

ANÁLISE MORFOESTRUTURAL E SUA APLICAÇÃO NO ESTUDO DO AQUÍFERO CÁRS-
TICO DO JAÍBA, NORTE DE MINAS GERAIS

POR

ADELBANI BRAZ DA SILVA

RESUMO -- A detecção de estruturas favoráveis a ocorrência de água subterrânea constitui o principal problema no estudo dos aquíferos cársticos. A aplicação de análise morfoestrutural permitiu definir algumas características e as potencialidades do aquífero cárstico do Jaíba, torna-se uma ferramenta importante na pesquisa de água subterrânea. A metodologia empregada compreende a fotointerpretação das morfoestruturas (fraturas e dolinas) de superfície que são reflexos da carstificação e da estrutura geológica em profundidade. Um tratamento estatístico tri-dimensional dos elementos morfoestruturais fotointerpretados permitiu identificar a tendência regional da distribuição espacial das feições superficiais bem como detectar as anomalias locais. Foram efetuados diversos processamentos estatísticos procurando-se estudar, além da densidade de ocorrência das morfoestruturas, a influência do tamanho dos elementos da fotointerpretação na estrutura global da área e as relações entre o faturamento e a carstificação. Verificou-se que a associação de elementos morfoestruturais independem do comprimento das fraturas ou do tamanho das dolinas e que a carstificação agiu diferentemente em vários pontos da área e em diversas profundidades. Foi possível também elaborar um mapa síntese da análise morfoestrutural onde foram ressaltadas importantes características que são indispensáveis ao conhecimento do funcionamento do aquífero.

INTRODUÇÃO

Os estudos aqui realizados, tiveram o intuito de se obterem informações sobre a tendência regional de parâmetros morfoestruturais fotointerpretados que estão relacionados com a circulação das águas subterrâneas em um aquífero cárstico. Assim, foram realizadas análises de superfícies de tendências e seus respectivos resíduos das fraturas e dolinas da área. As superfícies de tendências dos parâmetros estruturais mostram as variações regionais, separando os efeitos regionais das flutuações locais. Os mapas de resíduos dessas superfícies mostram os desvios em relação aos valores observados, de modo que se destacam os valores anômalos locais.

Foram abordados, fundamentalmente, dois aspectos: a distribuição espacial das fraturas geológicas e a das feições cársticas.

Através de análises estatísticas tri-dimensionais, procurou-se sistematizar e integrar as informações derivadas da interpretação geomorfológica em aerofotos. A partir de então, processou-se a correlação e representação dos resultados, conforme conceitos e métodos estatísticos, hidrogeológicos e de geologia estrutural.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo está compreendida entre os paralelos de 14°40' e 15°30' de latitude sul e os meridianos 43°30' e 44°00' de longitude de oeste. Situa-se ao norte do Estado de Minas Gerais e abrange a proximadamente uma superfície de 6.000 km².

Esta área faz parte do sistema cárstico da região do Jaíba, constituído de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí.

OBJETIVOS

O objetivo principal do presente trabalho foi o de definir as potencialidades hidrogeológicas da área, através da detecção de estruturas favoráveis a ocorrência de água subterrânea. A delimitação dessas estruturas visou a elaboração de um modelo de funcionamento do aquífero. Este modelo integra os padrões estruturais, feições morfológicas e os parâmetros característicos do aquífero.

O objetivo subsidiário foi a análise e correlação de feições morfoestruturais superficiais com os parâmetros dimensionais e hidrodinâmicos do aquífero. Enfocaram-se os aspectos morfoestruturais, por que tanto o fraturamento como alguns efeitos da carstificação são refletidos em superfície através de descontinuidades morfoestruturais mapeáveis.

METODOLOGIA

As análises das estruturas geológicas e das densidade das fraturas e feições cársticas, além dos processamentos estatísticos dos dados foram realizados a partir de interpretação feita no mapa na escala de 1:100.000.

Para a confecção deste mapa foram utilizadas fotos aéreas pan-cromáticas, na escala 1:60.000, obtidas em 1966 pela USAF-AST-10 para o Serviço Cartográfico do Exército (SGE) e na escala 1:50.000, obtidas no levantamento aerofotogramétrico, executado em 1974 pela Cruzeiro do Sul para a RURALMINAS - Fundação Rural Mineira - Colonização e Desenvolvimento Agrário.

A fotointerpretação foi feita com a utilização de estereoscópios de espelho para extração de todos os elementos da rede de drenagem, lineações, formações cársticas e demais feições características. Os detalhes geológicos e morfoestruturais da interpretação das fotos aéreas foram transferidos por Sketchmaster, para uma base planimétrica na escala 1:100.000, obtida de mapas do Serviço Geográfico do Exército (SGE) de 1969.

As análises da distribuição espacial das feições morfoestruturais foram realizadas através do estudo estatístico das fraturas e das dolinas. Neste estudo, as lineações e as dolinas fotointerpretadas foram submetidas a um tratamento estatístico tridimensional envolvendo as análises de superfícies de tendências. Os dados utilizados neste tratamento foram as densidades de ocorrência. Isto é, a relação entre a frequência do parâmetro, no caso os comprimentos das lineações ou áreas das dolinas, e a área de sua ocorrência.

Os dados dos parâmetros morfoestruturais, como já foi citado, foram obtidos no mapa da área na escala 1:100.000. Este mapa foi dividido em 60 quadrículas, ou células, através de uma malha de 10 linhas e 6 colunas delimitadas por coordenadas geográficas de 5 minutos. Cada uma destas quadrículas abrange uma superfície de aproximadamente 81 km².

Em cada quadrícula, foram medidos os comprimentos das fraturas e as áreas das dolinas existentes. Posteriormente, foram calculadas as densidades das fraturas e das dolinas. As primeiras foram obtidas somando-se os comprimentos de todas as fraturas dentro de uma quadrícula e, em seguida, dividindo-se esta soma pela área da quadrícula. As outras foram calculadas somando-se todas as áreas das dolinas dentro de uma quadrícula e, depois, dividindo-se esta soma pela área da quadrícula.

Para uma melhor comparação entre os diferentes mapas de densidades de fraturas e entre os de dolinas, todos os valores foram uniformizados. Esta uniformização foi obtida através da transformação de todos os valores para um intervalo de variação entre 1 e 2. Assim, o menor valor de distribuição ficou igual a 1 e o maior igual a 2, os demais ficaram distribuídos neste intervalo.

A equação utilizada foi a seguinte:

$$Zoi = ((Xi - Xmin)/(Xmax - Xmin)) + 1$$

onde:

Zoi = valor uniformizado;
Xi = valor original;
Xmin = menor valor original da distribuição dos dados;
Xmax = maior valor original da distribuição dos dados

Efetuarão-se os seguintes processamentos:

a) Utilizando-se as densidades das fraturas

- 1 - tendência das densidades de todas as fraturas;
- 2 - tendência das densidades das grandes fraturas, isto é, aquelas com comprimento maior ou igual ao comprimento médio (3km) de todas as fraturas fotointerpretadas;
- 3 - tendência das densidades de fraturas associadas às dolinas.

b) Utilizando-se as densidades das dolinas

- 1 - tendência das densidades de todas as dolinas;
- 2 - tendência das densidades das grandes dolinas, isto é, com diâmetro maior ou igual ao diâmetro médio (600 m) de todas as dolinas;
- 3 - tendências das densidades de dolinas associadas às fraturas.

Este procedimento visou o estudo dos efeitos dos tamanhos das fraturas e dolinas na carstificação ou na circulação das águas subterrâneas.

Foi considerado que uma fratura (lineação) estava associada com dolinas e vice-versa, quando existiam três ou mais dolinas alinhadas ao longo da lineação.

O programa de computador TRENDSUP (Landim et alii, 1978, modifi

cado pelo autor), usado nos processamentos estatísticos dos dados morfoestruturais, utiliza os métodos polinomiais não ortogonais para o cálculo das superfícies de tendências. Neste programa é aplicado um modelo linear geral dos mínimos quadrados, tentando-se encaixar, a princípio, uma superfície linear (plano) aos dados, em seguida, uma quadrática, uma cúbica e assim sucessivamente.

Com o método dos mínimos quadrados, são calculados os coeficientes que melhor definem uma superfície, e que se ajustem ao conjunto de pontos. Com estes coeficientes e com as coordenadas U_i e V_i de cada ponto é possível, então, obter-se o valor calculado " Z_{ci} " da variável dependente " Z ". Este valor difere do observado " Z_{oi} " de uma quantidade " R_i ", que é o resíduo. Quanto menor for este resíduo melhor será o ajuste da superfície, matematicamente definida, aos dados observados. A partir de Z_{oi} , Z_{ci} e R_i , são calculadas as variações totais, explicada e não explicada que estão relacionadas pela equação:

$$\sum_{i=1}^n (Z_{oi} - \bar{Z}_o)^2 = \sum_{i=1}^n R_i^2 + \sum_{i=1}^n (Z_{ci} - \bar{Z}_c)^2$$

Esta equação mostra que a variação total é igual à soma da variação não explicada mais a variação explicada.

Com este procedimento tenta-se definir, além das grandes e sistemáticas mudanças existentes na área, aquelas pequenas flutuações. Maiores informações sobre os cálculos dos coeficientes dos polinômios das superfícies de tendências e sobre a técnica utilizada são encontradas em: Harbaugh e Merriam (1968); Davis (1973); Amaral (1976); Hertz e Amaral (1976); Landim (1979) e Jambu (1981).

Para medir o quanto a variável dependente é explicada pela regressão, pode-se usar a razão entre a soma dos quadrados devido à regressão e a soma dos quadrados em relação à média. Essa razão é chamada de coeficiente de determinação (R^2). Se a equação da regressão for tal que todos os valores calculados da variável dependente forem iguais aos respectivos observados, a somatória dos quadrados dos resíduos será igual a zero. Então, o coeficiente de determinação (R^2) é igual a um. Por outro lado, se a equação de regressão não explicar nenhuma variação de variável dependente, ter-se-á: $R^2=0$. Assim, quanto mais próximo R^2 for de um, melhor será a aderência de regressão aos dados. O coeficiente de correlação amostral é: $R = \sqrt{R^2}$. O intervalo de R é de: $-1 \leq R \leq +1$; uma vez que o de R^2 é: $0 \leq R^2 \leq 1$.

Vale salientar que o ajuste da superfície de tendência depende de vários fatores, como número de pontos, distribuição espacial dos pontos, variabilidade e outros. Landim (1979), cita alguns cuidados que devem ser tomados: a) o número de pontos deve ser maior que o número de coeficientes do polinômio a ser calculado; b) as observações devem ser feitas apenas em relação à área coberta pelos pontos, evitando-se as extremidades dos mapas; c) o arranjo dos pontos deve ser casual. Höwarth (1967), ao analisar várias distribuições de dados gerados ao acaso, preconizou certos critérios para o uso das superfícies de tendências até até o terceiro grau. Estabelece, por exemplo, que o número de dados deve ser no mínimo três vezes superior ao número de coeficientes da superfície. Além disso, a percen-

tagem da soma total dos quadrados (100. variação explicada/variação total), para o terceiro grau, deve ser superior a 16,2%. Amaral (1976), por sua vez, considera que o coeficiente de determinação ou o seu equivalente a porcentagem de soma total dos quadrados é o parâmetro mais sensível para avaliar o ajuste das superfícies de tendências.

Para uma distribuição aleatória, à medida que o grau do polinômio aumenta o ajuste melhora e à medida que o número de pontos aumenta o ajuste diminui. Assim, um ajuste perfeito é obtido quando o número de pontos é igual ao número de termos do polinômio utilizado.

Esses limites estabelecidos e os cuidados propostos, servem para orientação dos usuários das técnicas de superfícies de tendências quanto à possibilidade ou não de existência de fatores controladores de uma variação regional de dados geológicos. Tais limites não devem ser utilizados como barreiras rígidas, mas sim, como indicadores na interpretação dos resultados obtidos. Um ajuste fraco não significa, necessariamente, que não existe tendência. O que pode acontecer é que as observações estejam sujeitas a uma distorção, às vezes local, que resultará numa maior magnitude dos resíduos.

Por outro lado, uma superfície com coeficiente de determinação próximo de 1 não apresenta resíduos suficientes para destacar as anomalias que por acaso ocorram na distribuição dos pontos. Por estes motivos, é que foram utilizadas superfícies de até terceiro grau na interpretação dos mapas de resíduos.

RESULTADOS OBTIDOS

A figura 1 mostra as superfícies de tendência de primeiro grau, e os seus resíduos, das densidades das lineações e de dolinas da área. Observam-se, nestas superfícies de tendência, que as maiores densidades de fraturas encontram-se na porção sul da área. Por outro lado, os resíduos dessas superfícies sugerem que as principais zonas de baixas densidades são as localizadas nas serras Azul e do Jaíba e em Gado Bravo. Os planos de tendência linear mostram também que as maiores densidades de dolinas encontram-se ao sul da área. Os mapas de resíduos ressaltam zonas com anomalias negativas localizadas nas serras Azul e do Jaíba e em Gado Bravo. Estas zonas de baixa densidade de dolinas correspondem, aproximadamente, aquelas de baixa densidade de fraturas.

As tendências quadráticas e os seus resíduos permitem, praticamente, as mesmas observações de tendências de primeiro grau.

As principais observações feitas nas superfícies de tendências cúbicas e seus resíduos da figura 2 são descritas a seguir.

Observam-se, por exemplo, anomalias positivas de lineações na serra do Sabonetal, nos arredores da Colônia do Jaíba, a sudeste de Matias Cardoso e no baixo curso do córrego Vereda das Éguas. Estas seriam as zonas mais fraturadas do aquífero. É importante destacar também a faixa de elevada densidade de fraturamento do córrego Escuro e ao norte do morro Catarino. Por outro lado, ao sul e a leste do morro Catarino há baixa densidade do fraturamento. Isto sugere que as águas infiltradas na zona do morro Catarino são drenadas em direção ao norte e nordeste para o rio Verde Grande.

É interessante observar que o riacho Tapera constitui aproximadamente um limite de zona de alta e baixa densidade de fraturamento.

Observa-se ainda poucas fraturas relacionadas com dolinas no vale do riacho Serraria, nas serras Azul e do Jaíba e ao sul do morro Catarino. Por outro lado, aparecem altas anomalias ao sul e nordeste da Colônia do Jaíba, no córrego Vereda das Éguas, a leste de Mocambinho e a nordeste de Matias Cardoso.

De uma maneira geral pode-se afirmar: 1) no córrego Escuro e sudeste de Matias Cardoso as dolinas estão relacionadas com pequenas e grandes fraturas; 2) no córrego Vereda das Éguas as dolinas são controladas preferencialmente por pequenas fraturas; 3) a nordeste da Colônia do Jaíba, na margem direita do rio Verde Grande e a nordeste de Matias Cardoso as grandes fraturas controlam as dolinas.

A figura 2 destaca ainda altas densidades nas cabeceiras do córrego Escuro, arredores da Colônia do Jaíba, baixo curso do córrego Vereda das Éguas, a leste de Mocambinho e a nordeste do morro Catarino. As zonas com baixa densidade de dolinas são as situadas ao sul do morro Catarino e Gado Bravo, em Matias Cardoso, e nas serras Azul e do Jaíba.

Estes mapas mostram também que as grandes dolinas são restritas ou predominam na cabeceira do vale do córrego Escuro, na margem direita do rio Verde Grande e numa faixa entre o riacho Tapera e Matias Cardoso.

Comparando-se os diversos mapas de densidade de dolinas podem-se fazer as seguintes observações:

- na porção central da área, no médio córrego Escuro e no baixo córrego Vereda das Éguas predominam pequenas dolinas;
- no alto córrego Escuro, norte e nordeste da colônia do Jaíba e sudeste de Matias Cardoso predominam as grandes dolinas.

O mapa de resíduo da superfície cúbica da figura 2-C é parecido com o da figura 2-B, sugerindo que, de uma maneira geral, não há relação entre o tamanho das dolinas e o alinhamento ao longo das lineações. Existem porém algumas exceções, como por exemplo, a sudeste de Matias Cardoso e no alto curso do córrego Escuro, onde as grandes dolinas estão mais relacionadas com as lineações. Por outro lado, o alinhamento de pequenas dolinas parece predominar no baixo córrego Vereda das Éguas e na porção central da área próxima do rio Verde Grande.

Correlação entre as superfícies de tendência das feições morfoestruturais

Para analisar as similaridades entre as superfícies de tendências das densidades de fraturas e de dolinas foram realizadas regressões lineares entre os coeficientes dos polinômios das superfícies de terceiro grau, (ver Harbaugh e Merriam, 1968).

A maior correlação (0,99) ocorre entre as superfícies de densidades de fraturas relacionadas com dolinas e as de densidades de dolinas relacionadas com fraturas. Isto sugere que a carstificação es

tá predominantemente instalada no fraturamento apenas em algumas zonas bem definidas na área.

A correlação linear entre os coeficientes dos polinômios da superfície cúbica de todas as lineações com as das lineações relacionadas com dolinas é de 0,95, e dessa última, com grandes lineações é de 0,69. Por outro lado, a superfície das densidades das grandes lineações tem correlação de 0,77 com a de todas as lineações e com as das lineações relacionadas com dolinas, ratificando a observação de que as dolinas estão relacionadas a pequenas e grandes fraturas, e que existe um sistema de pequenas fraturas independente das grandes fraturas ou que predominam em alguns locais da área.

Quanto às feições cársticas verifica-se que a melhor similaridade é entre a superfície de densidade das grandes dolinas e a de todas as dolinas (0,68). Contudo, a correlação dessas superfícies com as superfícies de densidades de lineações e com a de dolinas relacionadas com fraturas é muito pequena (0,12), sugerindo que estatisticamente existem fraturas que não tem correlação com dolinas como também que em várias partes da área existem dolinas, que não estão condicionadas às fraturas. Esta baixa similaridade entre as superfícies de densidade de dolinas com as densidades de lineações ratifica também a observação de que não há uma relação entre o tamanho das dolinas e o alinhamento ao longo de lineações.

Relação entre as feições morfoestruturais e as características do aquífero

Em todas as figuras de resíduos das densidades de lineações da área, aparecem anomalias negativas na serra do Jaíba, sudoeste de Gado Bravo e nos arredores de serra Azul. Isto sugere que estas zonas são as que possuem menores densidades de fraturamento. No caso específico dos arredores de serra Azul, é possível que muitas fraturas estejam cobertas pelo solo espesso que ocorre naquela zona e consequentemente não foram fotointerpretadas. Nos demais casos as rochas realmente são pouco fraturadas.

Pode-se ainda dizer que a serra do Sabonetal constitui uma zona importante de infiltração do aquífero, no sul da área, graças à sua elevada topografia e alta densidade de fraturamento. As águas ali infiltradas provavelmente são drenadas para o riacho Serraria e para o córrego Escuro.

Outras áreas com elevadas densidades de fraturas aparecem no vale do córrego Vereda das Éguas, sudeste de Matias Cardoso e em pontos isolados a norte e nordeste de Colônia do Jaíba.

Quanto às densidades das dolinas pode-se afirmar que a zona com baixa densidade, ao norte da serra Azul, localiza-se na área de ocorrência de margas e siltitos onde se instalou uma fraca carstificação. No morro Catarino também existem grandes extensões de afloramentos de margas e siltitos ou rochas com espesso (+ 20 metros) manto de decomposição. A densidade de dolinas é pequena também na serra do Jaíba, porque há uma camada de arcóseo no seu topo que inibiu a carstificação. O mesmo acontece na serra do Sabonetal. No entanto, os mapas de resíduos não identificam anomalias nesta serra provavelmente porque os seus valores estão influenciados pela forte anomalia do alto córrego Escuro.

Comparando-se a figura 1 com a figura 2 e considerando-se a topografia, pode-se sugerir que as zonas das cabeceiras do córrego Escuro - serra do Sabonetal e o baixo curso do córrego Vereda das Águas constituem importante zonas de infiltração do aquífero, graças às altas densidades de fraturamento e/ou de dolinas ali encontradas. Pelo mesmo motivo, a zona dos arredores da Colônia do Jaíba e ao norte do riacho Tapera, constituem zonas de infiltração do aquífero. Contudo, parece que as águas logo são restituídas aos rios Verde Grande e São Francisco respectivamente.

A anomalia de alta densidade de dolinas na porção central da área parece ser uma continuação da encontrada no córrego Vereda das Águas. Esta anomalia também é observada na densidade de fraturas.

Verifica-se também que os riachos Tapera e Serraria não estão relacionados com dolinas.

As principais áreas onde existem as melhores associações de fraturas com dolinas são as seguintes: vale do córrego Escuro, córrego Vereda das Águas, oeste e sudoeste da Colônia do Jaíba, sudeste de Matias Cardoso e parte da porção central da área.

Pode-se destacar ainda o seguinte:

- no alto curso do córrego Escuro e sudeste de Matias Cardoso as grandes dolinas estão mais relacionadas com as fraturas, sendo estas, contudo, grandes ou pequenas;
- no baixo córrego Veredas das Águas as pequenas dolinas são preferencialmente alinhadas ao longo de pequenas fraturas;
- nas demais partes da área não ficam claras as relações do alinhamento com os tamanhos das fraturas ou dolinas.

Em todas as figuras de resíduos das densidades de dolinas apareceram anomalias negativas principalmente nos arredores da serra Azul, ao sul do morro Catarino, em Gado Bravo, na serra do Jaíba e no vale do riacho Serraria. Tal fato sugere que estas zonas são as que possuem menores densidades de dolinas, isto é, onde foram menores os efeitos de carstificação do aquífero.

Distribuição das feições morfoestruturais

A distribuição espacial das feições morfoestruturais e suas anomalias foi obtida através de correlação e integração das interpretações das superfícies de tendências e respectivos resíduos das densidades de dolinas e de fraturas.

A figura 3 mostra a síntese das análises realizadas nas interpretações dos mapas de tendências e respectivos mapas de resíduos. Esta síntese, ressalta as zonas onde os processos de carstificação foram intensos, e cujo resultado foi a alta densidade de dolinas.

Ressalta ainda, quatro zonas onde as elevadas densidades de fraturas e de dolinas ou de ambas facilitaria a infiltração de água pluviais. Estas zonas são: cabeceiras do córrego Escuro, arredores da Colônia do Jaíba, porção centro-leste da área e norte do vale do riacho Tapera.

As zonas de baixa densidade de fraturas e de dolinas mostrados na figura 3 correspondem àqueles onde as condições hidrogeológicas de circulação, armazenamento e recarga, não são favoráveis. São as zonas da serra do Jaíba, norte da serra Azul e de Gado Bravo.

Todavia, vale lembrar que os limites numéricos utilizados na classificação das densidades em grandes, médias e baixas são arbitrários, e que podem ser aumentados ou diminuídos em função do interesse no melhor ou menor detalhamento ou, ainda, em função dos dados utilizados, como tamanho da malha, números de fraturas fotointerpretadas, grau de certeza das lineações fotointerpretadas e outras. Além disso, os contornos dessas zonas são aproximados e foram baseados em superfícies de tendência matemática. Isto implica em possíveis distorções inerentes ao método de cálculo. Uma melhor avaliação dos contornos dessas zonas poderá ser feita através do processamento de dados das densidades das feições morfoestruturais obtidas em mapas com diferentes escalas.

CONCLUSÕES

Os estudos desenvolvidos serviram para ressaltar os aspectos fundamentais das condições hidrogeológicas da área e delinear as potencialidades dos seus recursos hídricos subterrâneos.

A análise estatística das feições morfoestruturais (fraturas e dolinas) serviu para evidenciar zonas com diferentes características do ponto de vista tectônico e de carstificação. Estas análises, realizadas através da correlação e integração das superfícies matemáticas de tendência das densidades de fraturas e de dolinas, permitem as seguintes conclusões:

- A associação de fraturas e dolinas independem, de uma maneira geral, do comprimento das fraturas ou do tamanho das dolinas. Isto é, grandes ou pequenas dolinas instalaram-se em fraturas regionais, ou locais. É provável que esta associação tenha sido influenciada por outros fatores. Por exemplo: distância da dolina ao nível de base do aquífero, litologia local, topografia, intercomunicação entre as fraturas e outros.

- As zonas onde as dolinas estão predominantemente alinhadas ao longo de fraturas são: sul e sudoeste da Colônia do Jaíba, vales dos córregos Escuro e Vereda das Éguas, porção central da área e ao nordeste de Matias Cardoso.

- Na área ocorrem também fraturas que não são associadas a dolinas, principalmente nos locais de predominância de margas e siltitos. Por outro lado, existem dolinas que não estão alinhadas ao longo de fraturas.

- Na carstificação, como era de se esperar, agiu diferentemente em vários pontos da área. Isto resultou um aquífero cárstico com zonas de diferentes potencialidades hidrogeológicas. As zonas com maiores densidades de dolinas, que refletem uma maior carstificação, situam-se nos arredores da Colônia do Jaíba, vales dos córregos Escuro e Vereda das Éguas, porção central da área e ao norte do rio Tapera. As menores densidades de dolinas encontram-se principalmente nas zonas das serras do Sabonetal e Azul, no vale do riacho

Serraria e ao sudoeste de Gado Bravo.

- Em determinadas partes da área os esforços tectônicos provocaram maiores deformações. Nestas partes são encontradas grandes densidades de fraturamentos e as fraturas são dispostas em várias direções. Podem-se destacar, por exemplo, a zona do morro Catarino e o vale do córrego Vereda das Éguas. Em outras partes existem grandes densidades de fraturas mas predominam algumas direções. São os casos do córrego Escuro, serra do Sabonetel, norte da Colônia do Jaíba e sudeste de Matias Cardoso. As menores densidades de fraturas ocorrem nas serras do Jaíba e Azul e a sudoeste de Gado Bravo.

- As principais drenagens da área são controladas por fraturamentos. Exceção pode ser feita ao rio São Francisco onde não foram observadas tais evidências. No baixo vale do riacho Serraria, por exemplo, a circulação de água subterrânea é feita essencialmente através de fraturas, uma vez que a carstificação ali não foi intensa.

- De uma maneira geral, ocorrem pequenas e grandes fraturas distribuídas em toda a área. Contudo, em algumas partes predominam grandes fraturamentos. São os casos do extremo nordeste da área e do alto vale do riacho Serraria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, G. - 1976 - Teste de análise de superfícies de tendência para distribuições aleatórias. In: XXIX Cong. Bras. de Geologia, Ouro Preto-MG, Anais da SBG, 3:233-237.
- DARDENE, M.A. - 1978 - Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: XXX Cong. Brasileiro Geologia, Recife, PE. Anais da SBG, 2:597-610.
- HARBAUCH, J.W. e MERRIAN, D.F. - 1968 - Computer applications in stratigraphical analysis. Willey, New York, 282 pp.
- HERTZ, R. e AMARAL, G. - 1976 - Aplicação da análise de superfície de tendência a granulometria de fundo da lagoa dos Patos. RS. In XXIX Cong. Bras. Geol., Ouro Preto, MG. Anais da SBG, 3:239-248.
- HOWARTH, R.J. - 1967 - Trend-surface fitting to radom data: an experimental test. Am. Journal Science, 265(7):619-625.
- JAMBU, M. - 1981 - Fortran IV computer program for rapid hierarchical classification of large data sets. Computers Geosciences, 7(3):297-310.
- LANDIM, P.B.M. - 1979 - Análise estatística de dados geológicos. Centro de Estudos Geológicos - CEGEO, UNESP - Rio Claro, São Paulo, 102 pp (Brochura).
- LANDIM, P.B.M.; BJORNBERG, A.J.S.; GANDOLFI, N.; PARAGUASSU, A.B.; RODRIGUES, J.E. e BUENO, B.S. - 1978-A - Distinção de seixos provenientes de diversos ambientes de sedimentação pelo método da distância generalizada D^2 de Mahalonobis., Rev. Ciência e Cultura, 30(8):957-966.

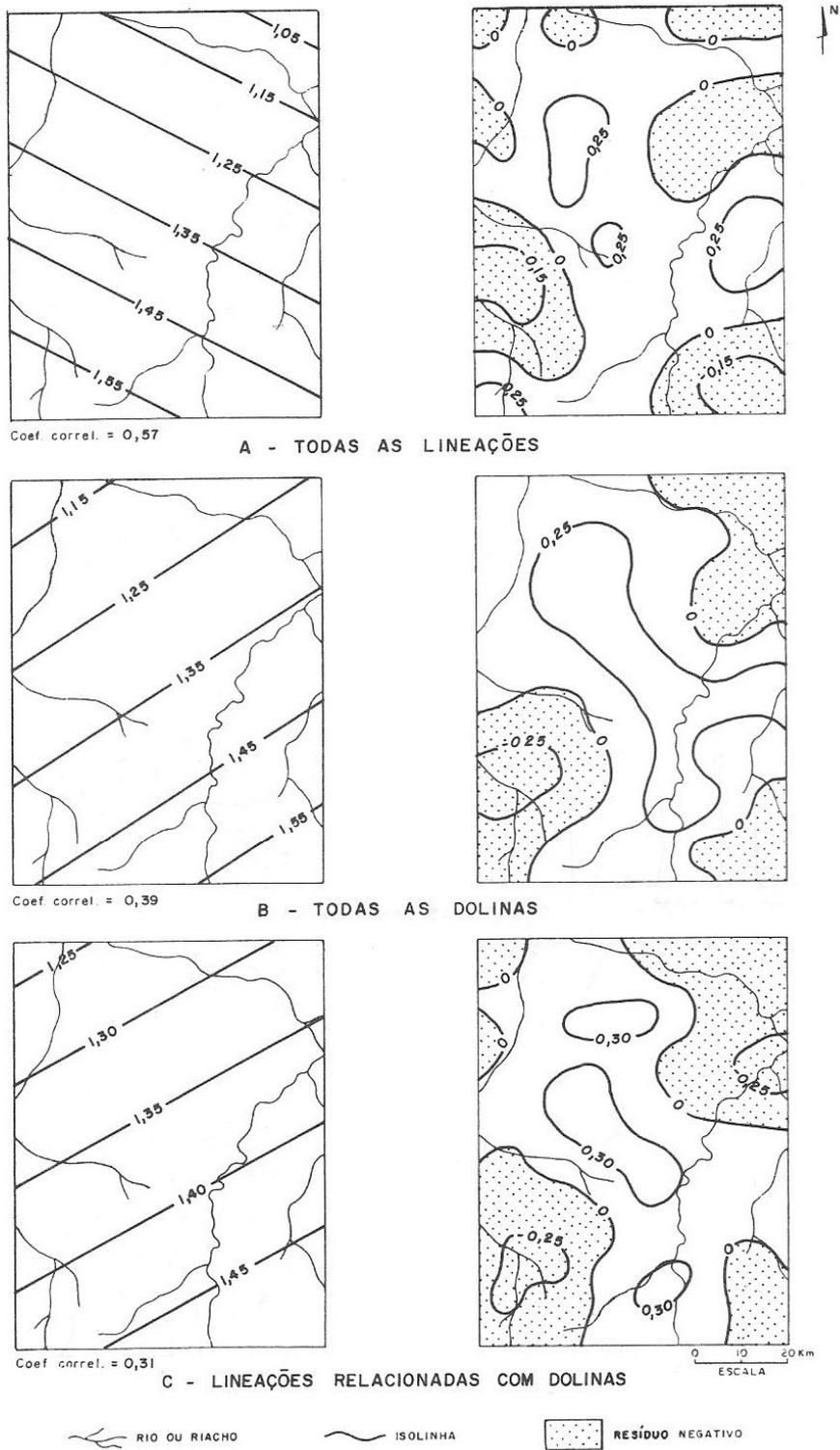
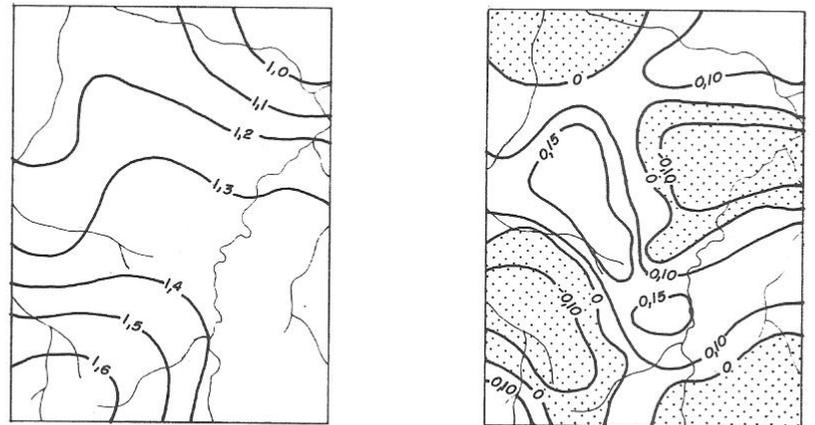
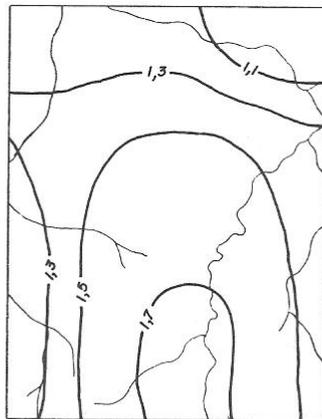


FIGURA 1 MAPAS DE TENDÊNCIA DE 1º GRAU E DE RESÍDUO DA DENSIDADE DAS MORFO-ESTRUTURAS



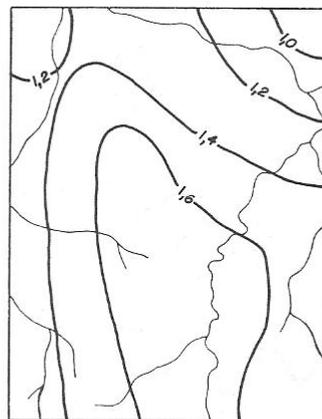
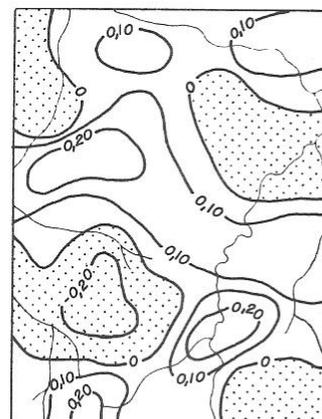
Coef. correl. = 0,43

A - TODAS AS LINEAÇÕES



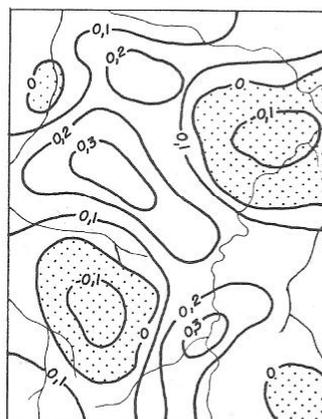
Coef. correl. = 0,44

B - TODAS AS DOLINAS



Coef. correl. = 0,33

C - LINEAÇÕES ASSOCIADAS A DOLINAS



RIO OU RIACHO
 ISOLINHA
 RESÍDUO NEGATIVO

FIGURA 2. MAPAS DE TENDÊNCIA DE 3º GRAU E DE RESÍDUO DA DENSIDADE DAS MORFO-ESTRUTURAS

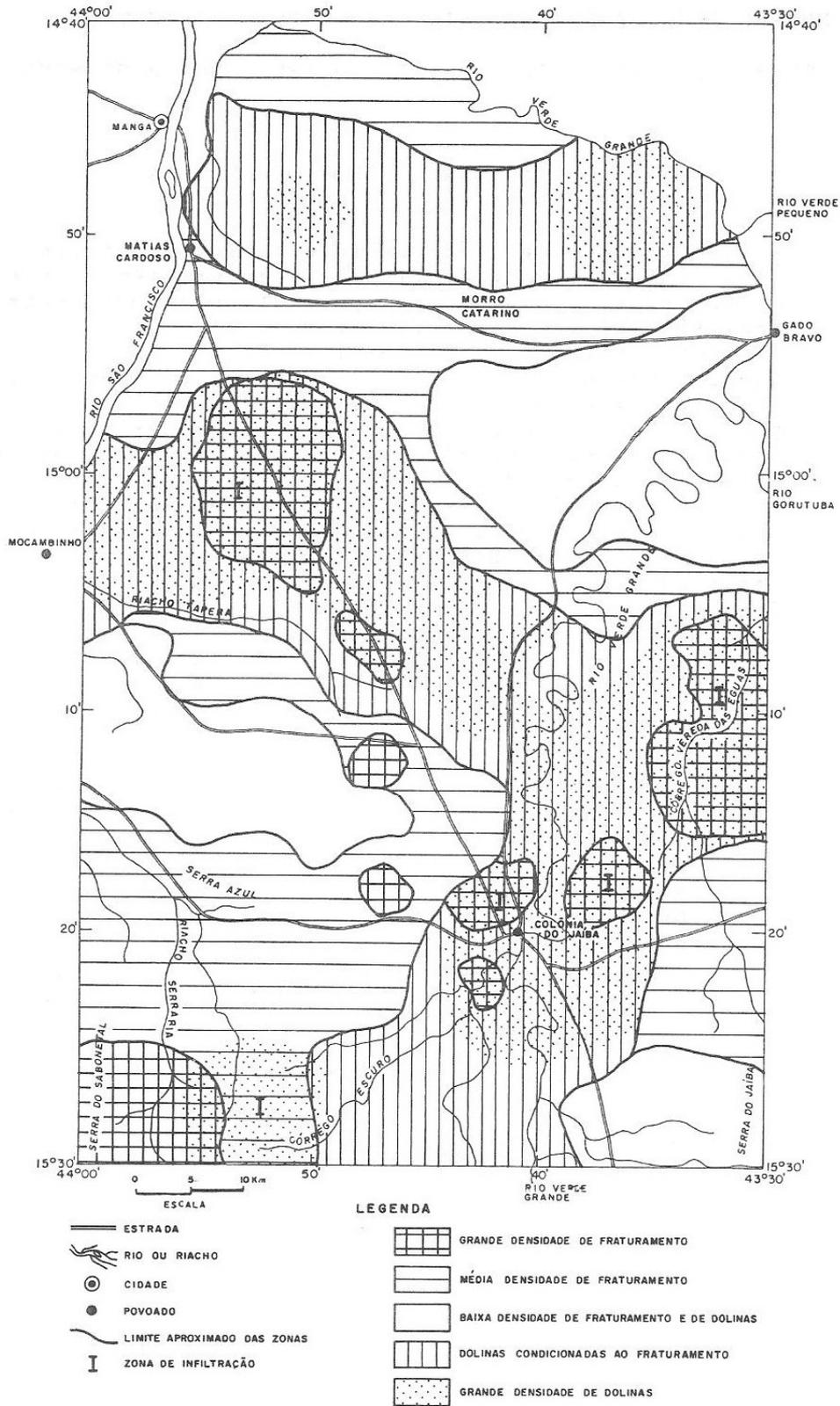


FIGURA 3. SÍNTESE DA ANÁLISE DAS DENSIDADES DE FRATURAS E DE DOLINAS

MORPHOSTRUCTURAL ANALYSIS AND ITS APPLICATION TO THE
STUDY OF THE JAIBA KARST AQUIFER, NORTH OF MINAS GERAIS

BY

ADELBANI BRAZ DA SILVA

ABSTRACT--The detection of favourable structures to the flow of the groundwater is the main problem to the study of the karst aquifer. The application of morphostructural analysis allowed the definition of some of the characteristics and potentiality of the Jaiba karst aquifer becoming an importance tool to the groundwater research. The used methodology encloses the photointerpretation of the surface morphostructures (fractures and sinkholes) which are reflexes of the karstification and the geological deepness conditions. A three-dimensional statistic treatment of the photointerpretated morphostructural elements allowed the identification of the regional trend about the spacial distribution of the superficial aspects as well as to detect the local anomalies. Several statistic processing were made in order to study, beyond the density of the morphostructures occurrence, the influence in the photoanalysis element lengths in the global structures of the area and the relations between the fracturing and the karstification. It was seen that the morphostructural element association are independent on the fractures length or the size of the sinkholes and that the karstification behaved itself differently in several points in the area and in several deepness. It was also possible to elaborate a syntesis map of the morphostructural analysis in which important features were emphasized and which are essential to characterize the groundwater system of the karst aquifer.