



Contexto Hidrogeológico e sua Relação com a Tectônica do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí, RS
Hydrogeological Context and its Relationship with the Tectonic of the Serra Geral Aquifer System in the Ijuí River Basin, Rio Grande do Sul State

Leonardo Cassol Tomasi¹ & Arí Roisenberg²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43126, Sala 103, 91501-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,

Avenida Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43126, Sala 103, 91501-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

E-mails: leonardo.tomasi@geolac.com.br; ari.roisenberg@ufrgs.br

Recebido em: 23/10/2018 Aprovado em: 16/02/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_40_49

Resumo

Este estudo teve como objetivo integrar dados hidrogeológicos do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí, Noroeste do Rio Grande do Sul, de modo a reconhecer características que permitam aprimorar o entendimento da tectônica rúptil do SASG, bem como explorar a existência de relações entre as estruturas geológicas e a produtividade dos poços nele instalados. A metodologia utilizada na caracterização estrutural compreendeu a compilação de dados hidrogeológicos de poços tubulares, mapeamento de lineamentos tectônicos através de imagens de satélite, confecção de mapas temáticos e análises estatísticas. Os resultados demonstram que os lineamentos de médio porte (2-4 km) predominam na Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí, com direções preferenciais NE-E e N-NE, distribuindo-se principalmente nas porções centro e oeste da bacia, enquanto que o setor leste é dominado por lineamentos de grande porte (> 4 km). Quanto à produtividade, aproximadamente 80% dos poços possuem capacidades específicas inferiores a 2,0 m³h⁻¹m⁻¹. Adicionalmente, foi observada a existência de correlação positiva entre as zonas de alta densidade de lineamentos, geralmente associadas a estruturas de grande porte, e os poços com as maiores vazões.

Palavras-chave: Sistema Aquífero Serra Geral; SASG; Tectônica; Capacidade específica; Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí

Abstract

This study aimed to integrate hydrogeological data from the Serra Geral Aquifer System (SGAS) in the Ijuí River Basin in the Northwest of Rio Grande do Sul, Brazil, in order to recognize characteristics that permit an improvement in the understanding of the SGAS tectonics, as well as to explore relationships between the geological structures and the water wells' productivity. The methodology used in the structural characterization included assembling of hydrogeological data from wells, tectonic lineaments mapping through satellite images, creation of thematic maps and statistical analyses. The results demonstrate that the medium-sized (2-4 km) lineaments predominate in the Ijuí River Basin, with NE-E and N-NE preferential directions, primarily distributed in the central and western portions of the basin, whilst the eastern sector is dominated by large lineaments (> 4 km). Regarding well productivity, approximately 80% of the wells have specific capacity below 2.0 m³h⁻¹m⁻¹. In addition, a positive correlation was observed between the areas with a high density of lineaments, generally associated with large structures, and the wells with the highest flow rates.

Keywords: Serra Geral Aquifer System; SGAS/SASG; Tectonics; Specific Capacity; Ijuí River Basin

1 Introdução

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) é uma das principais unidades hidroestratigráficas existentes no Sul do Brasil, principalmente em razão do vasto território que abrange e por ser utilizado como fonte de abastecimento de águas subterrâneas em diversos municípios e estados. O SASG é classificado como um aquífero fraturado no qual o armazenamento e a circulação de suas águas ocorre por meio de descontinuidades existentes no pacote vulcânico, tais como falhas e fraturas.

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de integrar dados de poços tubulares profundos disponibilizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), de modo a reconhecer características que permitam aprimorar o entendimento da tectônica rúptil do SASG, bem como explorar a existência de relações entre as estruturas geológicas e a produtividade dos poços nele instalados.

A área de estudo compreende a extensão integral da Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí (Figura 1), cujo território perfaz 10.703 km², abrangendo um total de 36 municípios. A bacia está localizada a norte-noroeste do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 28°00' a 29°05' de latitude Sul e 53°11' a 55°21' de longitude Oeste, e seus principais cursos de água são os rios Ijuí, Ijuizinho, Conceição, Caxambu e Potiribu.

2 Geologia & Hidrogeologia

A área em estudo está assentada sobre as rochas do Grupo São Bento (Mesozoico), ao sul da Bacia do Paraná. Este grupo litológico é composto pelos arenitos da Formação Botucatu (Juro-Cretáceo) e pela Formação Serra Geral (Cretáceo), constituída por rochas vulcânicas. De extensão mais limitada, ocorrem rochas cenozoicas da Formação Tupanciretã (Paleógeno) ao sul da bacia hidrográfica. O mapa geológico da região de estudo é apresentado a seguir, na Figura 2.

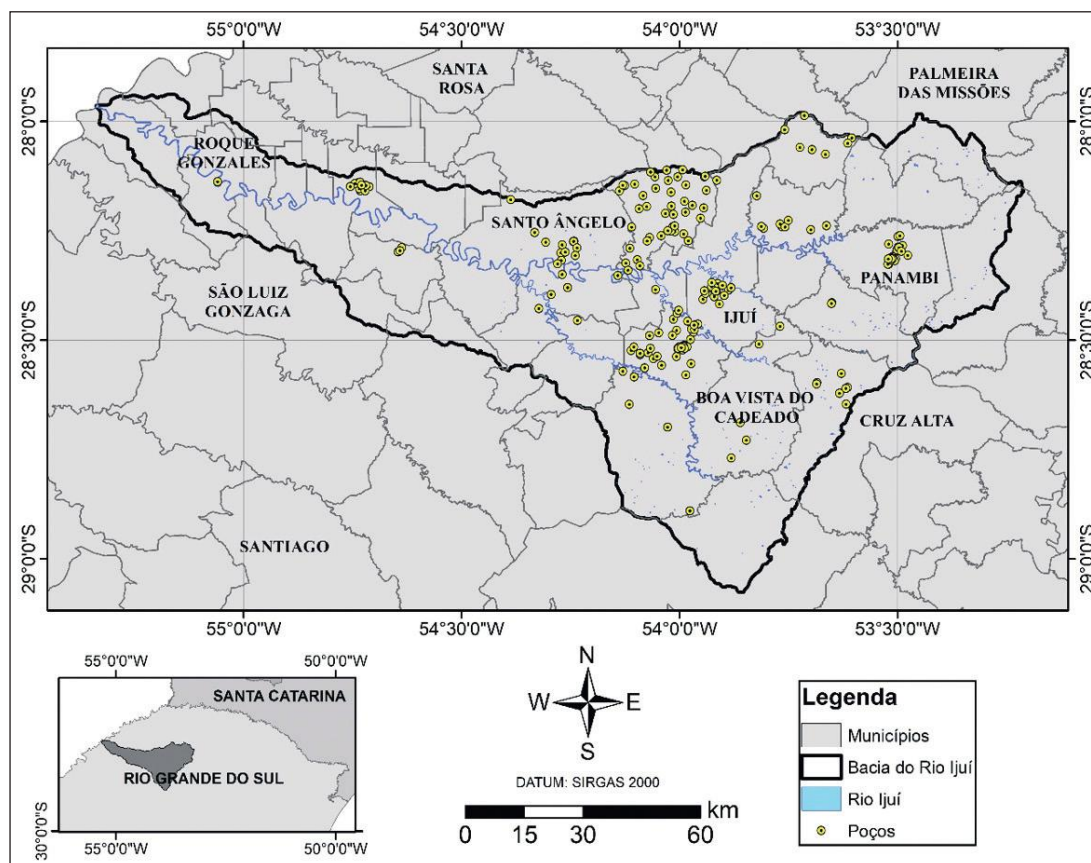


Figura 1 Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí e dos poços avaliados.

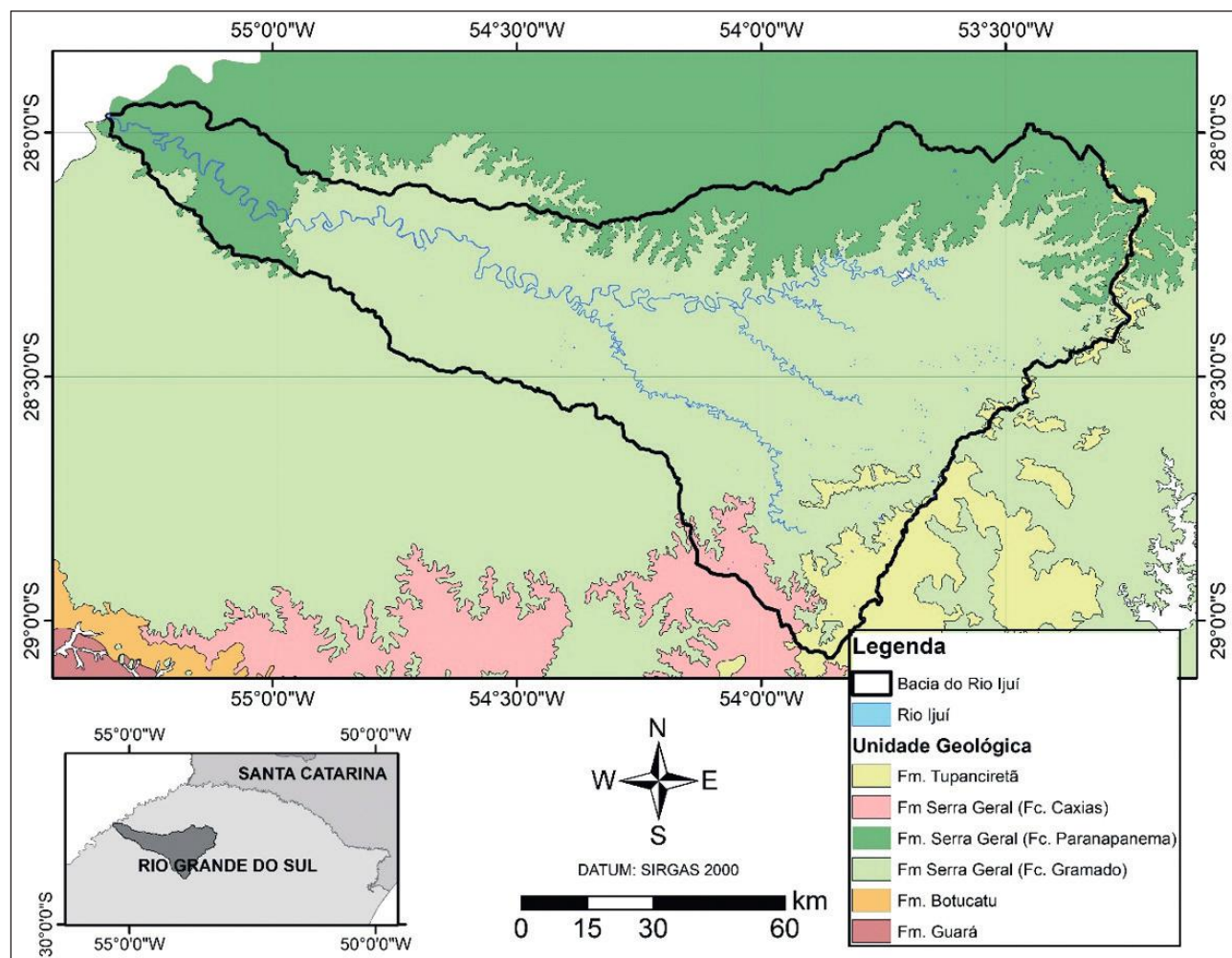


Figura 2 Mapa geológico da área de estudo. Modificado de Machado & Freitas (2005).

A Formação Botucatu é representada por arenitos eólicos finos a médios, quartzosos a localmente feldspáticos, bem selecionados e com cores em tons avermelhados. Conforme Machado (2005), as estruturas primárias mais representativas desta unidade hidroestratigráfica são a estratificação plano-paralela e cruzada do tipo tabular acanalada, de pequeno até grande porte. No topo do pacote, geralmente os arenitos se intercalam de forma concordante com as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, dando origem aos corpos lenticulares de arenitos interderrames.

O substrato litológico onde estão instalados os poços utilizados neste trabalho pertence predominantemente ao vulcanismo da Formação Serra Geral, cujos derrames na região Noroeste do Rio

Grande do Sul são caracterizados pela ocorrência de basaltos tipo alto-TiO₂ (Roisenberg & Viero, 2000), por vezes intercalados com basaltos tipo baixo-TiO₂. De forma particular à região abrangida pela Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí, o pacote vulcânico é formado por duas fácies principais: Paranapanema (136 Ma, ± 2) e Gramado (132 Ma, ± 1,4). Ambas as fácies apresentam condicionamento geológico similar, não sendo observadas diferenças macroscópicas notáveis em campo (Chies, 1991).

Embora a Fácies Caxias (132 Ma, ±0,5) ocorra na porção sul da Bacia do Rio Ijuí, nenhum poço avaliado está instalado nesta litologia, que é constituída por derrames de composição ácida, onde prevalecem dacitos e riolitos. Também restrito à porção sul da Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí ocorre sobre a

sequência vulcânica o pacote sedimentar cenozoico fracamente consolidado da Formação Tupanciretã, constituído por arenitos, arenitos conglomeráticos, conglomerados e finas camadas de argilitos, cuja origem é provavelmente fluvial (Menegotto, 1980).

Três unidades hidroestratigráficas são reconhecidas na Bacia do Rio Ijuí: Sistema Aquífero Guarani/SAG, Sistema Aquífero Serra Geral/SASG e Aquífero Tupanciretã. O SAG possui comportamento heterogêneo e confinado na maior parte da região, somente aparecendo como aquífero livre fora da área em estudo. No interior da bacia, o SAG está confinado pelo SASG (Araujo *et al.*, 1995) e um único poço tubular com fins industriais foi registrado no banco de dados, após a sondagem trespassar 503 metros de pacote vulcânico. Neste poço a água é de excelente qualidade e com sólidos totais dissolvidos (STD) na ordem de 84 mg/L.

O SASG constitui um aquífero livre, podendo, em raros locais, desenvolver caráter confinado (Hausman, 1995). A condutividade hidráulica do SASG é muito variável e de complexa avaliação e previsão, principalmente devido ao fato do meio ser normalmente heterogêneo e anisotrópico, com *background* entre 117,35 e 378,35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Freitas, 2016), sendo que valores inferiores a 117,35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ são detectados em zonas onde a recarga ocorre exclusivamente por precipitação pluviométrica.

Esta unidade hidroestratigráfica, em suas diversas faciologias (basaltos, riolitos e arenitos interderrames), caracteriza-se pela capacidade de armazenamento e de circulação de águas subterrâneas ao longo de fraturas tectônicas ou de contração, ampliadas pelas zonas vesiculares e amigdaloidais de topo de derrame e zonas e disjunção horizontal (Freitas, 2012). Reginato & Strieder (2006) contribuem ao demonstrar que o principal condicionante de produtividade dos poços instalados no SASG está associado ao sistema estrutural do aquífero, enquanto Cunha (2016) identificou correlações positivas entre as direções NE-E e NW-W e os poços mais produtivos na Região Noroeste do Rio Grande do Sul. Neste mesmo aspecto, o estudo de Reginato (2003) na região Nordeste do Rio Grande do Sul concluiu que as principais estruturas encontradas no SASG apresen-

tam orientação nordeste e noroeste, sendo que os poços com vazões de 10 a 20 m^3/h geralmente podem ser relacionados a lineamentos de direção nordeste, enquanto que os poços com vazões superiores a 20 m^3/h estão associados a direções noroeste.

Na área de estudo, os poços tubulares apresentam profundidade média de 133 metros, mínima de 25 metros e máxima de 520 metros. As vazões estabilizadas são muito variáveis e atingem valores entre 0,88 e 76,2 m^3/h , com média de 16,99 m^3/h , enquanto que as capacidades específicas oscilam entre 0,03 e 37,50 $\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$, com média de 1,81 $\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$ (SIAGAS, 2018).

3 Metodologia

A metodologia de pesquisa compreendeu o levantamento de dados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (SIAGAS/CPRM), considerando-se somente os poços instalados dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí. Tal levantamento possibilitou a formação de um banco de dados contendo, inicialmente, 565 poços tubulares.

A filtragem foi desenvolvida de forma a privilegiar a seleção de poços cujas informações disponíveis fossem consistentes do ponto de vista técnico, contendo localização, perfil geológico, dados hidrodinâmicos de ensaio de bombeamento e análises hidroquímicas. A partir destes critérios, foi possível organizar um novo conjunto de dados abrangendo 116 poços com dados completos, que formam a malha amostral utilizada no presente trabalho.

A análise tectônica da área foi desenvolvida através do tratamento de imagens de satélite, visando identificar padrões estruturais do terreno, com base nos métodos utilizados nos trabalhos de Takahashi (1991), Bettiolo (2006) e Nanni *et al.* (2009). As atividades envolveram a produção de uma imagem de relevo sombreado, obtida a partir de um modelo digital do terreno (MDT), cujos dados foram extraídos do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) do *United States Geologic Survey* (USGS, 2018), conforme ilustra a Figura 3.

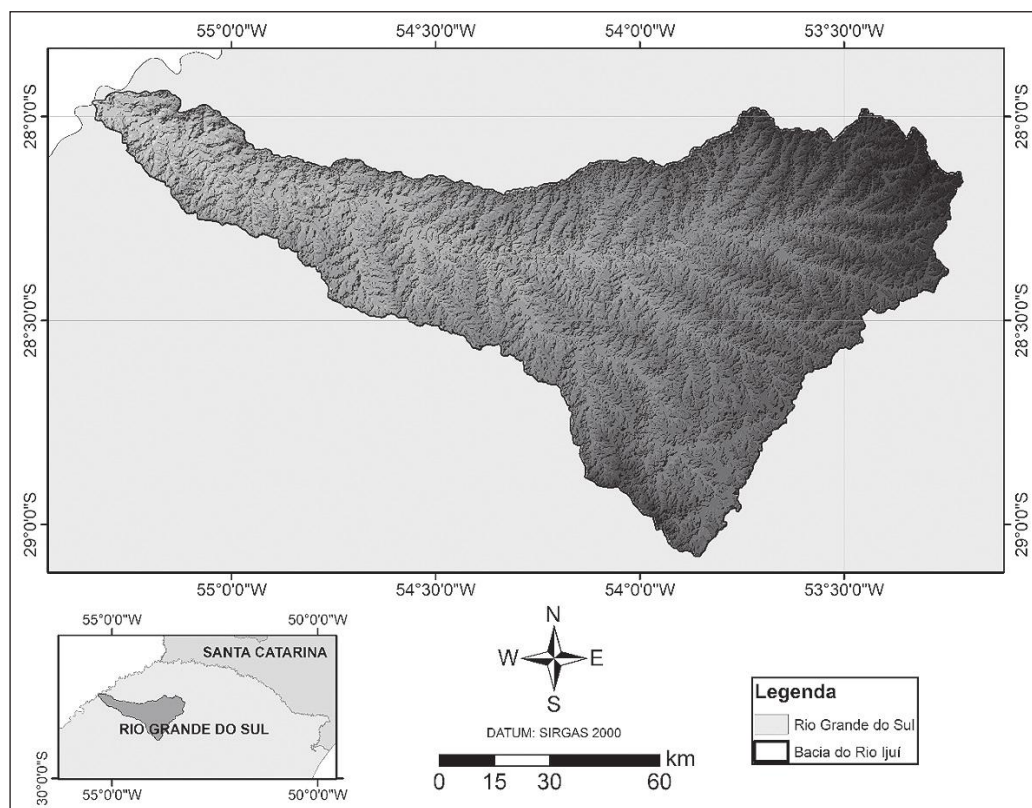


Figura 3 Modelo digital do terreno (MDT) utilizado para extração de lineamentos.

Estes atributos, portanto, auxiliaram na identificação do posicionamento e extensão de lineamentos geológico-estruturais, que foram traçados tomando-se como base os alinhamentos de escarpas e vales, bem como as drenagens existentes.

A extração de estruturas geológicas, o tratamento e a interpretação geoestatística dos dados foram desenvolvidos através dos softwares *ArcGIS*® 10.3 e *Rockworks*® 14, possibilitando a elaboração de mapas temáticos de densidade de lineamentos, diagramas de rosetas, bem como filtragens por azimute e comprimento. Os lineamentos foram classificados, de acordo com seu comprimento, em pequeno porte (< 2 km), médio porte (2-4 km) e grande porte (> 4 km), considerando-se que a média aritmética de comprimento ficou em 3,8 km.

4 Discussão de Resultados

A avaliação tectônica da área de estudo através de sensoriamento remoto resultou no mapeamento de fraturas na Formação Serra Geral, representadas

por lineamentos tectono-estruturais. O diagrama de roseta de frequência absoluta indica que as principais direções de lineamentos são representadas pelos azimutes 030-050°, 060-070° e 270-280°.

Com base nos intervalos azimutais preferenciais, filtragens foram realizadas e resultaram na segmentação das direções em quatro grupos: N-NE (0-045°/180-225°); NE-E (045-090°/225-270°); NW-W (090-135°/270-315°); e N-NW (135-180°/315-360°).

O diagrama de roseta do comprimento da totalidade dos lineamentos (Figura 4) demonstra que no quadrante N-NE encontram-se os lineamentos de maior porte, o que coincide com os intervalos de maior frequência de direções de lineamentos da área (Figura 5). Em ordem decrescente, mas ainda mantendo a mesma relação, aparecem os quadrantes NE-E e NW-W

Para avaliar de forma detalhada a morfoestruturação do SASG na área de estudo e identificar os padrões tectônicos presentes, foi gerado um mapa de

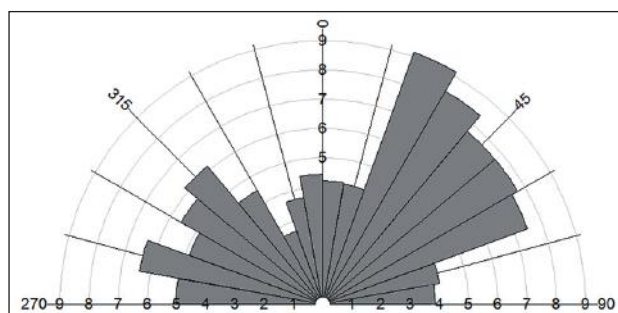


Figura 4 Diagrama estatístico de roseta da totalidade dos lineamentos em relação ao comprimento médio.

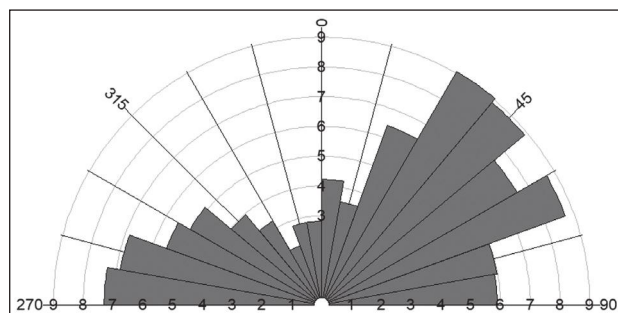


Figura 5 Frequência absoluta das principais direções da totalidade dos lineamentos representada em diagrama estatístico de roseta.

densidade de lineamentos abrangendo a totalidade das estruturas extraídas através do MDT, bem como mapas de densidade conforme o comprimento das fraturas (pequeno, médio e grande portes) e segundo cada intervalo azimutal previamente filtrado (N-NE, NE-E, N-NW e NW-W).

O mapa de densidade total de lineamentos (Figura 6) indica que as maiores concentrações de estruturas estão distribuídas na porção oeste da Bacia do Rio Ijuí, associadas a falhas e fraturas de pequeno e médio porte, com direções predominantes NE-E e N-NE. Este setor da bacia hidrográfica possui relevo com a maior dissecação e amplitude altimétrica, essencialmente relacionado ao vale onde está encaixado o rio Uruguai.

No centro da bacia hidrográfica sobressaem os lineamentos de pequeno porte, com direções preferenciais N-NE, enquanto que no setor leste predominam estruturas de grande porte, associadas de forma preponderante à direção NW-W e, secundariamente, à direção N-NW. Esta morfoestruturação corresponde a um compartimento do relevo mode-

lado por dissecação homogênea e refletido na forma de colinas ou elevações arredondadas, seccionadas por pequenos aprofundamentos fluviais entre uma e outra colina, que caracterizam uma densidade de drenagem moderada a grossa.

Do total de lineamentos, 40,6% possuem médio porte (2 a 4 km), enquanto que os de pequeno porte (< 2 km) somam 31,6% do total, abrangendo municípios como Santo Ângelo, Caibaté, Rolador, Roque Gonzales e Pirapó. Por sua vez, os lineamentos de grande porte (> 4 km) contabilizam 27,8% do total de estruturas traçadas e predominam em municípios como Ijuí, Cruz Alta, Panambi, Condor e Boa Vista do Cadeado.

Quanto às direções dos lineamentos, observa-se que 33,9% estão alinhados em NE-E, com distribuição homogênea na área de estudo, sem associação com um tipo específico de porte estrutural. Já os lineamentos N-NE somam 27,3% do total e incidem predominantemente na porção centro-nordeste da bacia, estando associados a estruturas de médio porte. Os lineamentos NW-W aparecem com 26,0% do total e estão concentrados com maior densidade no extremo leste da bacia, relacionados a estruturas de médio a grande porte, bem como no extremo oeste, próximo à foz do rio Ijuí junto ao rio Uruguai, refletindo um conjunto de falhas e fraturas de pequeno porte. Por fim, os lineamentos N-NW, com menor incidência na área de estudo, compreendem 12,8% do total e estão distribuídos de forma predominante na porção sudeste da bacia, sendo eles associados, em maior grau, a estruturas de médio porte. A Figura 7 ilustra a distribuição e a densidade de lineamentos conforme suas direções, bem como a localização dos poços de acordo com suas capacidades específicas.

Conforme indica a Tabela 1, os resultados da avaliação estatística hidrogeológica de 116 poços inventariados indicam que a capacidade específica apresenta média de $1,81 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$, mediana de $0,66 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$, desvio padrão de $4,19 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$ e coeficiente de variação de $2,31 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$. A menor capacidade específica encontrada foi de $0,03 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$ e a maior alcançou $37,50 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$.

A frequência acumulada no histograma (Figura 8) registrou como quartil superior $2,0 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$,

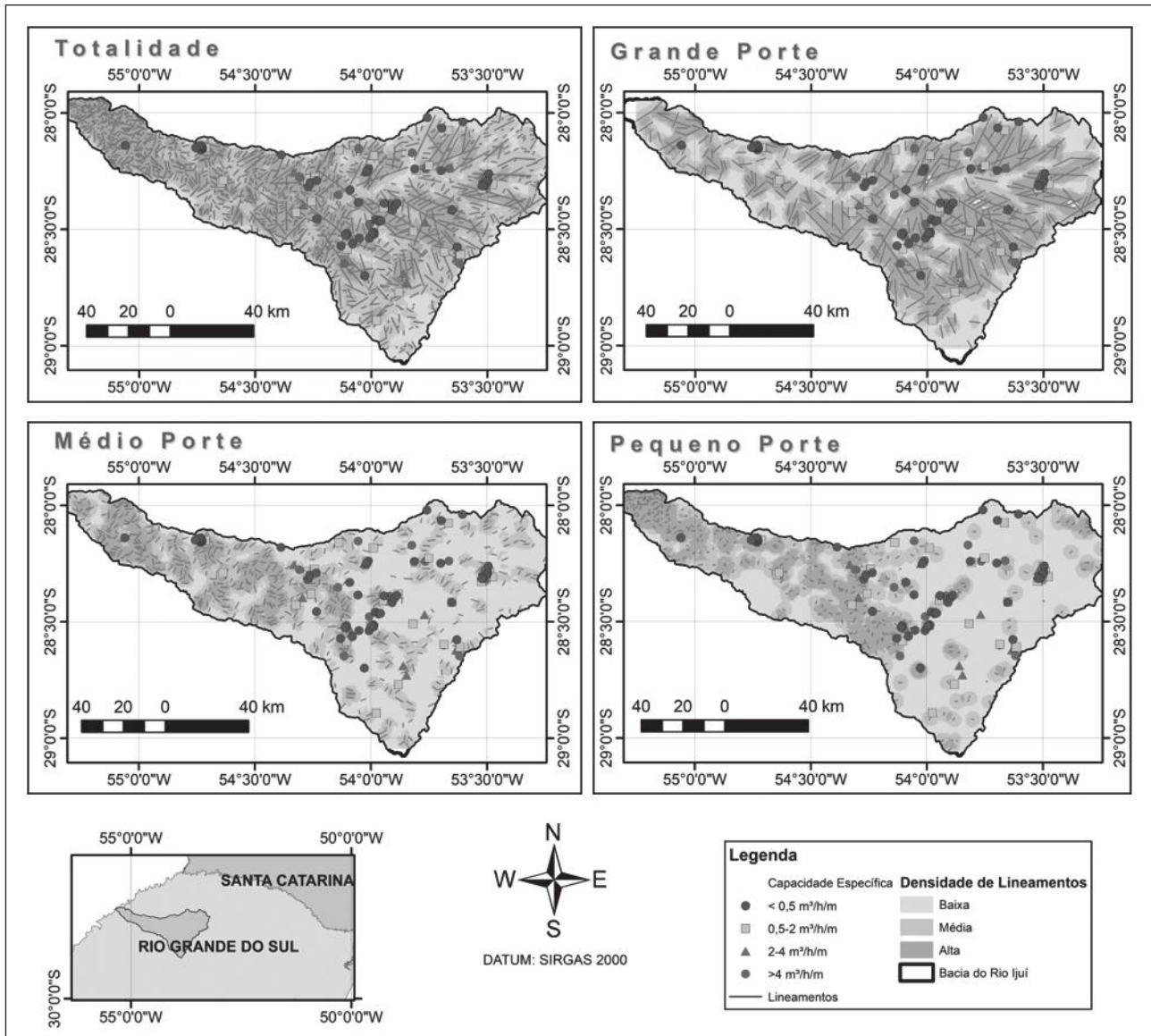


Figura 6 Distribuição espacial e densidade do total de lineamentos e de lineamentos de pequeno, médio e grande porte, comparadas com a capacidade específica dos poços.

indicando que 79,31% dos poços da área de estudo possuem capacidade específica menor que este valor, enquanto somente 10,35% dos poços têm capacidade específica acima de $4 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$.

O cruzamento dos resultados da análise estrutural e de dados hidrogeológicos permitiu correlacionar as estruturas, a densidade de lineamentos e a produtividade dos poços. Do total de poços avaliados, 54,31% estão situados em áreas de alta densidade de lineamentos, quando considerada a totalidade

de estruturas. Por sua vez, os lineamentos de pequeno e médio porte concentram-se, em sua maioria, nas regiões de baixa densidade de lineamentos, com 51,73% e 65,52%, respectivamente. Já as estruturas de grande porte estão localizadas, em ampla maioria (75,86%), dentro de zonas de alta densidade de lineamentos.

A correlação entre a densidade de lineamentos e suas direções preferenciais demonstra que 55,17% das estruturas alinhadas em NE-E e 78,44% em N-NW estão posicionadas em áreas de baixa den-

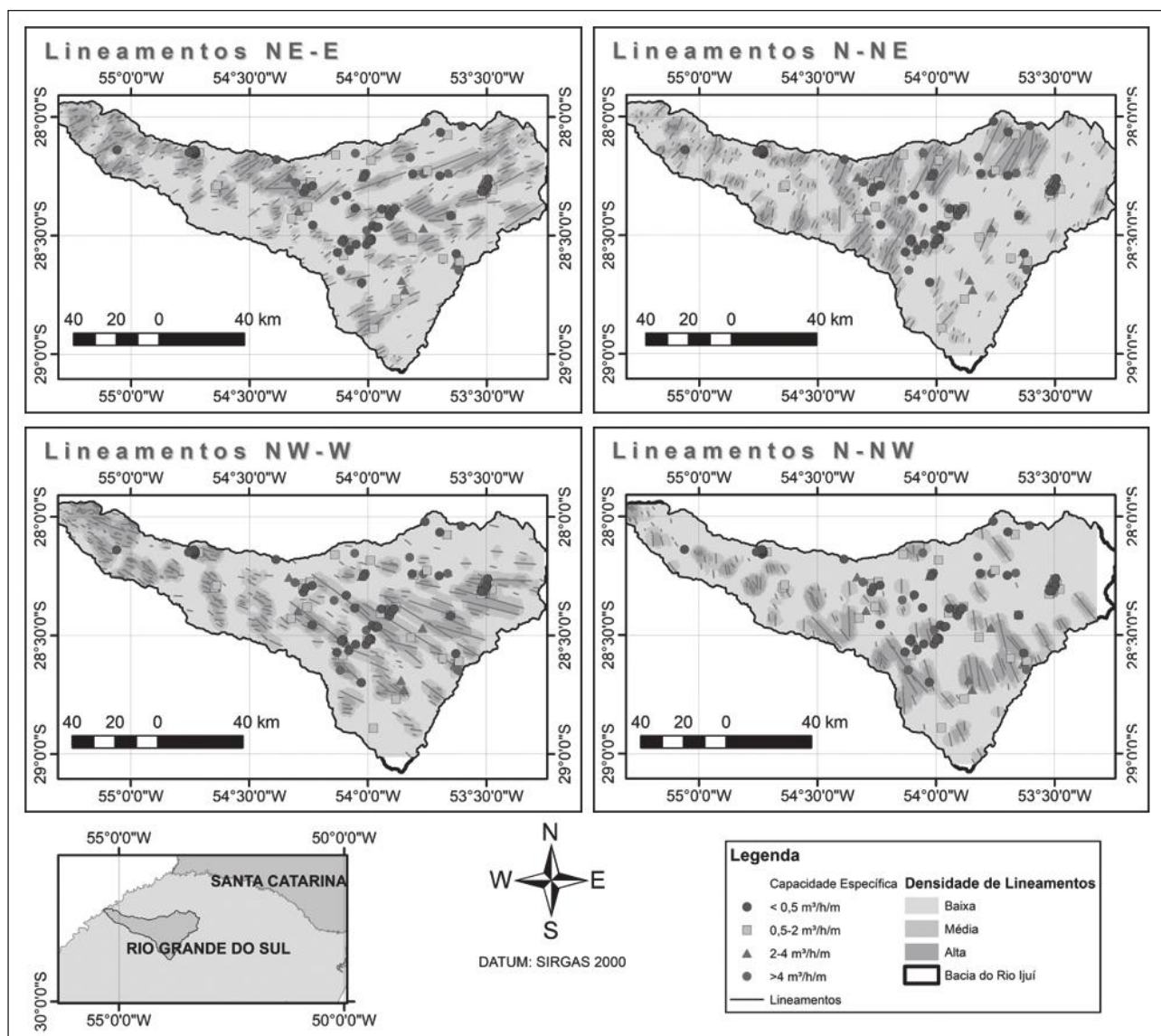


Figura 7 Distribuição espacial e densidade de lineamentos conforme as direções preferenciais, comparadas com a capacidade específica dos poços.

		Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Capacidade Específica (m ³ h ⁻¹ m ⁻¹)	Vazão Estabilizada (m ³ /h)
Todas Amostras	Média	28,23	62,39	1,81	16,99
	Mediana	23,48	55,57	0,66	12,00
	Desvio Padrão	22,41	40,79	4,19	16,52
	Coefficiente de Variação	0,79	0,65	2,31	0,97
	Máximo	130,05	260,51	37,50	76,18
	Mínimo	1,76	10,17	0,03	0,88

Tabela 1 Dados estatísticos da hidrogeologia do SASG na Bacia do Rio Ijuí.

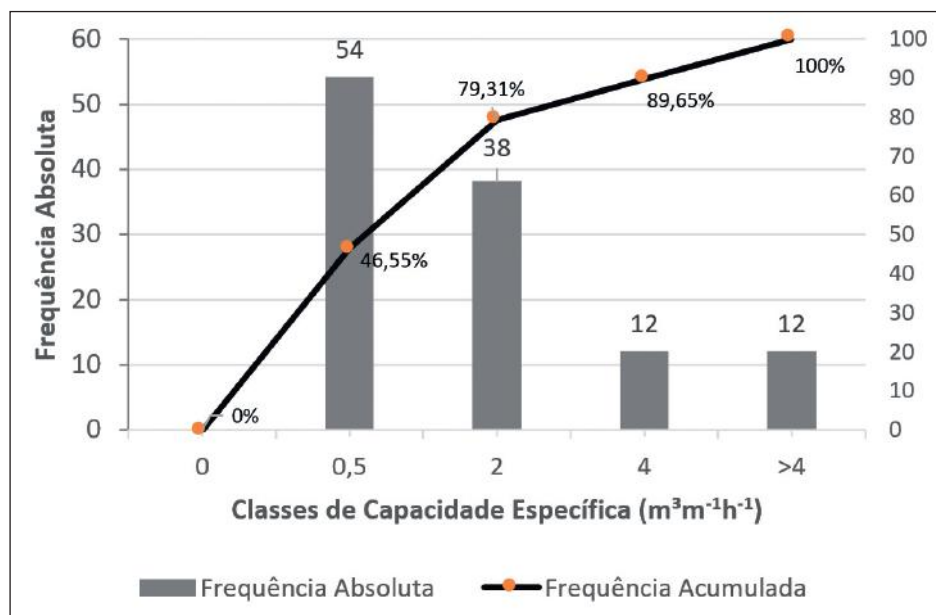


Figura 8 Histograma de capacidade específica dos poços avaliados neste estudo.

tidade. Já para os lineamentos com direções N-NE e NW-W não é possível distinguir uma classe dominante, embora a maior parte das estruturas esteja contida em zonas de baixa a média densidade.

Quanto às capacidades específicas, valores menores do que 0,5 m³h⁻¹m⁻¹ são encontrados em quantidades proporcionais nas áreas de baixa e alta densidade de lineamentos, sendo raros os poços em zonas de média densidade. Por sua vez, poços com capacidades específicas entre 0,5 e 2,0 m³h⁻¹m⁻¹ e entre 2,0 e 4,0 m³h⁻¹m⁻¹ são observados, preferencialmente, em zonas de alta densidade de estruturas (55,26% e 66,67%, respectivamente), enquanto que poços com capacidades específicas acima de 4 m³h⁻¹m⁻¹ estão posicionados, em sua maioria (66%), nos setores de média densidade.

A Tabela 2 demonstra a relação entre a densidade de lineamentos e seus respectivos portes, direções e as capacidades específicas dos poços.

5 Conclusões

A caracterização estrutural desenvolvida demonstrou que os lineamentos de médio porte predominam na Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí, variando entre 2 e 4 km de extensão, com direções preferenciais NE-E e N-NE. Suas maiores concentrações es-

Lineamentos	Poços	Densidade de Lineamentos			Total
		Baixa	Média	Alta	
Totalidade	Quantidade	3	50	63	116
	%	2,59	43,10	54,31	100
Pequeno Porte	Quantidade	60	30	26	116
	%	51,73	25,86	22,41	100
Médio Porte	Quantidade	76	33	7	116
	%	65,52	28,45	6,03	100
Grande Porte	Quantidade	5	23	88	116
	%	4,31	19,83	75,86	100
NE-E	Quantidade	64	36	16	116
	%	55,17	31,03	13,80	100
N-NE	Quantidade	55	42	19	116
	%	47,41	36,21	16,38	100
N-NW	Quantidade	91	10	15	116
	%	78,44	8,63	12,93	100
NW-W	Quantidade	44	42	30	116
	%	37,93	36,21	26,86	100
< 0,5 m³h⁻¹m⁻¹*	Quantidade	24	3	27	54
	%	44,44	5,56	50,00	100
0,5 a 2 m³h⁻¹m⁻¹*	Quantidade	0	17	21	38
	%	0,00	44,74	55,26	100
2 a 4 m³h⁻¹m⁻¹*	Quantidade	0	4	8	12
	%	0,00	33,33	66,67	100
> 4 m³h⁻¹m⁻¹*	Quantidade	0	8	4	12
	%	0,00	66,67	33,33	100

* Em relação à densidade total de lineamentos.

Tabela 2 Relação entre a densidade de lineamentos e seus respectivos portes, direções e as capacidades específicas dos poços.

tão distribuídas nas porções centro e oeste da bacia, onde também prevalecem os lineamentos de pequeno porte, enquanto que o setor leste é dominado por lineamentos de grande porte. Como reflexo no relevo regional, observa-se maior dissecação e consequente aprofundamento dos vales no terreno a oeste, enquanto que em direção ao leste os lineamentos de maior porte moldam uma superfície menos acidentada, destacando-se as colinas suavemente arredondadas.

A avaliação da produtividade indicou que cerca de 80% dos poços possuem capacidades específicas inferiores a $2,0 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$. Adicionalmente, foi observada correlação positiva entre as zonas de alta densidade de lineamentos, geralmente associadas a estruturas de grande porte, e os poços com as maiores vazões.

6 Referências

- Araujo, L.M.; França, A.B. & Potter, P.E. 1995. Arcabouço hidrogeológico do aquífero gigante do Mercosul (Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai). In: MERCOSUL DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, Curitiba, 1995. *Anais*, Curitiba, ABAS, p. 110 - 120.
- Betiollo, L.M. 2006. *Caracterização estrutural, hidrogeológica e hidrogeoquímica dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 117p.
- Chies, J.O. 1991. *Petrologia e Geoquímica do vulcanismo mesozóico da Bacia do Paraná região ocidental do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 223p.
- Cunha, G.G. 2016. *Relação espacial da tectônica ríptil com a hidrogeoquímica e o potencial hidrogeológico do Sistema Aquífero Serra Geral na região do Alto Rio Uruguai, noroeste do Rio Grande do Sul*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 105p.
- Freitas, M.A.; Binotto, R.B.; Nanni, A.S.; Rodrigues, A.L.M. & Bortoli, C.R. 2012. Avaliação do potencial hidrogeológico, vulnerabilidade intrínseca e hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17(2): 31 - 41.
- Freitas, M.A. 2016. *Hidrogeoquímica e isotopia de águas com alta salinidade do Sistema Aquífero Serra Geral na região do Alto Rio Uruguai, Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 195p.
- Hausman, A. 1995. Províncias hidrogeológicas do estado do Rio Grande do Sul - RS. *Acta Geologica Leopoldensia*, 2: 1 - 127.
- Machado, J.L.F. 2005. *Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Tese de Doutorado, 237p.
- Machado, J.L.F. & Freitas, M.A. 2005. *Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final*. Porto Alegre, CPRM. 71p.
- Menegotto, E. 1980. Análise Textural da Formação Tupanciretã. *Revista Ciência e Natureza*, 2: 91-103.
- Nanni, A.S.; Roisenberg, A.; Marimon, M.P.C. & Viero, A.P. 2009. The hydrochemical facies and anomalous fluoride content in the Serra Geral aquifer system, southern Brazil: a GIS approach with tectonic and principal component analysis. *Environmental Geology*, 58(6): 1247-1255.
- Reginato, P.A.R. 2003. *Integração de dados geológicos para prospecção de aquíferos fraturados na Região Nordeste do Rio Grande do Sul*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 195p.
- Reginato, P.A.R. & Strieder, A.J. 2006. Caracterização Estrutural dos Aquíferos Fraturados da Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, 36: 50 - 59.
- Roisenberg, A. & Viero, A.P. 2000. O vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. (ed.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Editora Gráfica da UFRGS, p. 355 - 374.
- SIAGAS. 2018. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Banco de dados dos poços cadastrados. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em 06/02/2018.
- Takahashi, H.A. 1991. *Caracterização morfoestrutural e hidrogeológica de aquíferos em meio fraturado através de técnicas de sensoriamento remoto e análise estatística, em Setor de Planalto Meridional - RS*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 126p.
- United States Geological Survey - USGS. 2018. Shuttle Radar Topography Mission. Washington, NASA-USGS. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 04/03/2018.