

**ANÁLISE ESPACIAL DE CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DA  
FORMAÇÃO SERRA GERAL PARA A DETERMINAÇÃO DA SUA  
POTENCIALIDADE HÍDRICA**

Bianca Johann Nery <sup>1</sup>; Malva Andrea Mancuso <sup>2</sup>; Liara Jalime Vernier <sup>3</sup>

**Resumo** – Com o objetivo de identificar zonas com maior potencialidade hídrica subterrânea no aquífero fraturado da Formação Serra Geral (SASG), a noroeste do Rio Grande do Sul; foi avaliada a capacidade específica dos poços perfurados na Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea, em relação a elementos geológicos estruturais do sistema de fraturamento dos basaltos. Entre as características geológicas, foram consideradas a influência do tipo de rocha basáltica, a espessura do manto inconsolidado sobreposto, o tipo de aquífero, a direção dos lineamentos, a densidade de lineamentos e a intersecção entre os mesmos. A espacialização e análise estatística dos dados vetoriais e *raster* foi realizada por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os resultados indicam maior capacidade específica em poços sob as Fácies Paranapanema e sob o Sistema Aquífero Serra Geral I (SASG I). Não houve influência significativa em relação à espessura de manto inconsolidado, assim como em relação à densidade de lineamentos e à densidade de intersecção dos mesmos. Poços próximos a lineamentos com direção ESE-SE foram os que apresentaram maior produtividade. A aplicação deste método busca dar subsídios à perfuração de poços em zonas potencialmente produtivas de aquíferos fraturados.

**Abstract** – With the aim of identifying zones with greater groundwater productivity in the fractured aquifer of the Serra Geral Formation (SASG), at northwest of Rio Grande do Sul, it was assessed the specific capacity of pumping wells drilled in the Várzea Watershed Basin, and its relationship with geological structural features of the basalt fractured system. Among them, it was assess the effect of the rock type, the thickness of the overlying unconsolidated layer, the aquifer type, the direction of lineaments, their density and intersection between them. The areal and statistical analysis of vector and raster data were performed by mean of Geographic Information System (GIS). From the results, were found that wells in Paranapanema Facies and in Serra Geral I Aquifer System (SASG I) have higher specific capacity. There was no significant influence related to the thickness of the unconsolidated overburden layer, and to the density of lineaments and the density of intersections. The highest specific capacity were found in wells located nearby lineaments with ESE-SE direction. The application of this method seeks to provide subsidies for drilling wells in potentially productive zones of fractured aquifers.

**Palavras-Chave** – Aquíferos fraturados; água subterrânea; lineamentos estruturais; Sistema de Informação Geográfica (SIG).

---

<sup>1</sup> Engenheira, Universidade Federal de Santa Maria, (51) 993849551, biancajohannnery@gmail.com

<sup>2</sup> Professora do Programa de Mestrado e Doutorado em Engenharia Ambiental, PhD, Universidade Federal de Santa Maria, (55) 3744-8964, malvamancuso@ufsm.br

<sup>3</sup> Engenheira, Mestre, Universidade Federal de Santa Maria, (55) 9216-6290, liaravernier@outlook.com

## 1. INTRODUÇÃO

O abastecimento de água por meio do uso de recursos hídricos subterrâneos é extremamente importante para a realidade do estado do Rio Grande do Sul. Pesquisas realizadas em 2015, indicam que mais de 90% das captações de água para abastecimento do estado são realizadas por meio de poços profundos e rasos (IBGE 2015). A precariedade nos atendimentos dos serviços públicos e na distribuição de água potável em zonas rurais e afastadas dos centros urbanos, a melhor qualidade das águas subterrâneas, a deterioração da qualidade dos recursos hídricos superficiais e a vulnerabilidade das reservas superficiais nos períodos de estiagem, são alguns dos principais pontos que contribuem para a utilização de águas subterrâneas como principal fonte de abastecimento dos municípios interioranos (FORMENTINI, MANCUSO e FILHO, 2016; SCHROEDER, 2014; ECOPLAN, 2008, SANTOS, MEDEIROS e MANCUSO, 2020).

A Formação Serra Geral recobre 137.000 km<sup>2</sup> do estado do Rio Grande do Sul (aproximadamente 50% da sua área). O maciço rochoso constitui o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), que representa o único aquífero da Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea (com 9.479 km<sup>2</sup>), área objeto deste estudo (Figura 1). Nas rochas basálticas a porosidade secundária, por fraturas, permite o armazenamento e a circulação das águas subterrâneas em condições naturais (AZEVEDO, ALBUQUERQUE FILHO e MANCUSO, 2018; FERREIRA, 2007). Essa porosidade é caracterizada pela presença de rupturas, fissuras e fraturas que controlam o fluxo das águas subterrâneas entre as rochas (UNESCO, 1999).

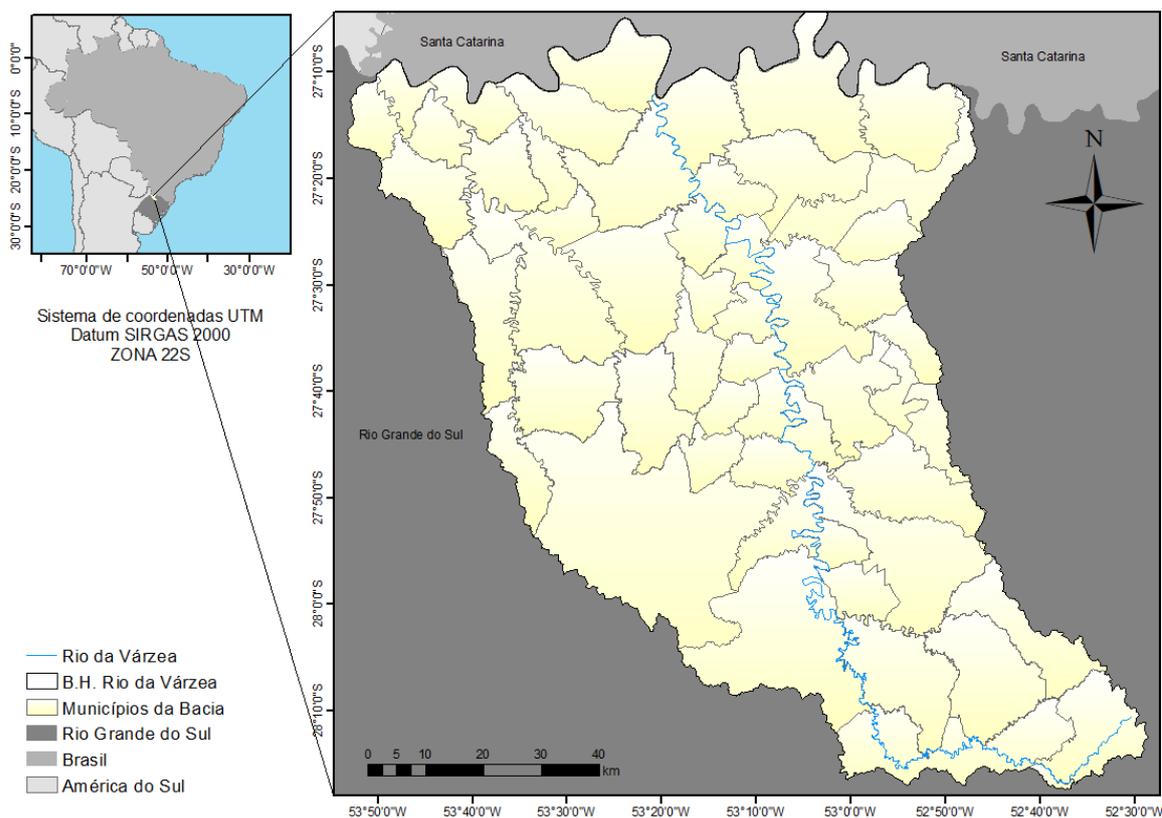


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea no estado do Rio Grande do Sul

A recarga do SASG ocorre principalmente por infiltração da água de precipitação, que penetra pelo perfil do solo por ação da gravidade, até atingir as zonas de fragilidade da rocha recarregando a fona fraturada do sistema subterrâneo. Esse mecanismo armazena água doce que pode ser acessível para exploração, tanto do ponto de vista financeiro, quanto tecnológico.

O armazenamento de água do aquífero estará em equilíbrio sempre e quando as descargas sejam igualadas à recarga. No entanto, a magnitude dessa recarga dependerá das condições de fatores climáticos, de aspectos geológicos, do uso e ocupação do solo, entre outros. Em aquíferos

confinados se observam condições mais lentas e limitadas de recarga do que em aquífero livres (REBOUÇAS, 2008). Além disso, a quantidade da recarga também é influenciada pelas características estruturais do arcabouço geológico (PASINI, et al., 2022), assim como a qualidade das águas. Esses fatores no conjunto, definem, em parte, a potencialidade para o abastecimento (MANCUSO e SANTOS, 2021).

As estruturas das rochas do aquífero fraturado são superfícies frequentemente planares, que se formam principalmente como respostas às pressões as quais a rocha é submetida. Quando as fraturas e foliações afloram à superfície do terreno, com mergulhos acentuados, traços retilíneos e um tanto curvos, são denominados de lineamentos. Estes se constituem em feições morfológicas, tais como drenagens, quebras no terreno e topos de morros; que podem ser identificadas por meio de fotos aéreas ou imagens de satélite (FERNANDES et. al., 2005). É comum, na maioria dos estudos de rochas ígneas e metamórficas, a observação de lineamentos como método essencial da análise hidrogeológica (REBOUÇAS e FRAGA, 1988).

De acordo com Waters et. al. (1990), apud UNESCO (1999), o termo “lineamento” deve ser utilizado para identificar feições retilíneas ou levemente curvas que possam ser verificadas em mapas e imagens de satélite de uma dada área. Estes lineamentos podem indicar relação com aspectos geológicos, como feições erosivas, falhas, fraturas, contatos entre diferentes litotipos e diques, que por sua vez podem condicionar parâmetros hidrogeológicos.

Fernandes et. al. (2005) identificaram fraturas existentes em aquíferos fraturados do Estado de São Paulo, elaborando um mapa de lineamentos. Para isso, as feições foram traçadas sobre imagens de satélite e sobre modelo digital de elevação (MDE). Descovi Filho (2015) utilizou Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a identificação de geomorfoestruturas, dentre elas os lineamentos, a partir de informações geomorfológicas e geológicas. O autor, a partir de imagem de relevo sombreado, interpretou os lineamentos da Formação Serra Geral, no estado de Santa Catarina, verificando que eles apresentaram correlação direta com estruturas penetrativas e, assim, com a rede de drenagem. Nanni (2008) determinou lineamentos em duas diferentes escalas, 1:500.000 e 1:250.000, em ambiente SIG gerando um grid em formato de modelo numérico do terreno (MNT), para identificar a densidade de fraturas na área de estudo. A correlação entre lineamentos estruturais, a potencialidade hídrica e a qualidade das águas subterrâneas do SASG na escala 1:50.000 também foi tema de estudo de Mancuso e Santos (2021).

Percebendo a demanda crescente por águas subterrâneas como fonte de abastecimento público no estado do Rio Grande do Sul e considerando a complexidade da avaliação da disponibilidade hídrica de aquíferos fraturados, como é o caso do noroeste do estado, vê-se a necessidade de propor uma metodologia de análise do potencial hidrogeológico do SASG, que permita avaliar a influência de feições estruturais da Formação Serra Geral e definir um zoneamento da capacidade específica instalada e possível de atingir nesse sistema.

Com esse objetivo, este estudo visa auxiliar na seleção de áreas para exploração do recurso e no dimensionamento dos sistemas de exploração.

## **2. SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL**

A Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea (BHRV), localizada no estado do Rio Grande do Sul, está sob os basaltos da Formação Serra Geral - Fácies Paranapanema, com manchas esparsas da Fácies Chapecó na porção nordeste e porções da Formação Tupanciretã a sul (CPRM, 2007). Caracterizando assim, os aquíferos Sistema Aquífero Serra Geral I (86,91% da área) e Sistema Aquífero Serra Geral II (13,09% da área) (CPRM, 2005).

Ao todo, a bacia conta com 1.045 poços perfurados, sendo que se encontram bombeando apenas 56,39% dos mesmos, dos quais 36,41% são utilizados para abastecimento doméstico, (CPRM, 2021).

Para identificar o potencial hidrogeológico pode ser utilizada a capacidade específica (vazão de cada poço por metro de rebaixamento do nível d'água). No Brasil, a potencialidade dos aquíferos são muito variadas, mas podem ter de 5 a 10 m<sup>3</sup>/h.m<sup>-1</sup> de capacidade específica em áreas promissoras, com vazões de 250 a mais de 500 m<sup>3</sup>/h por poço. Esse volume de água é suficiente para abastecer mais de 50 mil pessoas, com um consumo per capita de 200 L/dia (REBOUÇAS, 2008).

Mancuso e Santos (2021), avaliaram a influência do sistema de fraturas do SASG na produtividade das águas subterrâneas de Frederico Westphalen, maior município da BHRV, verificando que poços que interceptam mais de uma zona de fraturas contam com maior produtividade (19,8 m<sup>3</sup>/h/m de capacidade específica), assim como poços próximos a grandes lineamentos, contam como maior vazão e capacidade específica em relação a poços próximos a lineamentos pouco expressivos. Em relação à qualidade da água, observa-se a ocorrência de flúor em poços de abastecimento público de alguns municípios da BHRV sendo verificado que 14% das amostras de água obtidas no âmbito do programa VIGIFLUOR, entre 2010 e 2012, apresentaram concentrações acima do VMP desse elemento (SCHROEDER, 2014). Analisando flúor, sódio, sulfatos, cloretos e condutividade elétrica das águas subterrâneas do SASG, na BHRV, Formentini (2016) encontrou que 35 amostras apresentavam valores acima do VMP segundo a Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

### 3. PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A DETERMINAÇÃO DE POTENCIALIDADE HÍDRICA QUANTITATIVA EM AQUÍFEROS FRATURADOS

Um banco de dados com todas as informações pertencentes aos poços perfurados na BHRV foi elaborado a partir da base de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) (CPRM 2021), de consultas bibliográficas e de coleta de informação de sites como a ANA, IBGE e HIDROWEB – SNIRH e de bibliotecas. Esse banco de dados permitiu a construção de uma tabela única em *Excel* com informações quali-quantitativas de poços selecionados, o que possibilitou a confecção de arquivos do tipo *shapefile* de cada informação hidrogeológica, assim como a sua espacialização com auxílio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Para identificar a potencialidade hidrogeológica da área de estudo a nível quantitativo, a informação de produtividade de poços (representada pela capacidade específica dos mesmos e vazão de exploração m<sup>3</sup>/h) foi avaliada estatisticamente em relação aos fatores: tipo de rocha e tipo de aquífero (CPRM, 2007; 2005); espessura de manto inconsolidado (CPRM, 2015) e lineamentos (traçados no âmbito deste estudo), tal como descrito na Tabela 1.

Foram separadas as capacidades específicas de cada classe e calculadas as medianas (valor central), além de construídas as curvas de distribuição acumulada, com o objetivo de avaliar o comportamento da capacidade específica em cada classe.

Tabela 4. Fatores utilizados para a avaliação da variação da capacidade específica dos poços em relação às características geológicas e hidrogeológicas do meio

Fator Analisado	Característica Geológica e Hidrogeológica do Meio (classe)
Tipo de rocha	Formação Tupanciretã Fáceis Chapecó Fáceis Paranapanema
Espessura de material inconsolidado	Pouco espesso ou ausente (>1 m a 1,5 m) Espessura intermediária (>1,5 m a 2 m) Espesso (>2 m a 2,5 m) Muito espesso (>2,5 m)
Lineamentos / Fraturas	Densidade de lineamentos por direção (em metros) por quadrante de 5 km de lado; Densidade de intersecção de lineamentos (combinações possíveis entre as diversas direções) em número de intersecções a cada 5 km <sup>2</sup> ; Direção de lineamentos.
Aquíferos	Sistema Aquífero Serra Geral I Sistema Aquífero Serra Geral II

#### 3.1. Lineamentos estruturais

A identificação dos lineamentos na área de estudo, foi realizada por meio da utilização de um modelo digital de elevação (MDE) compreendendo a totalidade da área, com resolução espacial de 1 segundo de arco (30 m) obtido a partir do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM)

(USGS, 2021). Recortou-se a imagem tipo *raster* com um buffer de 10 km do perímetro da BHRV, para auxiliar a análise visual de identificação dos lineamentos. Então a imagem foi reprojeta para SIRGAS 2000/ UTM 22S e gerou-se imagens sombreadas sob a área, buscando facilitar a percepção visual dos lineamentos. Foram geradas 5 imagens sombreadas testes diferindo entre si a nível de insolação (ins) e grau de azimute (az) (az: 360°, ins: 10°; az: 315°, ins: 10°; az: 315°, ins: 15°; az: 315°, ins: 20°; az: 45°, ins: 10°).

Após a análise visual de diferentes angulações de azimute e posição solar, a fim de encontrar qual a melhor combinação de ambos para determinação dos lineamentos, optou-se por trabalhar com a posição solar de 10° e azimute de 315°. Foram definidas em 1:50.000 e 1:100.000 as escalas de interpretação e vetorização dos lineamentos. Após o traçado dos lineamentos, foi definido um buffer de 10 km em torno dos mesmos. Também, a partir da base vetorial de Estruturas do Estado do Rio Grande do Sul, na escala 1:750.000 (CPRM, 2015) foram incluídas as estruturas maiores que estão inseridas na bacia.

Para definir as principais direções dos lineamentos foi utilizada a calculadora de campo QGIS Brasil (2017), que gera um diagrama de rosetas por meio do complemento *Line Direction Histogram*.

### 3.1.1 Densidade de intersecção e densidade de lineamentos

Após a determinação dos lineamentos, com o auxílio de *softwares* de SIG, foram gerados os mapas de densidades de lineamentos por direção. Para isso, foram somatizados os comprimentos dos lineamentos em cada uma das direções obtidas a partir do diagrama de rosetas e estes foram divididos por células quadradas de 5 x 5 km, ou seja, comprimento em km dividido por área em km<sup>2</sup>, ao longo de toda a área da bacia. A análise dos dados foi realizada com a ferramenta *Line Density* do *software* ArcGis 10.30 que resultou em um mapa de densidade de lineamentos por direção, com escalas de densidades variando de 0 a 2000.

O cálculo da densidade de intersecções dos lineamentos, por quadrícula (5 x 5 km), para as diferentes combinações de direções, foi realizada com o auxílio da ferramenta *Kernel Density* do mesmo *software* (número total de intersecções entre os lineamentos por área em km<sup>2</sup>), que permitiu a confecção de um mapa de densidade de intersecções de lineamentos

A partir da determinação das direções dos lineamentos, foi avaliada a influência das mesmas na capacidade específica dos poços próximos. Para isso uma malha de quadrículas de 1 km<sup>2</sup> que recobre toda a área da bacia foi criada e com auxílio da ferramenta *Select By Location* os poços distantes a um raio de 1 km<sup>2</sup> dos lineamentos foram selecionados e agrupados por direção. As informações a respeito de suas capacidades específicas foram utilizadas para o cálculo de mediana e construção das curvas de distribuição acumulada.

## 4. RESULTADOS

Quanto ao tipo de rocha, foi verificado que poços sobre as Fácies Paranapanema contam com maior capacidade específica em relação a poços sobre as Fácies Chapecó (0,461 e 0,066 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente). A classe Formação Tupanciretã contou com poucas unidades de poços e por essa razão os resultados desta classe não podem ser conclusivos e comparados às demais.

Não foram verificadas diferenças significativas em relação ao fator espessura do manto inconsolidado, uma vez que as curvas de distribuição acumulada praticamente se sobrepuseram. No entanto, verificando a mediana de cada uma das classes, foi notório que poços subjacentes a espessuras intermediárias (>1,5 m a 2 m) apresentaram capacidade específica mais expressiva (0,692 m<sup>3</sup>/h/m) em relação às demais classes (0,357 para pouca espessura, 0,312 para espesso e 0,509 m<sup>3</sup>/h/m para muito espesso). Quanto ao tipo de aquífero, os poços instalados no SASG I apresentaram maior capacidade específica em relação aos poços do SASG II, o que foi evidenciado pelas curvas de distribuição acumulada e pelas medianas de 0,492 m<sup>3</sup>/h/m para o SASG I e 0,200 m<sup>3</sup>/h/m para o SASG II.

Quanto à classe de fraturas, foram identificados no total 1554 lineamentos na BHRV sendo as duas direções principais NNE–NE e NE–ENE, tendo em vista o comprimento dos lineamentos.

Na análise densidade de lineamentos por direção (considerando a existência de correlação entre os lineamentos e a densidade de fraturas no aquífero), se observam correlações positivas

com a capacidade específica para as direções WNW-NW, SSW-SW, SSE-S, SE-SSE, ESE-SE, E-ESE, NNE-NE e NE-ENE. No entanto, nenhuma dessas direções apresentou aumento nos valores das medianas da capacidade específica em correspondência ao aumento da densidade de lineamentos. As direções SE-SSE e E-ESE apresentaram correlação diretamente proporcional entre a mediana da capacidade específica e a densidade de lineamentos.

Quanto à análise de densidade de intersecções entre as direções de lineamentos, notou-se pelas curvas de distribuição acumuladas (Figura 2) que essas praticamente se sobrepõem, destacando-se a classe com densidades  $>0,1$  em função das medianas ( $0,67 \text{ m}^3/\text{h/m}$ ).

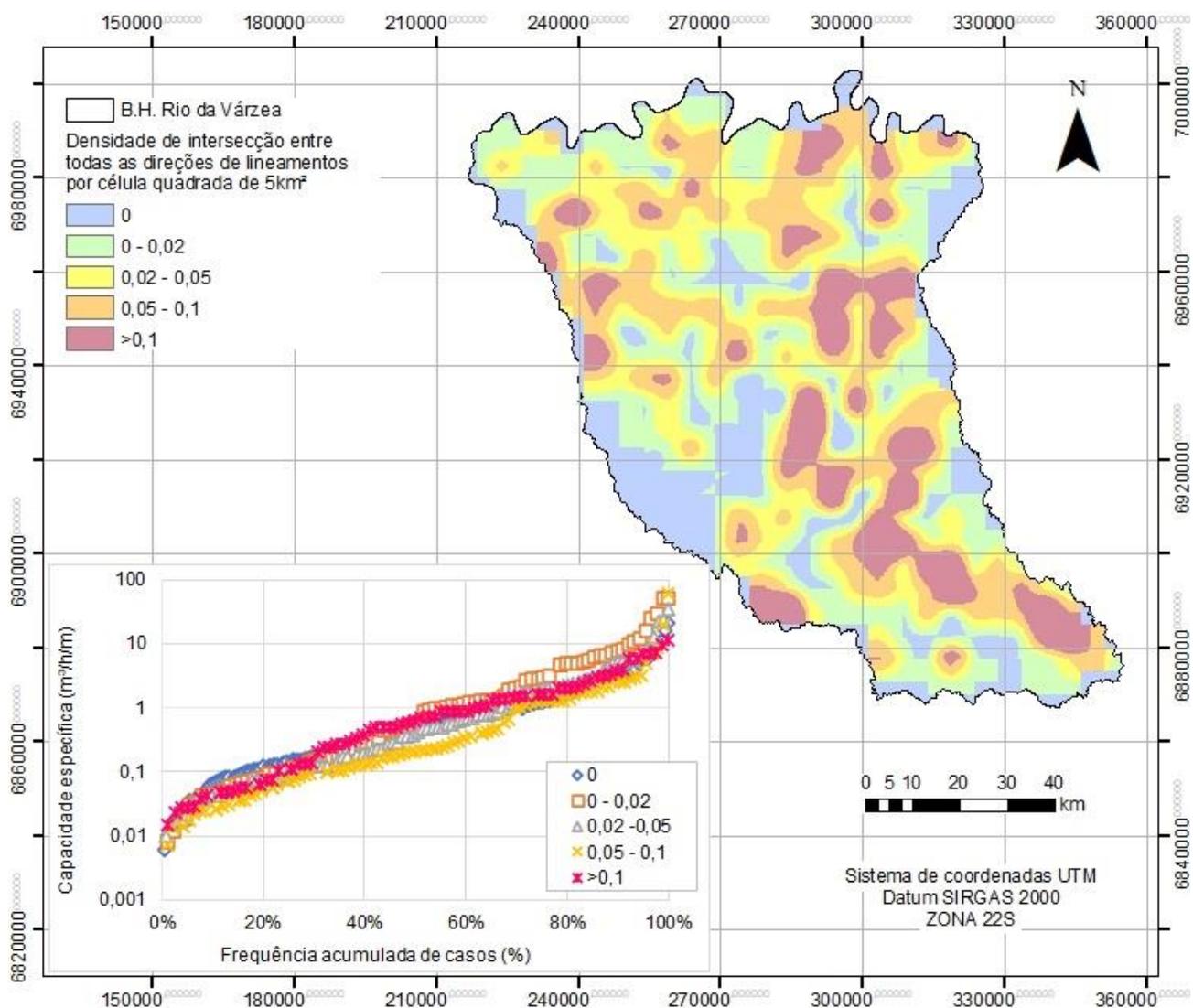


Figura 2. Distribuições acumuladas da capacidade específica de acordo com as classes de intersecção entre as direções dos lineamentos

A análise de direção de lineamentos indicou que os poços próximos aos lineamentos na direção ESE-SE apresentaram maior capacidade específica (mediana de  $2,46 \text{ m}^3/\text{h/m}$ ) em relação às demais direções. No entanto, a análise da correlação entre o comprimento dos lineamentos não indicou necessariamente uma maior capacidade específica dos poços.

## 5. CONCLUSÕES

A análise da influência dos fatores tipo de rocha, tipo de aquífero e espessura do manto inconsolidado, na capacidade específica dos poços foram promissoras em indicar a sua relação com a capacidade de produção do sistema. No entanto, a análise do fator fraturas ainda precisa de aprimoramento e testes, ficando notória a necessidade de aumentar a escala do mapeamento

de lineamentos para melhorar a análise de correlação por proximidade espacial entre os poços com dados hidrogeológicos (esparcos na área de estudo) e as feições geológicas de interesse hidrogeológico. A direção de lineamentos ESE-SE apresentou maior potencialidade hídrica, indicando a necessidade de aprofundar os estudos para propor um sombreamento de imagens que seja mais favorável à identificação dessas feições.

Outro ponto importante a se colocar é em relação a probabilidade de ocorrência de maior permeabilidade por fraturamento horizontal na BHRV, o que não foi verificado neste estudo, que utilizou a identificação de feições verticais, por imagens de satélite.

O desenvolvimento e teste desta metodologia busca auxiliar na identificação de zonas com potencial para exploração hídrica subterrânea no SASG, por meio de feições geológicas identificadas em superfície. Este tema de pesquisa se encontra em fase de desenvolvimentos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo fomento à bolsa de pesquisa de mestrado e doutorado, e ao PPGEAMB-Universidade Federal de Santa Maria pelo suporte oferecido.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. A.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; MANCUSO, M. A. (2018) “Águas subterrâneas”. in: OLIVEIRA, A. M. do S.; MONTICELI, J. J. (ed.). Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo: Tribo da Ilha, p. 181-201.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000*: 2005. Brasília: CPRM: SIAGAS, Disponível em: <[https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/5249/1/rel\\_hidro\\_RS\\_final.pdf](https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/5249/1/rel_hidro_RS_final.pdf)>. Acesso em: 30 mai. 2021.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Mapa Geológico do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000*: 2007. Brasília: CPRM: SIAGAS, Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia\\_basica/cartografia\\_regional/mapa\\_rio\\_grande\\_sul.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf)>. Acesso em: 30 mai. 2021.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Banco de dados de poços (SGB/CPRM)*: 2021. Serviço Geológico do Brasil / CPRM. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisacomplexa.php>>. Acesso em: 02 fev. 2021.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul*: 2015. Brasília: CPRM: GEOSGB. SIG (vetores). Escala 1:750.000. Disponível em: <<https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>>. Acesso em: 03 mar. 2022.

DESCOVI FILHO, L. L. V. (2015) “*Geomorfoestruturas e Compartimentação Tectônica do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral no Estado de Santa Catarina, Brasil*”. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, p. 224.

ECOPLAN (2008). “*Plano de Desenvolvimento Sustentável da Região da Bacia do Rio Uruguai: Relatório Final*”. Florianópolis/ SC- Porto Alegre/RS. 550 p.

FERNANDES, A. J. et. al. (2005) “*Aquíferos Fraturados*”. in: *Mapa das águas subterrâneas do Estado de São Paulo* (escala 1:1.000.000). São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (DAEE/IG/PT/CPRM), 2005.

FERREIRA, A. N. P. et al. (2007) “*Águas Subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido*”. 1. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.

FORMENTINI, J.; MANCUSO, M.A.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L. (2016) “Estruturação de base de dados de qualidade das águas subterrâneas voltada para a gestão da Bacia do Rio da Várzea, Rio Grande do Sul, Brasil”. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA), v.6, p.88–97.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Nacional por amostra de domicílios*: 2015. Tabela 1159 – Distribuição percentual de moradores em domicílios particulares permanentes por tipo de abastecimento de água e situação do domicílio, Brasil: IBGE. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1159#resultado>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

MANCUSO M. A.; SANTOS, C. E. (2021) “Avaliação hidrogeológica quali-quantitativa do aquífero fraturado Serra Geral, localizado no noroeste do Rio Grande do Sul”. Geologia USP. Série Científica, v. 21, p. 71-88.

NANNI, A. S. “O flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico”. (2008). Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 127.

PASINI, F.; MANCUSO, M. A.; FORTES, P. R.; BREUNIG, F. M.; FRITZEN, R. R. (2022) “Recarga de aquífero em Floresta Estacional Decidual nativa, Parque Estadual do Turvo (RS)”. Ciência Florestal (online), v. 32, p. 206-232.

QGIS BRASIL. *Filtragem de lineamentos geológicos por quadrantes no QGIS*: 2017. Disponível em: <https://qgisbrasil.org/2017/01/30/filtragem-de-lineamentos-geologicos-por-quadrantes-no-qgis/>. Acesso em: 11 jul. 2021.

REBOUÇAS, A. C. (2008) “Importância da água subterrânea”. In *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3. ed. 812 p.

REBOUÇAS, A. C.; FRAGA, C.G. (1988) “Hidrogeologia das rochas vulcânicas do Brasil” in *Revista Águas Subterrâneas*, nº. 12, Vol. 1, p. 29-55.

REGINATO, P. A. R. (2003) “Integração de dados geológicos para prospecção de aquíferos fraturados em trecho da bacia hidrográfica Taquari-Antas (RS)” Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.254.

SANTOS, C. E; MEDEIROS, R. C.; MANCUSO, M. A. (2020) “Água subterrânea dos poços da área rural de Frederico Westphalen-RS: qualidade, aspectos ambientais e conformidade legal”. ANUÁRIO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS (UFRJ. IMPRESSO). v.43, p.330-340.

SCHROEDER, J. K. (2014). “Avaliação da ocorrência do íon fluoreto em águas do Aquífero Serra Geral utilizadas para o abastecimento público na região noroeste do Rio Grande do Sul”, Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa Maria, 64 p.

UNESCO. *Studies and reports in hydrology*, UNESCO, Paris, 1999. 284 p.

USGS, United States Geological Survey. *Earth Explorer*. SRTM – Shuttle Radar Topography Mission. Washington, NASA-USGS. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 08 jul. 2021.