Quadrilátero Ferrífero.

9. CONCLUSÃO

Devido à grande cobertura as imagens LANDSAT oferecem a possibilidade de traçar os lineamentos e de observar suas relações mútuas através de longas distâncias e extensas áreas. A partir da classificação e análise dos lineamentos e da correlação entre eles, puderam ser inferidas várias feições estruturais, sua mecânica e sua seqüência de desenvolvimento tectônico. É lógico que uma pertinente interpretação tectônica para esta região de rochas cristalinas polimetamórficas e policíclicas, a partir de dados de sensoriamento remoto, necessita do conhecimento de estudos petrológicos e petrogenéticos, estudos estruturais detalhados em escalas diversas (tais como estudos micro estruturais e exames e medidas de afloramentos) e as pesquisas geocronológicas e de evolução do am-

biente tectônico que pelos próprios objetivos desta pesquisa estão além de suas possibilidades. Por tal fato, as implicações estruturais e tectônicas dos lineamentos são tentativas e somente pretendem dar uma sugestão do que eventualmente poderia resultar, em termos estruturais, de uma correlação entre os sistemas de lineamentos identificados nas imagens e os esforços tectônicos teoricamente inferidos.

10. BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R. Lineamentos de Além Paraíba. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 47(3/4):575, 1975.
- BADGLEY, P.C. Structural and tectonic principles. New York, Harper and Row, 1965, 521p.
- BILLINGS, M.P. STRUCTURAL GEOLOGY. 2. ed. New Jersey, Prentice-Hall, 1954, 514p.
- Structural Geology. 3. ed. New Jersey, Prentice-Hall, 1972, 606p.
- BRENNER, T.L.; FERRARI, A.L.; PENHA, H.M. Lineamentos estruturais no norte do Estado do Rio de Janeiro. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31., Balneário de Camboriú, 1980. Anais. Balneário de Camboriú, SBG.;1980,V.5, p.2551-2564.
- CAMPANHA, G.A. da C. O lineamento de Além Paraíba na área de Três Rios (RJ). Tese de Mestrado em Geologia, São Paulo, Instituto de Geociências, USP, 1980, 109p.
- O lineamento de Além Paraíba na área de Três Rios (RJ). Revista Brasileira de Geociências. 11(3):157-171, 1981.
- DENNIS, J.G. Structural geology. New York, Ronald Press, 1972, 532p.
- HILLS, E.S. Elements of structural geology. New York, John Wiley, 1963, 483p.
- LATHRAN, E.H.; ALBERT, N.R. Significance of space image linears in Alaska. In: International Conference of New Basement Tectonics. 1. Salt Lake City, UT, 1974. Proceedings. Salt Lake City, UT, Hodgson, R.A.; Parker Gay, Jr. S. eds., 1974, p.11-26 (UGA Publication nº 5).
- LIU, C.C.; MENESES, P.R.; MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; OLIVEIRA, A.D. de; Geologia do Estado do Rio de Janeiro baseada em imagens do LANDSAT-1. In: Congresso de Geologia, 29., Ouro Preto, 1976. Anais. Ouro Preto, SBG, 1976. V.4, p.313-326.
- LIU, C.C. Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: Aplicação ao Estado do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado em Geologia, São Paulo, Instituto de Geociências, USP, 1984. 157p.
- MOODY, J.D.; HILL, M.J. Wrench fault tectonics. Bulletin of The Geological Society of America, 67:1207-1246, 1956.

— Moody and Hill system of wrench fault tectonics-reply. Bulletin of The American Association of Petroleum Geologists, 48 (1): 112-122, 1964.

MOODY, J.D. Crustal shear patterns and orogenesis. Tectonophysics, 3(6):479-522, 1966.

— Petroleum exploration aspects of wrench fault tectonics. Bulletin of The American Association of Petroleum Geologist, 57(3) : 449-476, 1973.

RICCOMINI, C. Geologia regional do Quadrilátero Ferrífero (MG, Brasil), uma tentativa de síntese e novas idéias. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32., Salvador, 1982. Anais, Salvador, SBG, 1982. V. 1,p.199-213.

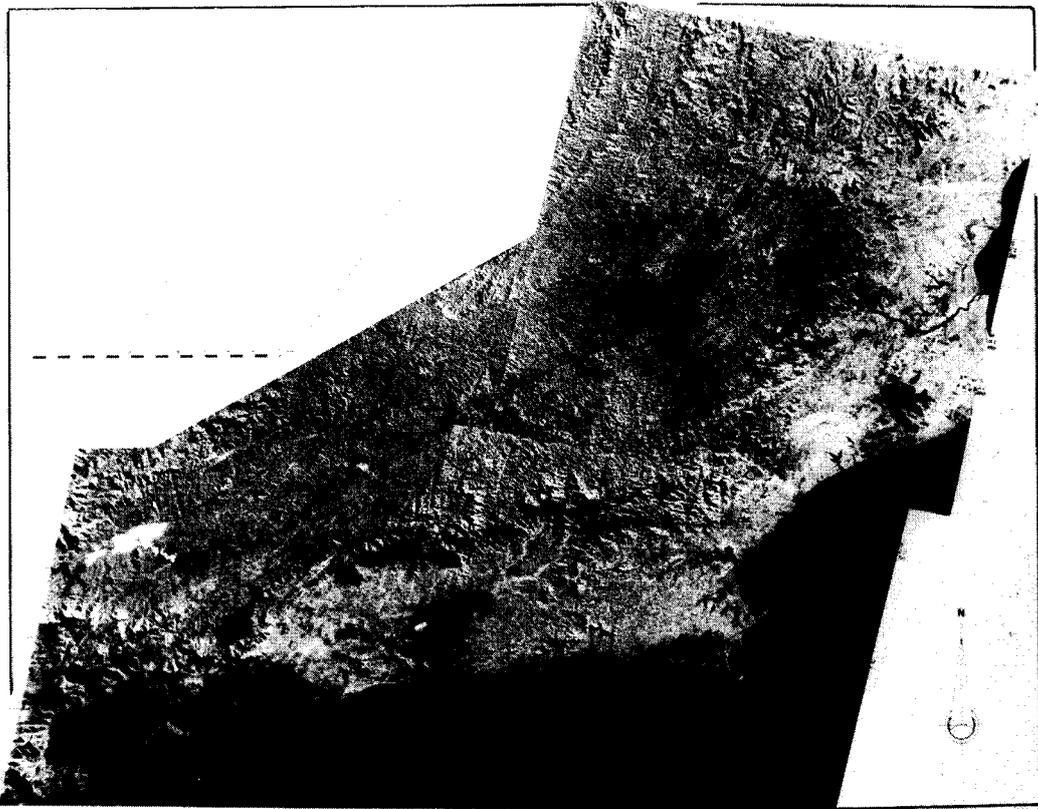


Fig. 1 - Mosaico das imagens MSS-LANDSAT do Estado do Rio de Janeiro, na escala original 1:500.000

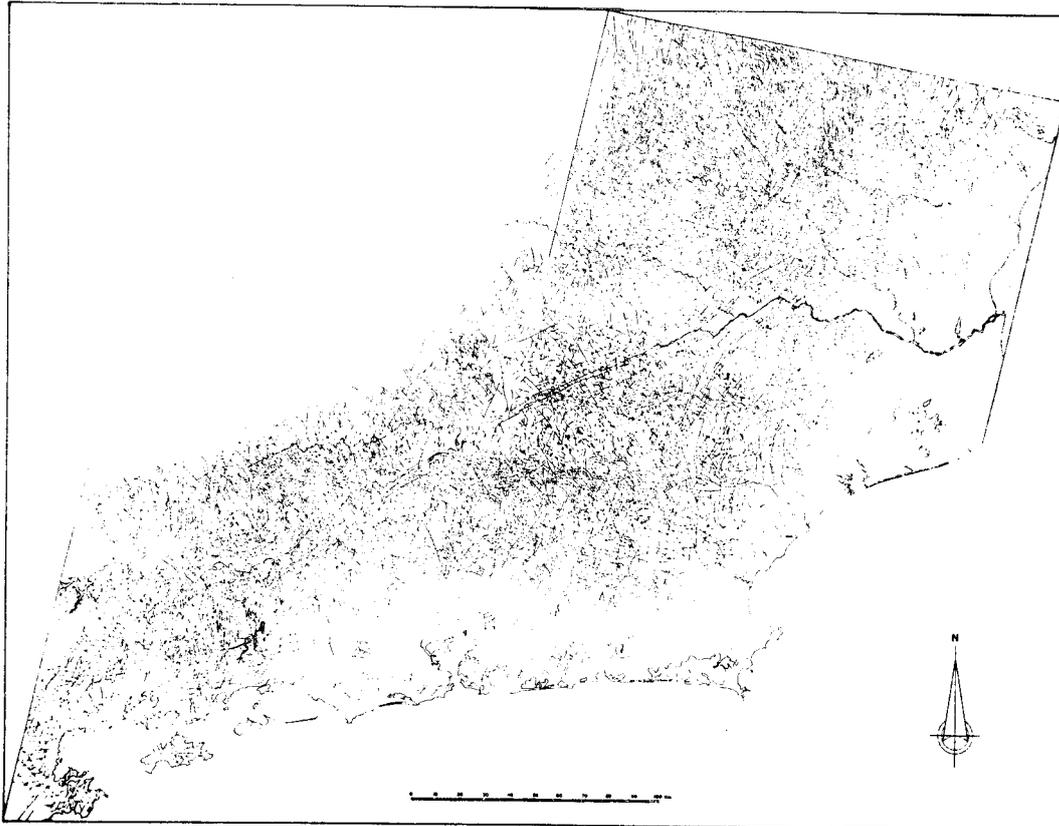


Fig. 2 - Mapa de lineamentos do Estado do Rio de Janeiro, compilado do mosaico das imagens MSS/LANDSAT, na escala original 1:500.000

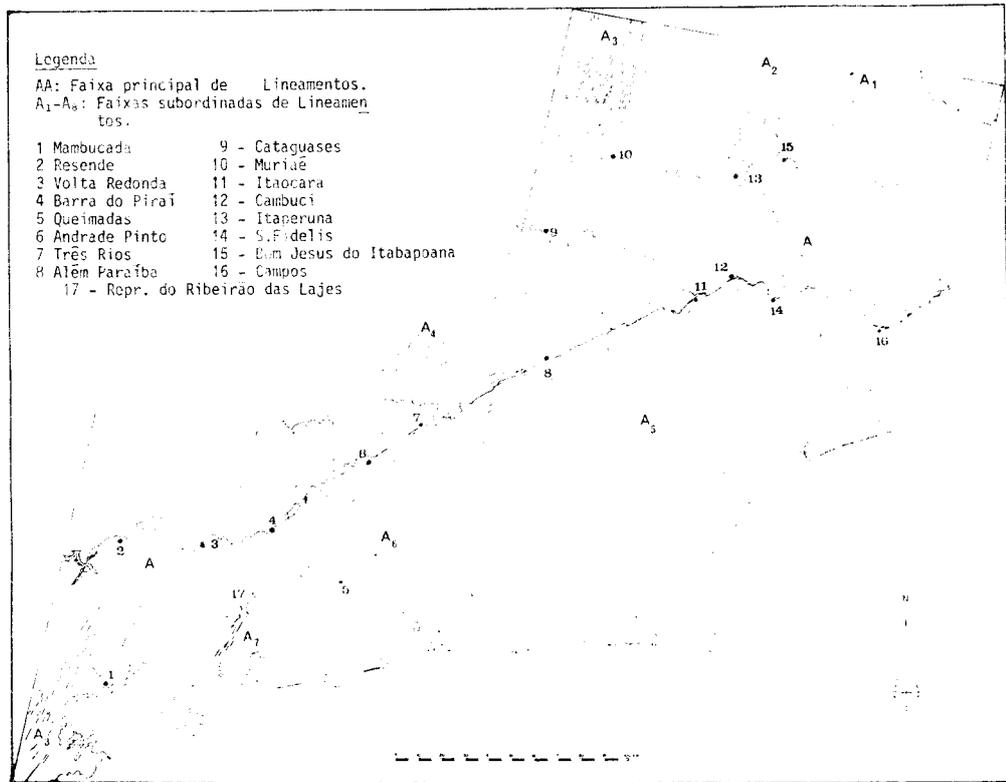


Fig. 3 - Mapa de lineamentos classificados no Sistema A, na escala original 1:50.000.

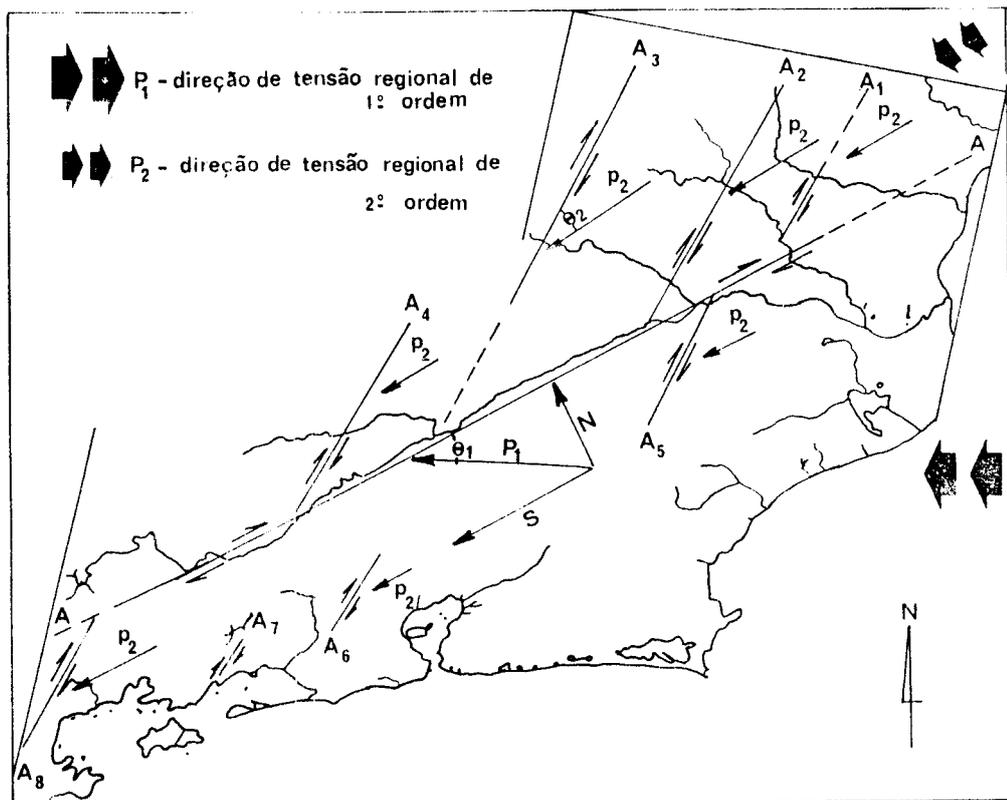


Fig. 4 - Diagrama aplicado ao padrão das faixas de lineamentos ilustradas na Figura 3.

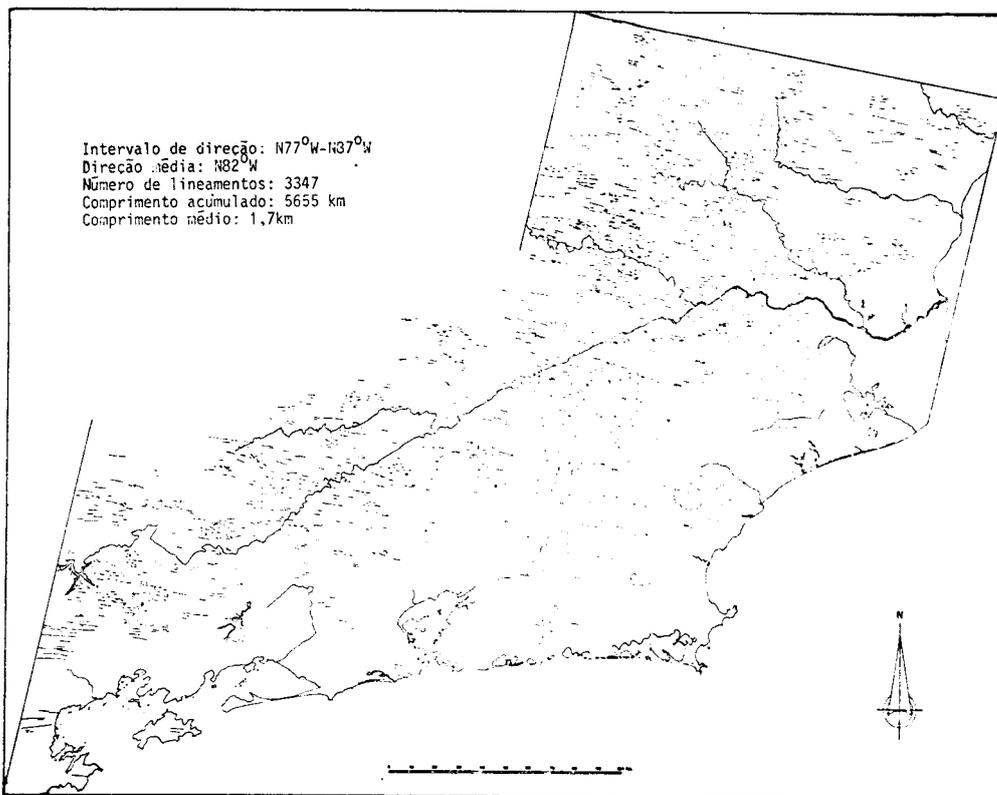


Fig. 5 - Mapa de lineamentos classificados no Subsistema 1 do Sistema B, na escala original 1:500.000.

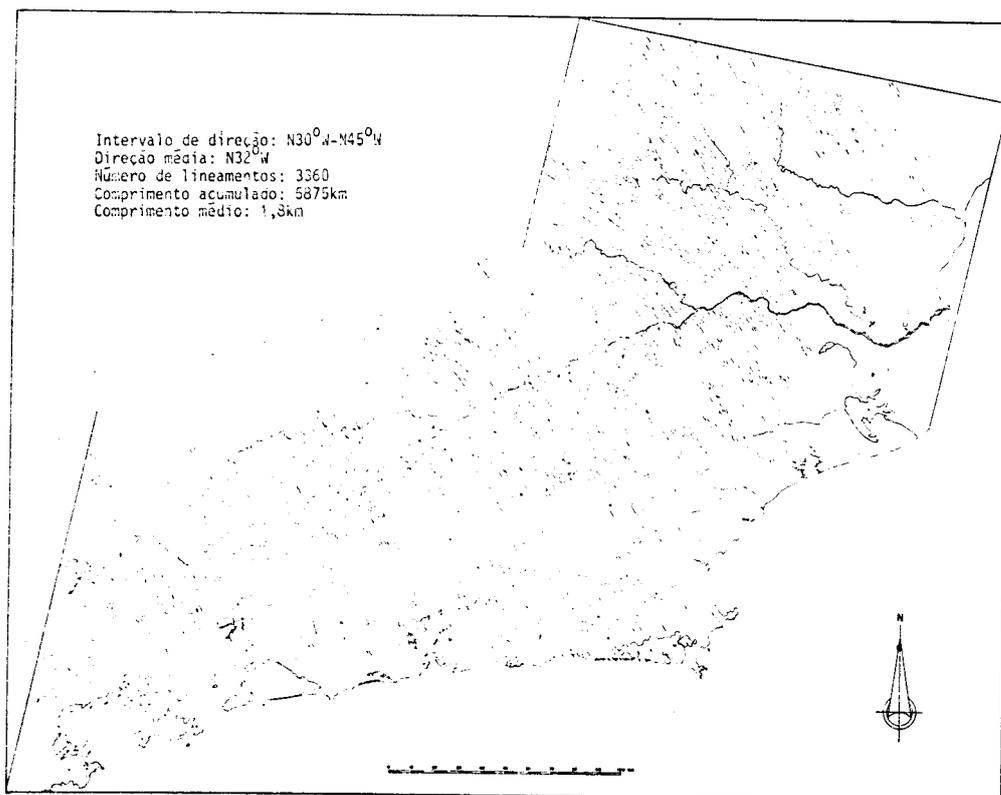


Fig. 6 - Mapa de lineamentos classificados no Subsistema 2 do Sistema B, na escala original 1:500.000.

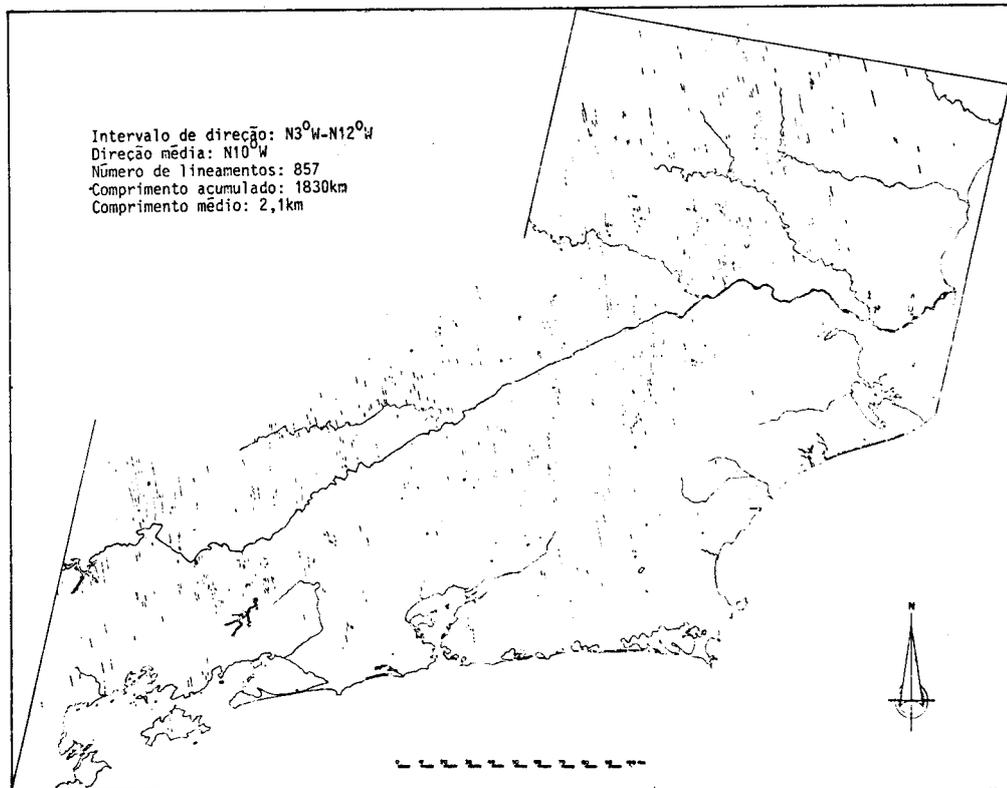


Fig. 7 - Mapa de lineamentos classificados no Subsistema 3 do Sistema B, na escala original 1:500.000.

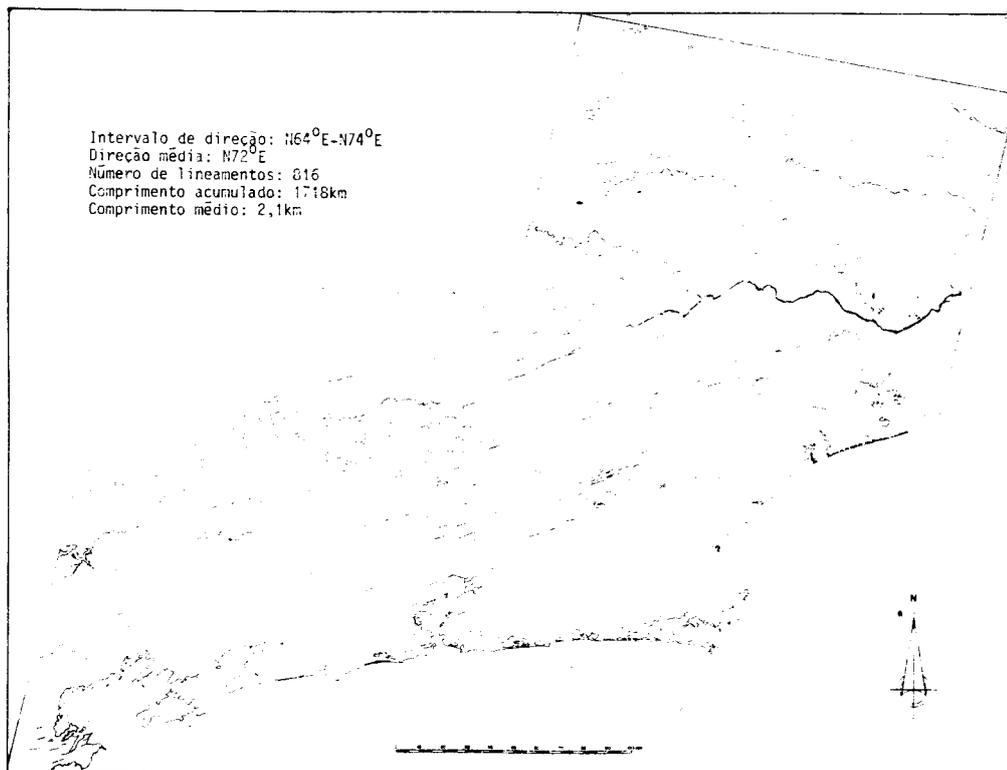


Fig. 8 - Mapa de lineamentos classificados no Subsistema 5 do Sistema B, na escala original 1:500.000.

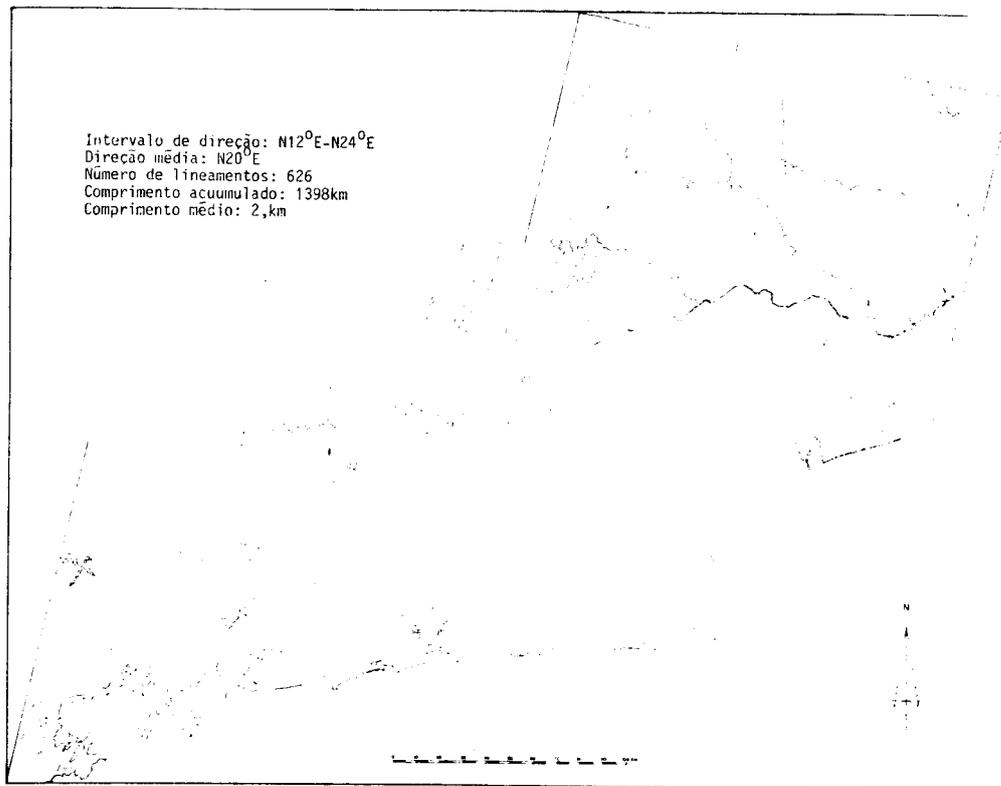


Fig. 9 - Mapa de lineamentos classificados no Subsistema 4 do Sistema B, na escala original 1:500.000.

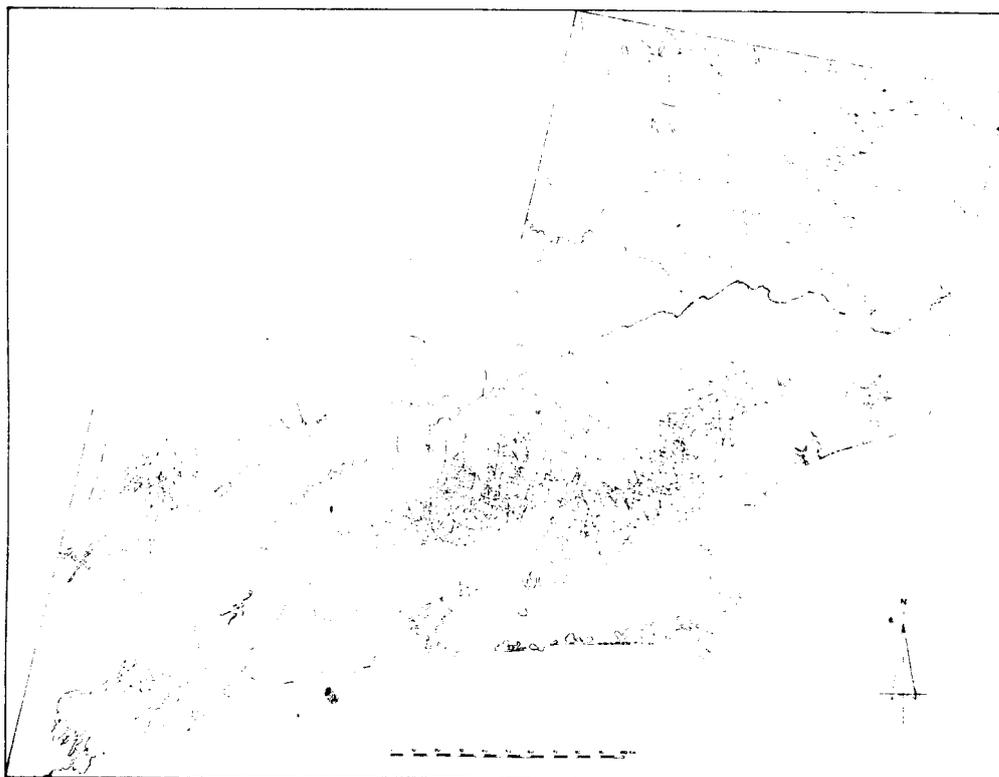


Fig. 10 - Mapa de lineamentos classificados no Sistema C, na escala original 1:500.000.

TABELA 1

CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS DOS LINEAMENTOS DOS SUBSISTEMAS DO SISTEMA "B"

SUBSISTEMA	1	2	3	4	5
"Trend"	WNW	NW	NNW	NNE	ENE
Intervalo de direção	N77 ^o -87 ^o W	N30 ^o -45 ^o W	N3 ^o - 12 ^o W	N12 ^o -24 ^o E	N64 ^o -74 ^o E
Direção média	N82 ^o W	N32 ^o W	N10 ^o W	N20 ^o E	N72 ^o E
Número de lineamentos	3347	3360	857	626	816
Comprimentos acumulado dos lineamentos (KM)	5655km	5875km	1830km	1398km	1718km
Comprimento médio entre lineamentos (km)	1,7km	1,8km	2,1km	2,2km	2,1km
Distância média entre lineamentos (km)	1,3km	1,2km	1,5km	1km	1,5km
Distância média entre grupos de lineamentos (km)	Distribuição uniforme	Distribuição uniforme	12km	10km	13km