

Prospecção de água subterrânea a partir da análise estrutural do município de Bagé, RS.

Groundwater prospection from the structural analysis of the municipality of Bagé, RS.

Prospección de agua subterránea por medio del análisis estructural del municipio de Bagé, RS



Rafael Lima Dessart

Universidade Federal do Rio Grande do Sul- Rio Grande do Sul - Brasil

rldessart@gmail.com



Jacson Gosman Gomes de Lima

Instituto Federal de Santa Catarina - Santa Catarina - Brasil

jacson.gosman@ifsc.edu.br



Henrique Garcia Pereira

Universidade Federal do Paraná- Paraná - Brasil -

iqgarcia@hotmail.com

Resumo Este artigo apresenta as análises das imagens sombreadas do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) da NASA para o município de Bagé/RS, onde é possível evidenciar a influência de estruturas geológicas na distribuição do relevo e de unidades geomorfológicas, em um estudo voltado para a prospecção de água subterrânea. Foram identificados os lineamentos negativos, que apresentam duas direções preferenciais das morfoestruturas: NW e NE. Estas direções preferenciais estão relacionadas com as litologias ocorrentes na região e relacionadas com o sistema de recarga do Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II. A ocorrência destes dois sistemas de morfoestruturas está relacionada com as diferentes litologias, sendo responsável pela morfologia de Bagé.

Palavras-chave: análise estrutural; imagens do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM); lineamentos positivos e negativos.

Abstract This paper presents the analysis of shaded images from NASA's Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) for the municipality of Bagé / RS, where it is possible to evidence the influence of geological structures in the distribution of relief and geomorphological units, in a study aimed at groundwater prospecting. Negative lineaments were identified, which have two preferred directions of morphostructures: NW and NE. These preferred directions are related to the lithologies occurring in the region and related to the recharge system of the Aquifer System Embasamento Cristalino II. The occurrence of these two systems of morphostructures is related to the different lithologies, being responsible for the morphology of Bagé.

Keywords: structural analysis; Shuttle Radar Topography Mission images (SRTM); positive and negative lineaments.

Resumen Este artículo presenta el análisis de imágenes sombreadas de Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la NASA para el municipio de Bagé / RS, con las cuales es posible evidenciar la influencia de las estructuras geológicas en la distribución del relieve y de las unidades geomorfológicas, en un estudio dirigido a la prospección de agua subterránea. Se identificaron lineamientos negativos, que tienen dos direcciones preferentes de las morfoestructuras: NW y NE. Estas direcciones preferentes están relacionadas con las litologías que ocurren en la región y con el sistema de recarga del Sistema Acuífero Embasamento Cristalino II. La aparición de estos dos sistemas de morfoestructuras está relacionada con las diferentes litologías y es responsable de la morfología de Bagé.

Palabras llave: análisis estructural; imágenes Shuttle Radar Topography Mission (SRTM); lineamientos positivos y negativos.

Introdução

A porção meridional do Estado do Rio Grande do Sul, em específico a cidade de Bagé - RS, passa por recorrentes períodos de estiagem, com isso, prejudicando o abastecimento público e irrigação das lavouras. Desta forma, visando diminuir os impactos desse problema, a população busca a captação da água da chuva e de nascentes, por meio da construção de reservatórios e açudes. Já na área urbana de Bagé, que tem abastecimento urbano realizado por empresa pública, busca por meio da perfuração de poços tubulares a captação da água subterrânea para atender a demanda gerada pelo abastecimento, bem como pelas atividades industriais, comerciais e agrícolas.

Conforme Varone et al. (2010), a análise dos totais anuais de chuva através do método dos quantis, em Bagé/RS, mostrou que eventos de secas são recorrentes na região. Entre os anos de 1912 e 1960 ocorreu a maior parte dos casos, e nas últimas três décadas, somente seis anos apresentaram valores referentes aos intervalos de secos ou muitos secos. Já a taxa de retorno de eventos de seca foi de 2,8 anos. Também foi observado que, na última década, somente dois anos (2005 e 2006) foram classificados como secos.

Conforme Lisboa et al (2004), a geomorfologia é fator de primeira ordem no modo de ocorrência das águas subterrâneas, influi no zoneamento da pluviometria, na distribuição das áreas de recarga, confinamento e descarga dos aquíferos. Existem quatro fatores geológicos fundamentais que influem nas características dos aquíferos: material (composição, textura, estruturas internas), estratigrafia (variações verticais e laterais de fácies) estruturas (falhas, diaclases, dobras, intrusões, estruturas circulares), e geomorfologia (graus de dissecação do relevo, posições altimétricas, regolito, superfície basal de intemperismo). Conforme o IBGE (1986, in Santos, 2011), a área de estudo está localizada na região Geomorfológica caracterizada por superfícies pediplanadas com área de topo plano e com fraca

atuação da drenagem. A altitude varia de 310 a 380m (média de 350m) e a declividade média é de 4%. As superfícies do Planalto Rebaixado Marginal apresentam um modelado de dissecação fluvial com densidade de drenagem fina e média, são superfícies que possuem um relevo suave ondulado a ondulado.

Na área deste estudo, ocorre o Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II, que é caracterizado por aquíferos fraturados que estão associados ao Complexo Grano-Gnáissico Bagé, sendo composto por ortognaisses e granitóides a granodioritos foliados, com megaxenólitos de rochas supracrustais (Tambara, 2013). A captação de água neste aquífero é feita por meio de poços tubulares profundos, sendo a mesma utilizada para diferentes fins (DAEB, 2018).

Conforme Machado e Freitas (2005), os aquíferos fraturados de Bagé estão associados às rochas graníticas, gnáissicas e filitos, com capacidade específica inferior a 0,5 m³/h/m, e quando os poços ocorrem em rochas graníticas podem apresentar enriquecimento em flúor.

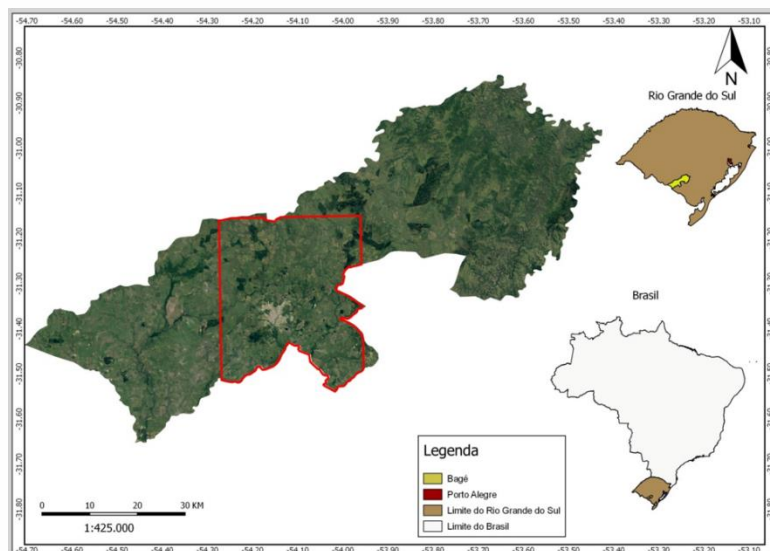
Neste tipo de associação litológica, o sistema aquífero ocorre em estruturas tectônicas (fraturas e falhas), que podem ser conectadas, bem como compartimentadas pelos grandes lineamentos ocorrentes na região estudada. Com isso, a circulação da água subterrânea vai estar condicionada a ocorrência destas estruturas e de suas características (MACHADO; FREITAS, 2005).

Sendo assim, este estudo teve por objetivo fazer uma análise e avaliação da ocorrência de compartimentos estruturais, que podem ter influência nos processos de formação dos aquíferos fraturados e da capacidade de produção dos poços tubulares. Essa avaliação foi realizada por meio da integração dos dados estruturais (lineamentos morfoestruturais), análise geomorfológica e hidrogeológica (capacidade específica e vazão).

Localização e Caracterização da Área de Estudo

O município de Bagé está localizado na região sudoeste do Rio Grande do Sul, sendo que sua economia, conforme informações da Prefeitura municipal de Bagé, está centrada principalmente na agricultura, na pecuária, e no desenvolvimento de atividades industriais (predominantemente do benefício de laticínios) e comerciais (Figura 1).

Figura 1- Localização do município de Bagé com os limites da área de estudo delineados em vermelho.



Fonte: elaborada pelos autores.

Com base na Geomorfologia, a área está inserida em duas principais unidades (IBGE, 1995), a Depressão Central Gaúcha e o Planalto de Caçapava do Sul. A Depressão Central Gaúcha consiste em vasta depressão periférica suportada por rochas da sequência permotriássica da Bacia do Paraná. O Planalto de Caçapava do Sul se caracteriza por um vasto arqueamento crustal, gerando um planalto desnudado em formato dômico ou uma paleoabóboda (AB'SABER, 1998), regionalmente englobado na denominada Campanha Gaúcha.

Conforme Camozzato et al (2014), a região de estudo é composta pelo Complexo Granítico-Gnaissico Bagé (ortognaisses e granitóides monzo a granodioríticos foliados, com megaxenofilitos de rochas supracrustais) e a Formação Santo

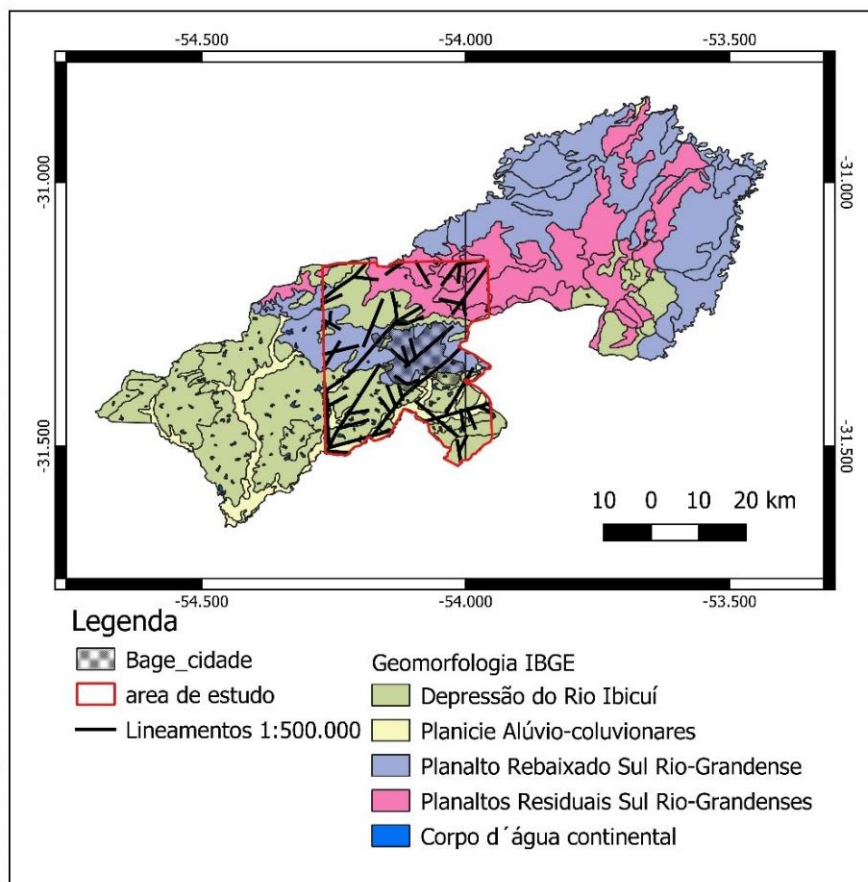
Afonso (granodioritos e monzogranitos dominantes, com sienogranitos e tonalitos subordinado). Também há ocorrência de rochas sedimentares que estão associadas as formações geológicas Rio Bonito, Palermo, Irati e Santa Tecla, bem como depósitos aluviais (FREITAS, 2010).

De acordo com Trainini et al. (2005), a hidrogeologia da região de estudo é caracterizada pela ocorrência do Aquicludo Eo-Proterozóico (poços secos ou com vazões insignificantes), do Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II (aquíferos limitados de baixa possibilidade para ocorrência de água subterrânea), dos Aquitardos Permianos e do Sistema Aquífero Palermo/Rio Bonito. Esse último sistema é considerado como aquíferos com baixa a média possibilidade para ocorrência de água subterrânea, sendo que as capacidades específicas são inferiores a 0,5 m³/h/m e as salinidades variam entre 800 e 1500mg/l (em grandes profundidades as águas podem apresentar sólidos totais dissolvidos superiores a 10.000 mg/l). Em função disso, o Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II passa a ser o principal sistema, que é utilizado na região de ocorrência do município de Bagé.

Geomorfologia

Geomorfológicamente, a região do município de Bagé, e a área de estudo, compreendem quatro unidades, sendo elas o Planalto Residual Sul Rio-grandense, Planalto Rebaixado Sul Rio-grandense, Planície Aluvial-colvionares e Depressão do Rio Ibicuí (Figura 2).

Figura 2: Mapa Geomorfológico do município de Bagé, com destaque para a área de estudo (IBGE, 2019).

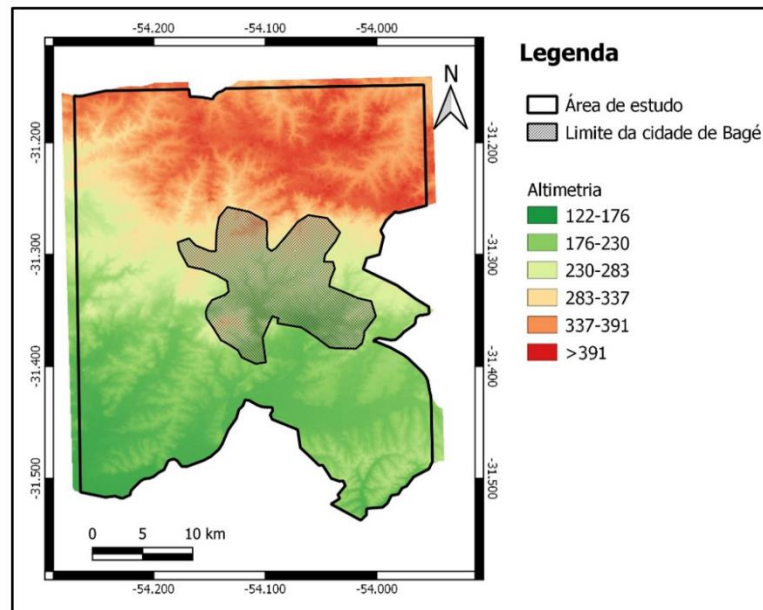


Fonte: adaptado pelos autores.

Na área de estudo ocorre um predomínio da direção NE para os maiores lineamentos reconhecidos na escala 1:500.000. Os lineamentos menores ocorrem predominantemente na direção geral NW.

Conforme o IBGE (2019), o Planalto Residual Sul Rio-grandense apresenta altitudes gerais que variam de 200 a 400 m (Figura 3). Se caracteriza por um relevo dissecado com topos predominantemente convexos, ocorrendo isoladamente topos planos, remanescentes de uma antiga superfície de aplainamento. Presença de alguns topos aguçados, vales estruturais e escarpas de falha, evidenciando influência litológica/estrutural. Relevo esculpido em rochas ígneas e metamórficas, pertencentes ao Escudo Sul Rio-Grandense, sendo o principal processo formador a dissecação homogênea.

Figura 3: Mapa altimétrico da área de estudo.



Fonte: adaptado pelos autores.

O Planalto Rebaixado Sul Rio-grandense (IBGE, 2019) apresenta altitudes gerais que variam de 100 a 200 m. Sua característica geral é de um relevo dissecado com topos predominantemente. Presença de algumas linhas de cumeada e barras de relevo dobrado, fortemente influenciadas pela estrutura geológica. Formas residuais do tipo pontão disseminadas por toda unidade. Eventualmente ocorrem morros testemunhos. Predominam solos de profundidade média de 1 a 2 m, dos tipos Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo, textura média e argilosa. Nas áreas de maior declive, ocorrência de solos rasos com menos que 1 m, do tipo Neossolo Litólico, e presença de alguns afloramentos. Relevo resultante da dissecação generalizada de rochas pré-cambrianas, pertencentes ao Escudo Sul Rio-Grandense.

Segundo o IBGE (2019), a Planície Aluvial-coluvionare apresenta altitudes gerais que variam de 5 a 20 m. Sua característica geral são superfícies de terras baixas, levemente inclinada para o leste, podendo apresentar pequenas rampas em alguns pontos. No contato com os planaltos, presença de vários leques de espriamento e cones de dejeção. Estes terrenos foram formados por processos fluviais e gravitacionais. Na porção

sudoeste da unidade predominam processos fluviais, responsáveis pelo transporte e acumulação de material proveniente dos planaltos adjacentes, dando origem a depósitos de enxurrada. Na parte norte, ao pé da Serra Geral, predominam processos gravitacionais do tipo rápido (deslizamentos), gerando depósitos grosseiros (tálus).

A Depressão do Rio Ibicuí (IBGE, 2019) apresenta altitudes gerais que variam de 100 a 200 m. Sua característica geral é um relevo com formas alongadas de topo convexo ou plano e encostas com baixa declividade. Altitude raramente superior a 200 m. Em alguns locais, ocorrência de dissecação mais intensa e encostas mais íngremes. Caracterização geral das formações superficiais compreende solos de profundidade média, de 1 a 1,5 m, dos tipos Chernossolo e Argissolo com textura argilosa. Estes são terrenos sedimentares dissecados pela rede de drenagem comandada pelo rio Ibicuí.

Estas informações são importantes para compreender se as estruturas estão relacionadas com áreas de carga ou recarga. Como foi possível evidenciar, o município de Bagé apresenta uma relação horizontal/vertical de suas elevações, pouco variada para distâncias horizontais de quilômetros e verticais em metros. Assim, a região se apresenta como relativamente plana com poucas variações verticais.

A área de estudo apresenta, em sua maior distância no sentido SW-NE, uma variação horizontal de 47,7 km para 215 m na vertical. Assim, se comportando como uma região relativamente plana e as estruturas interpretadas, nos dados SRTM, ocorrem encaixadas em vales e regiões baixa.

Abordagem metodológica

Sabendo-se da variedade de litologias, ocorrentes na área de estudo, e suas diferentes resistências aos agentes intempéricos, a primeira metodologia aplicada para os estudos relacionais a influência estrutural foi a análise de feições lineares (negativas). Os lineamentos negativos constituem trechos

retilíneos de canais de drenagem (O'Leary et al., 1976). Conforme Soares; Fiori (1976), a análise da rede de drenagem fornece informações importantes sobre a estrutura geológica e comportamento das estruturas, pois o padrão das drenagens é particularmente sensível e condicionado à estas estruturas.

Esta análise é muito utilizada para os lineamentos (negativos ou positivos), pois podem representar os reflexos dos fenômenos de subsuperfície associados com o movimento diferencial de blocos falhados ou fraturados da ordem de milímetros a quilômetros (Andrade Filho; Fonseca, 2009). O movimento dos blocos pode ser observado através do deslocamento lateral de zonas homólogas, rupturas e arrastos das feições lineares ao longo destes alinhamentos (Sant'Anna; Santos, 1996). O azimute dos lineamentos positivos e negativos pode estar correlacionado com a orientação de estruturas tectônicas regionais reconhecidas (Lima; Pontelli, 2013). Assim, se destacam as imagens de radar, pois a análise dessas imagens permite associar feições do relevo e áreas de sombra, devido ao azimute de iluminação solar e os demais elementos indicativos de lineamentos estruturais, como o padrão de drenagem (Andrade Filho; Fonseca, 2009). Desta forma, a análise dessas feições pode ajudar no entendimento do comportamento morfoestrutural de uma área a ser estudada.

Para a extração dos lineamentos morfoestruturais, foram utilizadas as imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission - NASA), com resolução de 30m (USGS). Após o download das imagens, foi gerado o modelo de elevação do terreno nas escalas 1:1.000.000, 1:500.000 e 1:250.000, obtidas a partir do software QGIS. Para a interpretação e extração das estruturas foi utilizada a técnica de falsa iluminação, nas direções NW e NE, tendo gerado imagens de relevo sombreado com azimute de 45° e 315° (Santos et al., 2006). Os diagramas de rosetas dos lineamentos positivos e negativos foram gerados no software Spring 5. 5. 1.

O levantamento de dados hidrogeológicos resultou na identificação de 257 poços tubulares, sendo que 174 destes possuíam dados do teste de bombeamento, que foram utilizadas na avaliação dos dados de produtividade dos poços. A

identificação e cadastro de poços foi feita junto ao DRH/FEPAM (Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria Estadual do Meio Ambiente), Corsan (Companhia Riograndense de Saneamento), SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) e empresas de perfuração (Hidrogeo e Georepp). Para a avaliação da produção dos poços, foram utilizados os parâmetros de capacidade específica e vazão.

A compartimentação hidrogeológica foi realizada a partir das morfoestruturas interpretadas, em diferentes escalas, mas principalmente na escala 1:1.000.000, onde foi possível evidenciar a sua continuidade.

Foram gerados os mapas de vazão e capacidade específica, que foram cruzados com os dados dos compartimentos estruturais para avaliar a relação desses compartimentos com os dados dos poços.

Resultados

Análise e Interpretação de Lineamentos Morfoestruturais

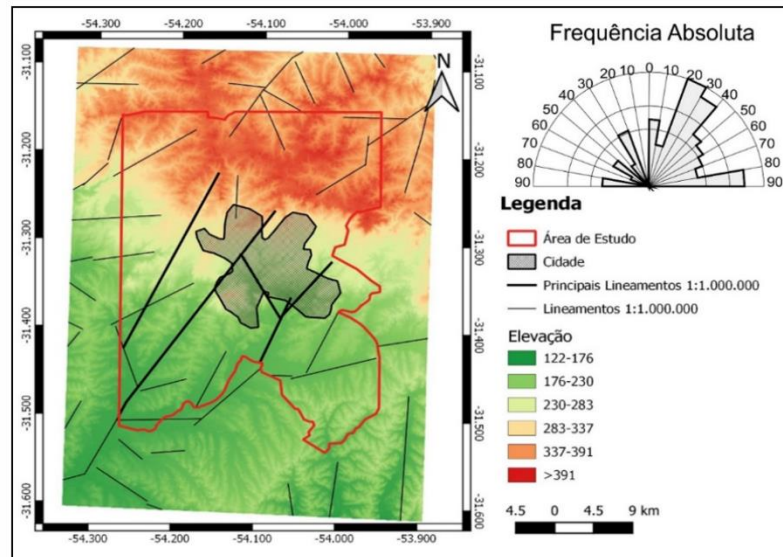
O Modelo de Elevação do Terreno (MET) foi utilizado com a finalidade de compreender as variações do relevo e identificar a ocorrência de lineamentos morfoestruturais. Conforme o modelo (Figura 4), as variações ocorrem no intervalo de 122 a 391 m, sendo as maiores elevações na porção norte e com declive suave.

Lineamentos em escala 1:1.000.000

Na interpretação dos lineamentos negativos do mapa em escala 1:1.000.000 (Figura 4), foram identificados 57 lineamentos, com maior destaque para aqueles com direção NE (N20-40E), seguida de ENE (N80-90E), com ocorrências secundárias NNE (N0-10E) e NW (N30-40W e N60-70W), conforme o diagrama da frequência acumulada. Assim, foi possível observar que ocorrem 14 lineamentos na área de estudo com 10 a 30km, com predomínio de suas direções para Nordeste.

Segundo estas informações, foi possível identificar cinco lineamentos principais com extensões variando de 8,62 a 30 km, sendo estes concordantes ou encaixados em canais de baixa ordem hierárquica, como arroios.

Figura 4 - Mapa de lineamentos interpretados na escala 1:1.000.000.

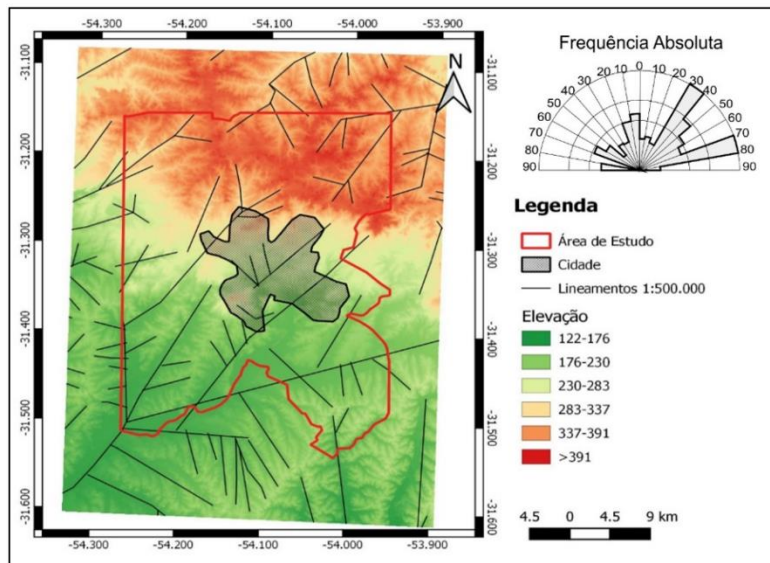


Fonte: elaborada pelos autores.

Lineamentos em escala 1:500.000

Na interpretação do mapa em escala 1:500.000, foi possível identificar 97 lineamentos negativos (Figura 5), com maior destaque para NE (N30-50E), seguida de ENE (N70-80E), com ocorrências secundárias NNW (N0-20W) e NW (N50-70W), conforme o diagrama da frequência acumulada.

Figura 5 - Mapa de lineamentos interpretados na escala 1:500.000.

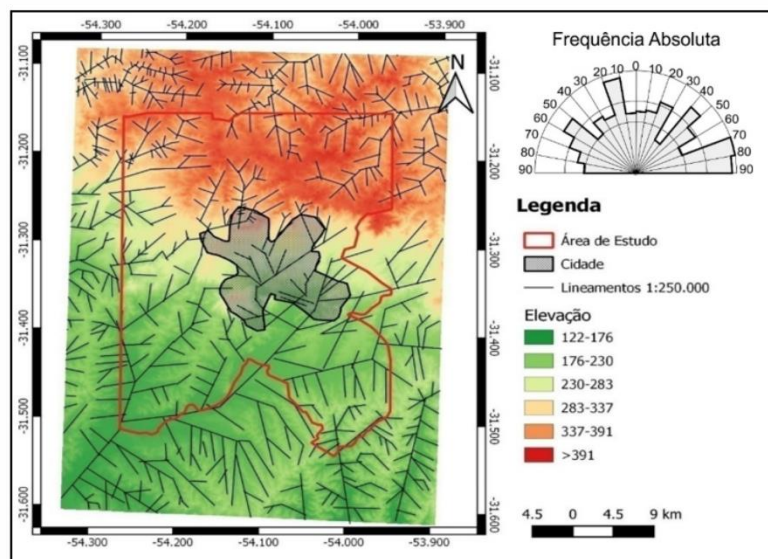


Fonte: elaborada pelos autores.

Lineamentos em escala 1:250.000

Na interpretação do mapa em escala 1:250.000, foram marcados cerca de 260 lineamentos negativos (Figura 6). Foi possível observar uma maior dispersão das direções de lineamentos, diferentemente dos mapas anteriores, além do predomínio ENE (N70-90E) e NE (N40-60E), também ocorrem com grande destaque as direções NNW (N10-20W) e NW (N50-70W), conforme o diagrama da frequência acumulada.

Figura 6 - Mapa de lineamentos interpretados na escala 1:250.000.



Fonte: elaborada pelos autores.

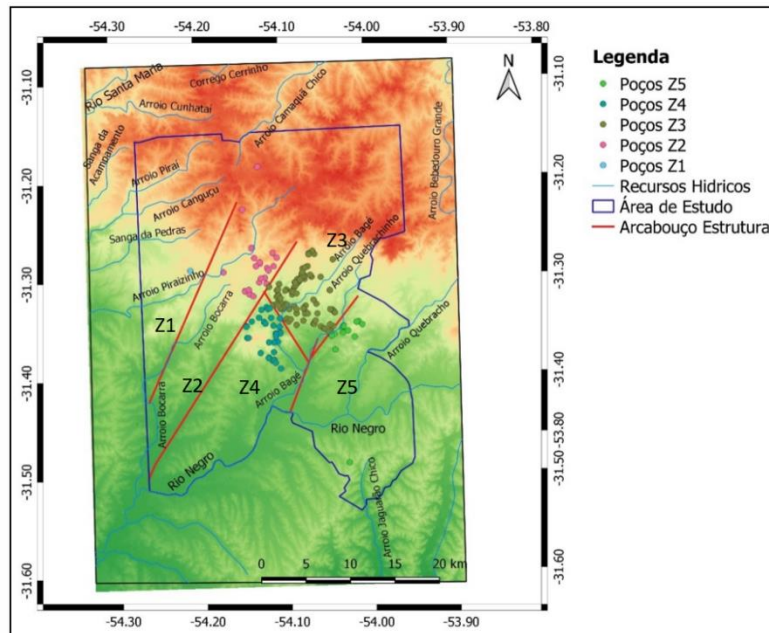
Compartimentação estrutural

A análise estrutural foi realizada com a interpretação dos lineamentos negativos das imagens SRTM na escala 1:500.000, das morfoestruturais, pois esta é melhor para o uso da compartimentação e caracterização estrutural com os dados de SRTM, para a área de estudo.

O produto apresenta predomínio de estruturas na direção NE, o que revela que esta é a principal direção estrutural na área de estudo.

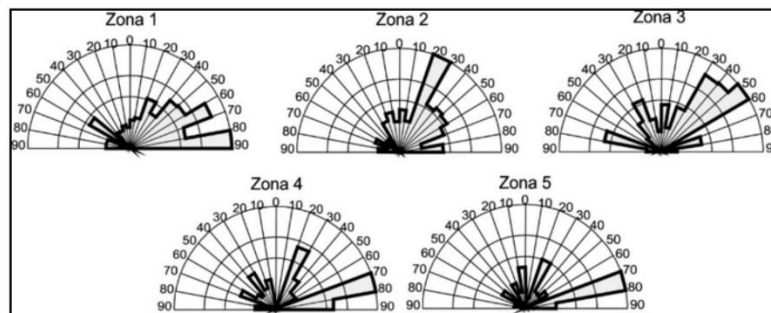
A partir da integração dos dados das imagens SRTM, foi possível evidenciar a compartimentação estrutural da área de estudo, como resultado da interpretação dos grandes lineamentos. Essa compartimentação foi definida com base nos lineamentos interpretados na escala 1:1.000.000, com isso dividindo a área em blocos denominados de zonas: Z1, Z2, Z3, Z4 e Z5 (Figura 7 e Figura 8).

Figura 7 - Mapa das Zonas Estruturais feitos com base na análise de lineamentos.



Fonte: elaborada pelos autores.

Figura 8 - Diagramas de Roseta por zonas.



Fonte: elaborada pelos autores.

A análise das diferentes zonas permitiu a identificação das seguintes características:

1. Zona 1: caracteriza-se por lineamentos de médio a pequeno porte, em relação aos que compartimentaram a área de estudo, com predomínio na direção NE (Figura 8). Os principais trends para esta porção da área de estudo são N80-90E (12 lineamentos), N60-70E (7 lineamentos) e N50-60E (4 lineamentos).
2. Zona 2: apresenta uma maior quantidade de estruturas de médio porte em relação as de pequeno porte. Esta área apresenta direção preferencial das estruturas para NE, com os principais trends para N20-30E (5 lineamentos), N40-50E (6 lineamentos) e N50-60E (4 lineamentos).
3. Zona 3: apresenta uma homogeneidade nas estruturas de médio e pequeno porte, com prodominio para a direção geral NE. As direções preferenciais são N50-60E (12 lineamentos), N40-50E (9 lineamentos) e N30-40E (8 lineamentos).
4. Zona 4: composta por predomínio de lineamentos de pequeno porte, em relação aos de médio porte. Esta área tem direção geral principal para nordeste, com os principais trends para N70-80E (12 lineamentos), N20-30E (6 lineamentos) e N80-90E (5 lineamentos).

5. Zona 5: composto principalmente por lineamentos de médio porte e secundariamente de pequeno porte. Este compartimento apresenta predomínio da direção geral nordeste, mas com um pico na direção norte-noroeste, com os principais trends para N70-80E (12 lineamentos), N20-30E (4 lineamentos) e N00-10W (3 lineamentos).

Caracterização Estrutural e Hidrogeológica das Zonas.

Com base nos dados apresentados nos itens anteriores, foi possível avaliar e caracterizar cada uma das zonas definidas, com relação aos aspectos estruturais e hidrogeológicos (figuras 6 e 7):

1. Zona 1: apresenta comportamento estrutural nordeste e predomínio para as direções N80-90E, seguido de N60-70E. Com relação a hidrogeologia, não há como fazer maiores avaliações, pois nessa área só há ocorrência de um poço que apresentou uma capacidade específica baixa de 0,005m³/h/m;
2. Zona 2: apresenta comportamento estrutural predominante para nordeste, com trend principal N20-30E. Esta se caracteriza por uma capacidade específica máxima de 6,933 m³/h/m e pela ocorrência de valores mais elevados, acima de 2m³/h/m;
3. Zona 3: composta por direção geral preferencial para nordeste, com predomínio para N50-60E, seguidas pelas orientações N40-50E e N30-40E. Essa zona é caracterizada por apresentar valores de média e mediana capacidade específica iguais a 0,411 e 0,175 m³/h/m, respectivamente. Embora a maior parte dos valores de capacidade específica seja inferior a 1m³/h/m, há ocorrência de poços que apresentam valores entre 1 e 3 m³/h/m;
4. Zona 4: caracteriza-se por estruturas gerais na direção nordeste, principalmente para N70-80E, seguidas de orientações para N20-30E. As

capacidades específicas encontradas indicam valores de média igual a 0,424 m³/h/m e de mediana igual a 0,157m³/h/m. Essa zona possui a maior distribuição de valores de capacidade específica inferiores a 1m³/h/m, mas apresenta poços com valores entre 2 e 3m³/h/m;

5. Zona 5: apresenta comportamento estrutural para nordeste, com orientações para N70-80E, seguido de outras orientações para N20-30E e N00-10W. Essa zona apresenta os maiores valores de média (0,556m³/h/m) e mediana (0,255m³/h/m) da capacidade específica. No entanto, há maior ocorrência para valores inferiores a 1m³/h/m e ausência para intervalos maiores.

Conclusão

Os métodos aqui empregados, como o levantamento de lineamentos em imagem SRTM e análise hidrogeológica e geomorfológica, permitiram compreender o padrão e o controle estrutural e a compartimentação hidrogeológica da área de estudo no Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II.

A área de estudo foi dividida em cinco compartimentos morfoestruturais e hidrogeológicos, a partir da integração dos dados superficiais (SRTM), através do reconhecimento dos grandes lineamentos. Estes dois métodos apresentaram boa correlação dos lineamentos morfoestruturais, mapeados nas escalas utilizadas neste trabalho, com os dados de produtividade dos poços. No entanto, apresenta pouca relação direta com a geomorfologia, visto que esta ocorre como uma região relativamente plana e as estruturas interpretadas ocorrem encaixadas em vales e regiões baixa. Desta forma, estes dados forneceram indicações de trends preferenciais que condicionam a ocorrência de aquíferos fraturados, sendo os mesmos localizados na direção geral nordeste, preferencialmente N30-40E e N70-80E, e noroeste N60-70W, mas com relação direta com os poços.

Com base na análise hidrogeológica foi possível ordenar as zonas mais favoráveis à perfuração de poços tubulares profundos. A partir da análise dos valores de capacidade específica, observa-se que as zonas que apresentam maior produtividade dos poços, são em ordem decrescente de importância as zonas 2, 3, 4, 5 e 1. Em relação a estruturas que estão associadas a poços mais produtivos, observa-se que na zona 2, localizada nas unidades geomorfológicas da Depressão do Rio Ibicuí e Planalto Rebaixado Sul Rio-Grandense, a principal orientação é N20-30E, na zona 3 é N60-70W e N50-60E, enquanto que na zona 4, as orientações são N70-80E e N20-30E e na zona 5 a principal orientação é N70-80E.

Ainda assim, compreende-se a necessidade de um reconhecimento geológico (mapeamento) de detalhe associado a métodos indiretos de investigação como eletrorresistividade ou eletromagnético para avaliar melhor as estruturas, a possibilidade de ocorrência de água subterrânea e definir no campo, os locais mais favoráveis para a perfuração de poços mais produtivos.

Referências

AB'SABER, A. N. Mega geomorfologia do território brasileiro. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 71-106.

ANDRADE FILHO, C. O.; FONSECA, L. M. G. Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM. In: **XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR**, 2009, NATAL. Anais... Natal: INPE, 2009, p. 3151-3158.

CAMOZZATO, E.; KLEIN, C.; IGLESIAS, C. M. da F. Bagé, Folha S H.21-ZD-III BAGÉ. Estado do RS. Porto Alegre: CPRM. **Carta Geológica, Escala 1:100.000**. Programa Geologia do Brasil - PGB. 2014.

DAEB – **Departamento de Água, Arroio e Esgoto de Bagé**. Disponível em: <http://www.daeb.com.br/7/Agua.html> . Acesso em: 22/08/2018.

DRH/FEPAM – **Sistema de Outorga de Água Subterrânea do Rio Grande do Sul (SIOUT)**. Disponível em: <http://www.siout.rs.gov.br/#/> . Acesso em: 14/08/2018.

FREITAS, M. A. Recursos Hídricos Subterrâneos. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. CPRM, Porto Alegre, 71-87, 2010.

IBGE. **Mapa geomorfológico do Brasil. Escala 1:5.000.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995.

IBGE - **Banco de Informações Ambientais (BDIA)** <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home> , documento obtido em 02 de Agosto de 2019.

LIMA, J. G. G.; PONTELLI, M. E. Determinantes morfoestruturais na gênese do relevo no Planalto de Palmas (PR)/Água Doce (SC) – Sul do Brasil. **Revista de Geografia (UEL)**, Londrina, v.22, n.3. p. 81-92, 2013.

LISBOA, N.A.; DANI, N.; REMUS, M.V.D.; CASTRO, J. Síntese da Ocorrência Geológica das Águas Subterrâneas do Rio Grande do

Sul. In: **XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. 2004. Cuiabá. Anais do XIII CABAS, 2004.

MACHADO, J. L. F., FREITAS, M. A. **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**. CPRM – Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul. Escala 1: 750.000, 2005.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, D. D.; POHN, A. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **Bulletin Geological Society of America**, New York, v. 87, p. 1207-1248, 1976.

SANT'ANNA, M. V.; SANTOS, A. R. Identificação e análise de estruturas tectônicas rúpteis e rúpteis-dúcteis em parte do Quadrilátero Ferrífero e Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. In: **VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 1996, Salvador. Anais... Salvador: INPE, 1996, p. 659-662.

SANTOS, F. J. **Dinâmica espaço temporal do carbono do solo na Bacia do Arroio Piraizinho em Bagé,RS**. Pelotas, 2011.-160f. ; il.- Tese (Doutorado) –Programa de Pós- Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2011.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 32, n. 16, p. 71-104, 1976.

SANTOS, J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 7, n. 2, p. 3-12, 2006.

TAMBARA, G. B. **Geologia dos Granitóides Sanga Rasa, Terreno Taquarembó, Bagé, RS**. Trabalho de Conclusão de Curso, UFRGS, Instituto de Geociências. Porto Alegre, 75p., 2013.

TRAININI et.al. **Mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul, Escala 1: 750.000**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Poro Alegre, RS. 2005.

VARONE, F.; FERREIRA, S., ALVES, R. Análise de anos com estiagem na região de Bagé/RS. In: **IV Simpósio Internacional de Climatologia**. João Pessoa. 2010.

Publisher

Universidade Federal de Goiás. Instituto de Estudos Socioambientais. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFG.

As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores

Todos os autores realizaram substanciais contribuições científicas e intelectuais ao estudo. As tarefas de análise das imagens sombreadas (MDE), a extração de lineamentos e produção dos mapas foram realizadas pelos autores Rafael Lima Dessart e Henrique Garcia Pereira. A interpretação dos dados, correlação dos resultados, preparação e redação do manuscrito foram desenvolvidas em grupo. O autor Jacson Gosman Gomes de Lima foi responsável pela revisão crítica e ortográfica.

Rafael Lima Dessart - Formado em Geologia pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos em 2003, mestrado em Geologia pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (2009), Pós-Graduação - Especialização em Informações Espaciais Georreferenciadas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (2013) e Doutorado p Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Pesquisas Hidráulicas (2022). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Estratigrafia de Sequencias, Geofísica e SIG.

Jacson Gosman Gomes de Lima - Graduado em Geografia Licenciatura Plena e Mestre e Doutor em Geografia - linha de pesquisa Dinâmica, Utilização e Preservação do Meio Ambiente pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Membro do grupo de pesquisa Gênese e evolução de Superfícies Geomórficas e Formações Superficiais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Possui conhecimentos na área de geociências, principalmente sobre: geologia, geomorfologia, pedologia e mapeamento.

Henrique Garcia Pereira - Doutor em Geologia pela Universidade Federal do Paraná PPGG/UFPR (2021). Mestre em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho IGCE/UNESP (2015). Bacharel em Geofísica pela Universidade Federal do Pampa (2011). Atuou como geofísico de campo no setor de qualidade de dados potenciais do Grupo Georadar (2012). Possui experiência em aquisições de campo e no processamento de dados potenciais, elétricos e eletromagnéticos. Expertise na utilização do programa de processamento de dados geofísicos Oasis Montaj.

Data de recebimento: 14 de fevereiro de 2022

Aceite: 18 de julho de 2023

Publicação: 31 de agosto de 2023