

# A RELAÇÃO ENTRE A HIDROGEOLOGIA E OS LINEAMENTOS ESTRUTURAIS DO PLANALTO SERRANO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS

Guilherme Ferretti Mendes<sup>1</sup>; Raquel Valério de Sousa<sup>2</sup>; José Luiz Albuquerque Filho<sup>3</sup>;

## Resumo

O foco principal foi discutir as possíveis correlações existentes entre os dados hidrogeológicos e os lineamentos estruturais da região do Planalto Serrano de Santa Catarina, onde esta inserida a região administrativa da AMURES, que compreende 18 municípios. Primeiramente foram feitos levantamentos bibliográficos, além da coleta de dados de 239 processos de outorga de águas subterrâneas cedidos pela FATMA, perfurados em rochas do sistema poroso intergranular e sistema cristalino fraturado. Foi gerado o mapa de sombreamento com o uso do software ArcGis 10.1, utilizando o MDE cedido pela AMURES. Através do mapa de sombreamento em conjunto com as ortofotos disponibilizadas pela SDS, foram extraídos manualmente 101.594 lineamentos estruturais, por meio da ferramenta editor do software ArcGis 10.1, e, utilizando o software Openstereo foram gerados os diagramas de rosáceas destas estruturas. Também foram elaborados os mapas de densidades de lineamentos estruturais, da hidrografia, da profundidade e da vazão dos poços tubulares, além de mapas e gráficos auxiliares. Analisando-se os produtos gerados foi encontrada uma relação entre a profundidade e a vazão dos poços, além da relação entre as densidades de lineamentos e as maiores vazões dos poços do aquífero fraturado. Quanto ao sistema poroso intergranular, as maiores vazões estão correlacionadas com as estruturas do Domo de Lages.

## Abstract

The main focus was to discuss the possible correlations between the hydrogeological data and structural lineaments of the Planalto Serrano region of Santa Catarina, where this inserted region AMURES. Literature surveys were first made, in addition to collecting data from 239 groundwater grant processes assigned by FATMA, drilled in the intergranular porous system and fractured crystalline rocks system. It was generated shading map using the ArcGIS 10.1 software using the MDE donated by AMURES. By shading map together with the ortho provided by SDS they were manually extracted from 101,594 structural guidelines by the software publisher tool ArcGis 10.1, and using the software was generated Openstereo rosettes diagrams of these structures. They were also generated maps of structural lineament density, hydrography, depth and flow of the

wells, as well as maps and auxiliary charts. Analyzing the products generated we found a relationship between the depth and the flow of the wells, and the relation between the densities of guidelines and higher flow rates of wells fractured aquifer. Such as intergranular porous system, higher flow rates are correlated with Lages Dome structures.

**Palavras-chave:** Hidrogeologia. Lineamentos estruturais. Águas subterrâneas. Poços tubulares.

## 1 INTRODUÇÃO

O Estado de Santa Catarina está situado na região sul do Brasil, sendo o vigésimo estado em extensão territorial, está subdividido em 6 mesorregiões: Grande Florianópolis, Norte Catarinense, Oeste Catarinense, Planalto Serrano, Sul Catarinense e Vale do Itajaí.

Dentre estas regiões destaca-se o Planalto Serrano, onde está inserida a Associação dos Municípios da Região Serrana (AMURES). Essa associação compreende uma área de 16.000 km<sup>2</sup>, ocupando aproximadamente 17% de Santa Catarina, sendo Lages o seu centro comercial e industrial. Apresenta grandes altitudes, com a média que ultrapassa mil metros, estando o ponto mais alto do estado no município de Urubici, com altitude de 1827 metros. O clima é subtropical de altitude com temperatura média de 21°C e índices pluviométricos médios anuais que ultrapassam 1.450 mm.

O Planalto Serrano apresenta uma grande malha hídrica superficial, formada principalmente pelos rios Canoas e Pelotas, apresentando esta hidrografia vazões suficientes para a demanda local. A má gestão destes recursos hídricos vem prejudicando a potabilidade da água, tornando-a imprópria para consumo humano e utilização fabril. Uma das alternativas utilizadas pelas empresas, pelas comunidades e pelo poder público para suprir a demanda de água de boa qualidade, é a utilização dos recursos hídricos subterrâneos.

Dados hidrogeológicos obtidos a partir dos poços, permitem tecer algumas considerações da situação dos aquíferos. Estes são recarregados naturalmente através de afloramentos de rochas sedimentares existentes em algumas localidades, e que tenham ou não ligação direta com algumas fraturas em subsuperfície, ou por meio de lineamentos abertos das rochas basálticas do cristalino fraturado, que chegam até a superfície.

A hidrogeologia do Planalto Serrano apresenta seis formações. O aquífero cristalino fraturado engloba os subdomínios Cristalino e Serra Geral 1, onde o segundo compreende aproximadamente 70% da região do Planalto Serrano. O restante da área é composto por aquíferos porosos intergranulares das Formações Botucatu (subdomínio Guarani) e dos subdomínios Permo-Triássicas (Rio do Rastro, Teresina, Serra Alta e Irati), Rio Bonito e Itararé (figura 1).

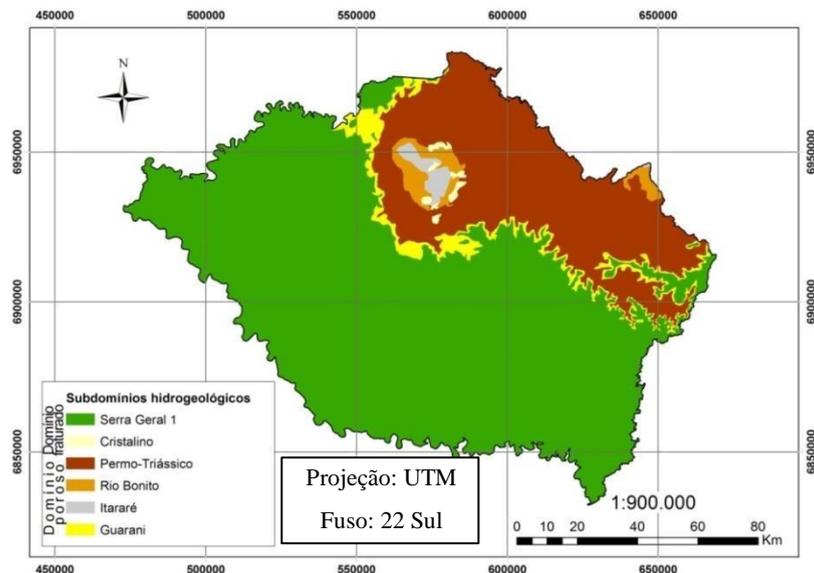


Figura 1. Mapa hidrogeológico da região da AMURES  
 Fonte: Mendes, G. F. (2016)

Considerando-se que os lineamentos obtidos estão presentes em várias litologias que afloram na região do Planalto Serrano, e ocupam boa parte do território buscou-se encontrar alguma relação destas feições com as vazões de exploração dos poços tubulares.

## 2 OBJETIVOS

A partir da caracterização hidrogeológica da região da AMURES e sua correlação com lineamentos estruturais, pretende-se definir a partir das maiores vazões, áreas mais favoráveis à locação e exploração de água subterrânea, com o intuito de orientar o poder público na gestão de recursos hídricos, além da prevenção e controle da contaminação.

### 2.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do estudo foram: compilar e analisar referências bibliográficas pertinentes ao estudo; caracterizar os aspectos hidrogeológicos da região da AMURES por meio de mapas Kernel; analisar e compilar dados de 239 processos de outorga de águas subterrâneas cedidos pela FATMA, perfurados em rochas do sistemas poroso intergranular e no sistema cristalino fraturado; caracterizar as estruturas rochosas da região da AMURES por meio da extração e caracterização de lineamentos, com relação às extensões e direções; caracterizar os padrões de drenagem na região da AMURES e correlacionar com a densidade de lineamentos; correlacionar os lineamentos estruturais obtidos com os aspectos hidrogeológicos;

### 3 ANÁLISE DOS DADOS DOS POÇOS TUBULARES PROFUNDOS NA REGIÃO DA AMURES

Para a obtenção de uma fonte de dados expressiva e sólida quanto aos dados hidrogeológicos na área de estudo, foram analisados 239 processos de poços tubulares profundos cedidos pela Fundação do Meio Ambiente (FATMA – Lages - SC), perfurados entre os anos de 2004 a 2014, representando aproximadamente 50% das perfurações envolvendo toda região de interesse. Através deste material, foi elaborado um banco de dados, com o intuito de analisar as peculiaridades hidrogeológicas das diferentes áreas do Planalto Serrano. Os dados foram coletados entre dezembro de 2015 a janeiro de 2016, e organizados através do software Excel 2010 em informações quantitativas e qualitativas, facilitando a análise integrada das informações, para posteriores diagnósticos.

#### 3.1 Localização dos poços tubulares

Os poços tubulares profundos, dos quais foram extraídos os dados necessários para este estudo, estão distribuídos na região conhecida como AMURES, onde 47% das perfurações estão na área urbana do município de Lages, diferentemente dos demais municípios, em que os poços estão distribuídos de maneira mais uniforme. Apenas os municípios de Bocaina do Sul e Rio Rufino não apresentaram poços em suas territorialidades perante os dados utilizados (figura 2). Na mesma figura, nota-se que os processos de outorga de água subterrânea estudados neste estudo são referentes à exploração dos aquíferos cristalino fraturado do Serra Geral 1 e poroso intergranular.

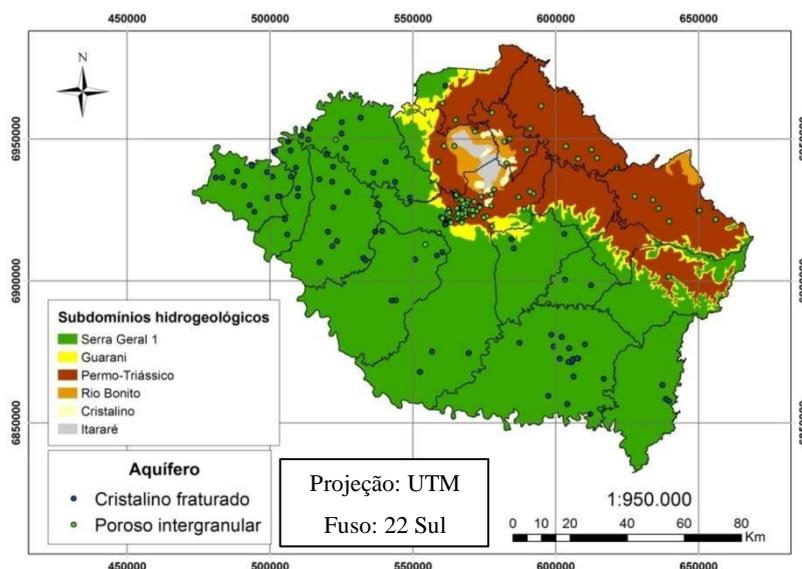


Figura 2. Mapa da localização dos poços tubulares profundos em relação aos aquíferos, na região da AMURES

Fonte: Mendes, G. F. (2016)

### 3.2 Profundidade dos poços tubulares

A profundidade média de perfuração da totalidade dos poços da região da AMURES é em torno de 120 metros. No aquífero cristalino fraturado a profundidade média é de 127 metros, já no poroso intergranular a profundidade média é de 120 m.

Considerando-se as grandes espessuras da unidade Serra Geral até a Formação Botucatu, em média de 400 metros, em algumas localidades como na região do Domo de Lages, as profundidades são menores, uma vez que a inserção do domo teria reposicionado algumas formações porosas para níveis mais superiores.

Os poços que apresentaram maiores profundidades para a captação, através do método de Kernel (figura 3), estão em pontos específicos como a área urbanizada do município de Lages, além dos municípios de Palmeira, São Joaquim, Bom Retiro e alguns locais de Anita Garibaldi, Cerro Negro, São José do Cerrito e Campo Belo do Sul.

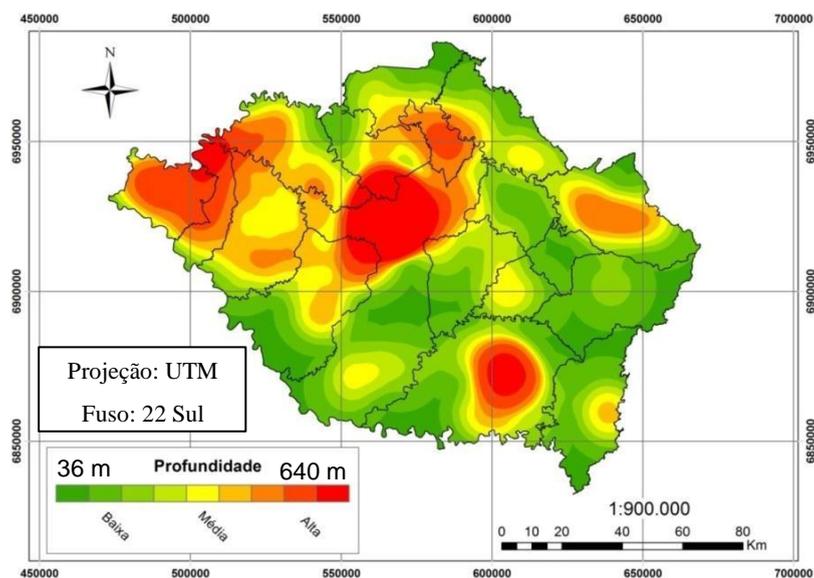


Figura 3. Mapa Kernel da profundidade dos poços tubulares profundos na região da AMURES  
Fonte: Mendes, G. F. (2016)

Ao analisar os poços que exploram o aquífero cristalino fraturado (figura 4), encontram-se as maiores profundidades entre 150 e 300 metros nas cidades de São Joaquim, Anita Garibaldi, Cerro Negro, Campo Belo do Sul e São José do Cerrito, além de locais próximos a área urbanizada de Lages.

O aquífero poroso intergranular apresenta as maiores profundidades entre 150 e 300 metros na cidade de Lages, Palmeira, Correia Pinto e Bom Retiro, apresentando um poço perfurado a 640 metros no município de Lages (figura 5).

Ao analisar todos os mapas referentes às profundidades, nota-se que a região do centro urbano de Lages apresenta grandes profundidades de captação em ambos os aquíferos. Nas cidades

de Bom Retiro e Palmeira, encontram-se poços com grandes profundidades estando na formação porosa.

### 3.3 Vazão dos poços tubulares

A média da vazão dos poços tubulares profundos foi de aproximadamente 5,4 m<sup>3</sup>/h. As vazões dos poços do aquífero cristalino fraturado, apresentam em sua maioria entre 5 a 10 m<sup>3</sup>/h, seguido de poços com produtividade de 2 e 5 m<sup>3</sup>/h, com mais de 23% das perfurações. Nos locais onde foi extraída água do aquífero poroso intergranular, as vazões entre 5 e 10 m<sup>3</sup>/h apresentaram-se na metade dos poços, seguido de 26% dos poços apresentando vazões entre 2 e 5 m<sup>3</sup>/h.

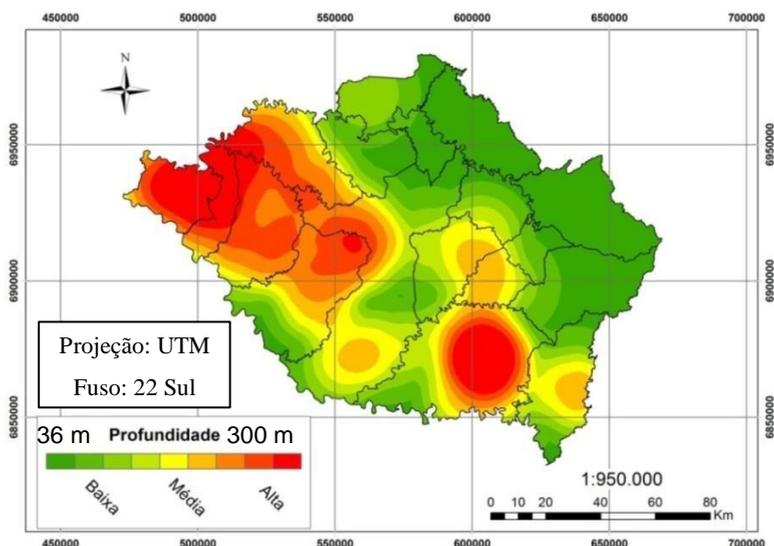


Figura 4. Mapa Kernel da profundidade referente aos poços tubulares do aquífero cristalino fraturado, na região da AMURES  
Fonte: Mendes, G. F. (2016).

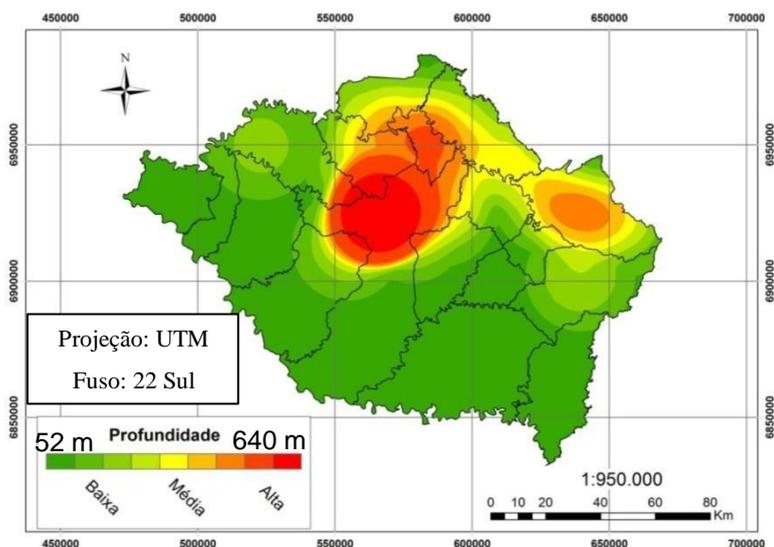


Figura 5. Mapa Kernel da profundidade referente aos poços tubulares do aquífero poroso, na região da AMURES  
Fonte: Mendes, G. F. (2016)

Os locais com vazões mais elevadas dentre os poços tubulares em estudo, se encontram na área urbana do município de Lages, além dos municípios de Capão Alto, São Joaquim, Anita Garibaldi, Cerro Negro, Campo Belo do Sul e São José do Cerrito, conforme o figura 6.

Em relação ao aquífero cristalino fraturado, encontram-se as maiores vazões entre 10 m<sup>3</sup>/h a 30 m<sup>3</sup>/h na cidade de Lages, Anita Garibaldi, Cerro Negro, Campo Belo do Sul, São José do Cerrito e São Joaquim (figura 7).

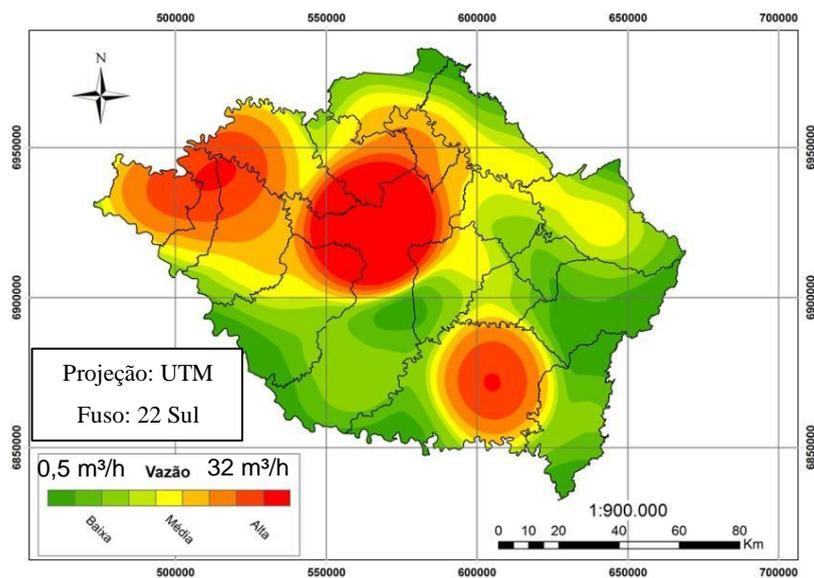


Figura 6. Mapa Kernel da vazão dos poços tubulares profundos na região da AMURES  
Fonte: Mendes, G. F. (2016)

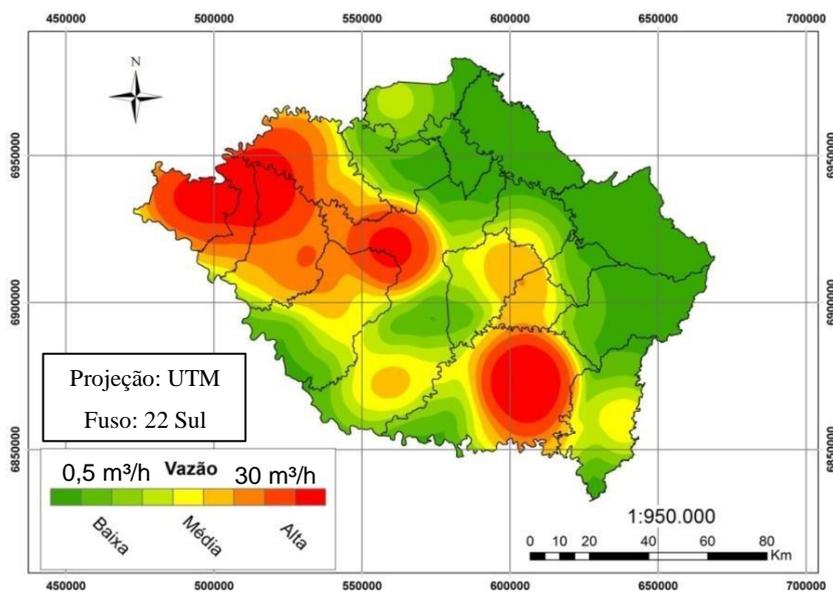


Figura 7. Mapa Kernel da vazão referente aos poços tubulares do aquífero cristalino fraturado, na região da AMURES  
Fonte: Mendes, G. F. (2016)

Por meio da figura 8, no aquífero poroso intergranular as maiores vazões estão entre 10 m<sup>3</sup>/h e 32 m<sup>3</sup>/h na cidade de Lages, além das cidades de São José do Cerrito e Palmeira que apresentam

um poço com vazão de 15 m<sup>3</sup>/h e 10m<sup>3</sup>/h respectivamente, consideradas baixas, relativamente às vazões encontradas na literatura.

Através da análise de ambos os mapas da vazão, notam-se que as vazões mais elevadas dentre os dados estudados na área urbana do município de Lages em ambas as formações. Os poços do aquífero poroso intergranular com as vazões mais elevadas estão nas proximidades do domo, podendo ser fruto da interferência das estruturas das rochas que afloram nesta localidade. As vazões mais elevadas do cristalino fraturado estão distribuídas em algumas cidades conforme a figura 7.

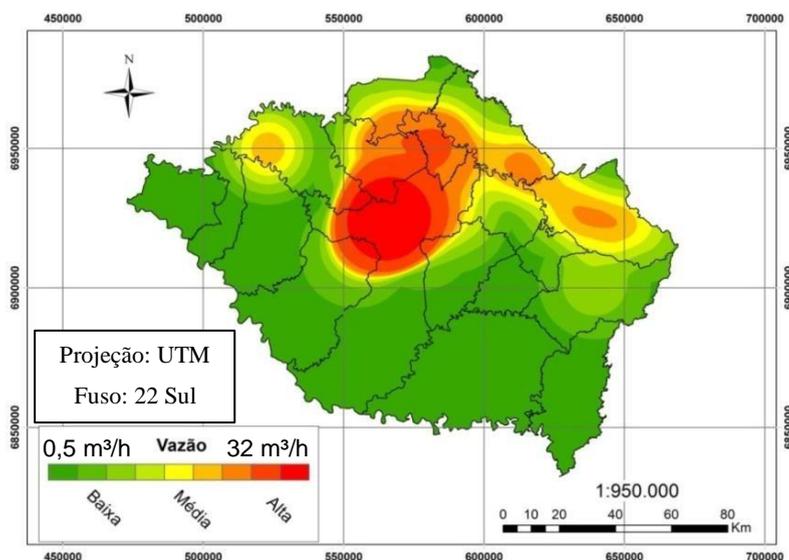


Figura 8. Mapa Kernel da vazão referente aos poços tubulares do aquífero poroso intergranular, na região da AMURES

Fonte: Mendes, G. F. (2016)

#### 4 ANÁLISE DOS PADRÕES DE DRENAGEM NA REGIÃO DA AMURES

Especificamente, na região da AMURES distinguem-se três padrões de drenagem, de acordo com a classificação de Summerfield (1991), e que coincidem com as áreas homólogas com relação aos parâmetros hidrogeológicos referenciados. Os padrões identificados são do tipo “drenagem paralela”, na região de rochas sedimentares permo-triássicas, “dendrítico a sub-dendrítico” na região dos domínios dos basaltos do Serra Geral 1 e, por fim, um padrão circular ou semi-circular, nas proximidades do Domo de Lages. A figura 9, com precisão cartográfica 1:250.000, apresenta a rede de drenagem na região da AMURES e as regiões dos padrões de drenagem identificados.

O Planalto Serrano de Santa Catarina apresenta uma rede hidrográfica rica, com as maiores densidades na porção nordeste onde se encontra o domínio poroso, dando ênfase para o município de Palmeira, além de alguns pontos de altas densidades distribuídos por toda a região (figura 10).

A figura 10 representa a densidade das águas superficiais por trechos de rios, pois apesar do estudo estar direcionado as águas subterrâneas, os lineamentos geralmente se encaixam em cursos d'água podendo ser importantes recargas dos aquíferos.

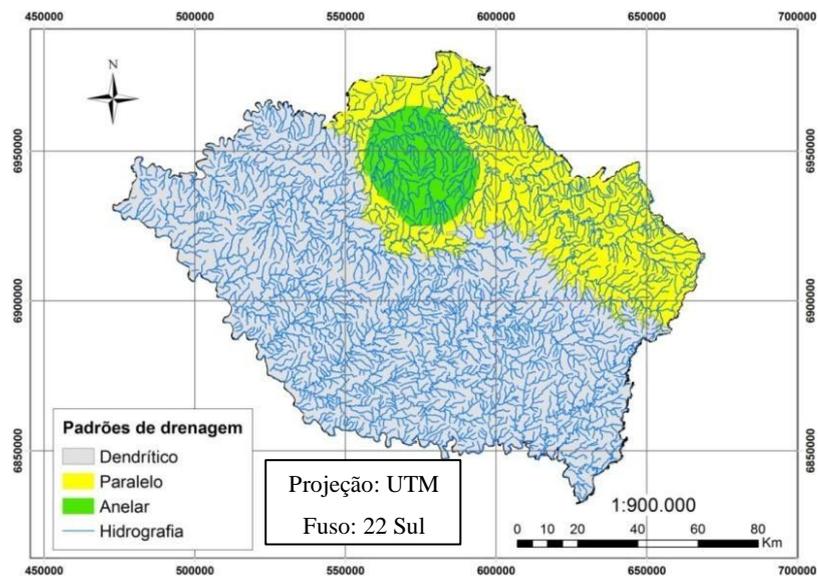


Figura 9. Classificação da hidrografia por padrões de drenagem  
Fonte: Modificado IBGE (2014)

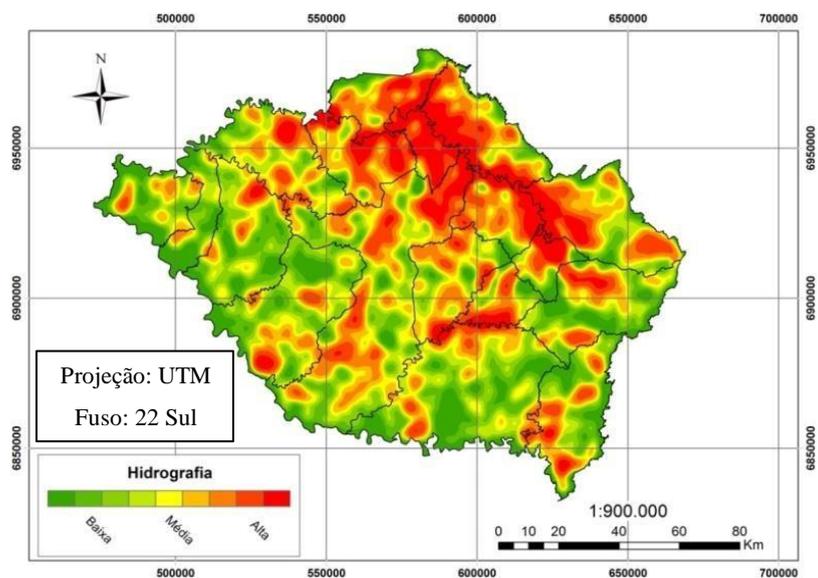


Figura 10. Mapa Kernel da hidrografia na região da AMURES  
Fonte: Mendes, G. F. (2016)

## 5 ANÁLISE ESTRUTURAL DOS LINEAMENTOS NA REGIÃO DA AMURES

A região de estudo exibe grande quantidade de lineamentos, com concentrações mais elevadas na região nordeste (figura 11), extraídos do mapa de sombreamento, proveniente do MDE na escala 1:12.500. A extração manual de lineamentos estruturais na região da AMURES,

compreendendo uma área de aproximadamente 16.000 Km<sup>2</sup>, apresentou um total de 101.594 lineamentos estruturais, classificados de acordo com a extensão e direção.

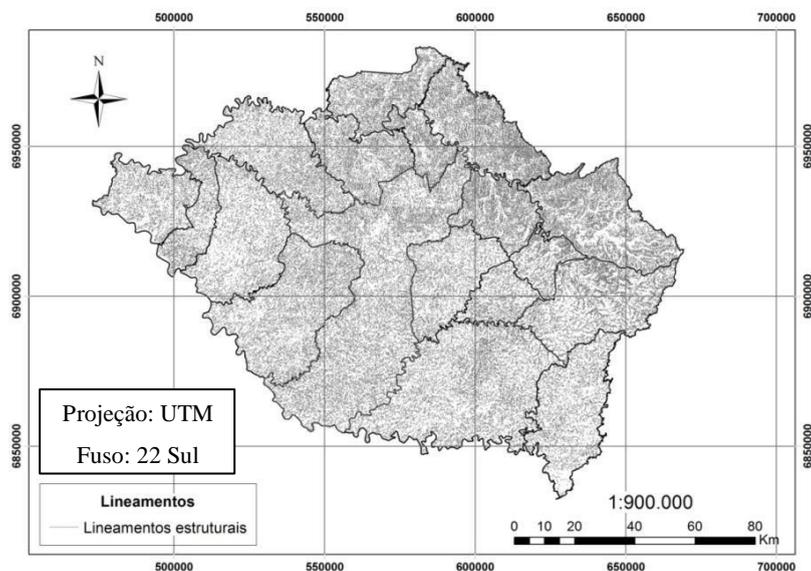


Figura 11. Mapa dos lineamentos estruturais da região da AMURES  
Fonte: Mendes, G. F. (2016)

A relação entre os lineamentos estruturais e os dados hidrogeológicos é de suma importância para o estudo, pelo fato dos locais onde apresentam maior densidade de lineamentos estarem propensos a ser extremamente fraturados, apresentando grande favorabilidade a circulação e acúmulo de águas subterrâneas, tendo uma relação direta com o aquífero fraturado, quando estas estruturas forem abertas e não colmatadas.

A seguir, a figura 12 apresenta o mapa Kernel dos lineamentos da região da AMURES.

Observa-se no mapa que as áreas com maiores densidades de lineamentos estão concentradas, em linhas gerais, nas unidades hidrogeológicas de idades permo-triássicas (figura 1), que ocorrem nas porções norte e nordeste da região da Amures. Mais de 90% destas estruturas lineares apresentaram extensões de até 500 metros, restando uma pequena porcentagem para lineamentos com grandes dimensões.

A figura 13, com precisão cartográfica de 1:12.500, indica os locais dos lineamentos mais expressivos quanto à extensão, sendo estes maiores que mil metros, chegando até a ultrapassar os 5000 metros. A literatura apresenta diversos estudos abordando as dimensões de lineamentos, porém, os estudos são geralmente regionais, utilizando escalas muito grandes. Segundo Haman e Jurgens (1974), os lineamentos menores que 3,2 Km são classificados como meso-lineamentos e os maiores que 3,2 Km são macro-lineamentos, sendo desta forma, a região da Amures composta por pequenos lineamentos de maneira geral.

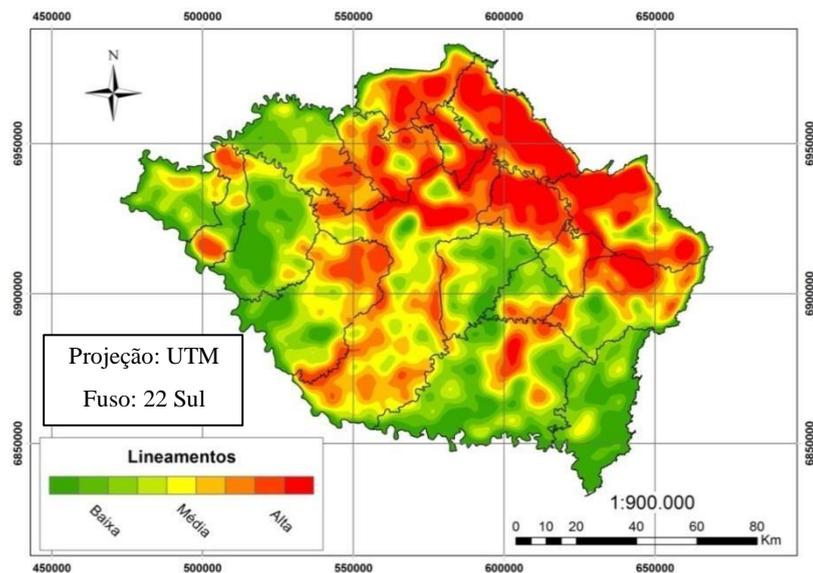


Figura 12. Mapa Kernel da densidade de lineamentos na região da AMURES  
 Fonte: Mendes, G. F. (2016)

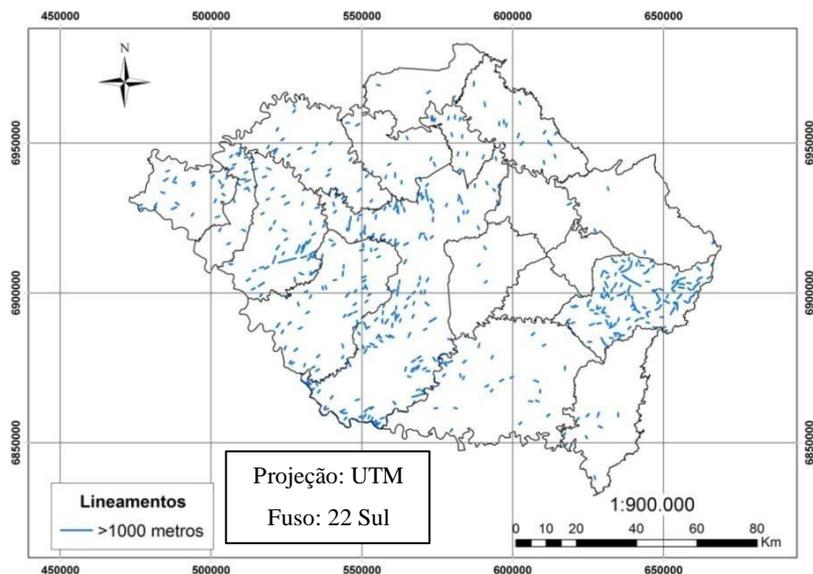


Figura 13. Mapa dos lineamentos estruturais extensos da região da AMURES  
 Fonte: Mendes, G. F. (2016)

Na caracterização geral da geologia estrutural, a região apresentou lineamentos em todas as direções, apontando a direção NE–SW e NW–SE com azimutes entre  $165^\circ$  e  $240^\circ$  como as mais frequentes, sendo a maior concentração de 8,93% dos lineamentos, com azimutes entre  $225^\circ$  e  $247,5^\circ$  (diagrama 1). No mesmo diagrama a rosácea do comprimento acumulado dos lineamentos também apresenta direção NE–SW e NW–SE com os azimutes entre  $165^\circ$  e  $240^\circ$  como as mais frequentes, com a maior concentração de 8,40% dos lineamentos tendo os azimutes entre  $225^\circ$  e  $247,5^\circ$ .

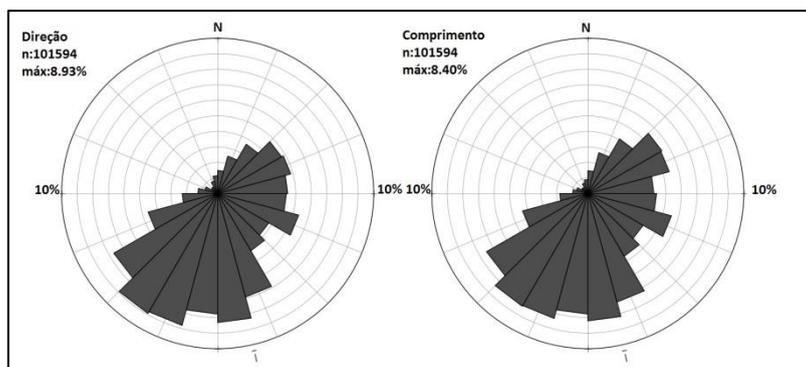


Diagrama 1. Diagramas de rosáceas da direção e comprimento dos lineamentos estruturais, da região da AMURES  
 Fonte: Mendes, G. F. (2016)

Estudos feitos no Domo de Lages apontam que as transcorrências no regime compressivo NE-SW, poderia ter atuado durante a estruturação do domo e também após a intrusão das rochas alcalinas, situando, portanto, a geração destas falhas na passagem do Cretáceo para o Paleógeno (Roldan, L. F. *et al.* 2010).

Na caracterização da geologia estrutural da região com o uso da ferramenta de filtragem de lineamentos por extensão, conforme o diagrama 2, observa-se que estão nas direções preferenciais NE-SW com azimutes entre 22,5° e 67,5° como as mais frequentes, sendo a maior concentração de 9.75% dos lineamentos, com azimutes entre 45° e 67,5°. No mesmo diagrama a rosácea do comprimento acumulado dos lineamentos também apresenta direção NE-SW com azimutes entre 22,5° e 67,5° como as mais frequentes, com a maior concentração de 10,04% dos lineamentos tendo azimutes entre 22,5° e 67,5°.

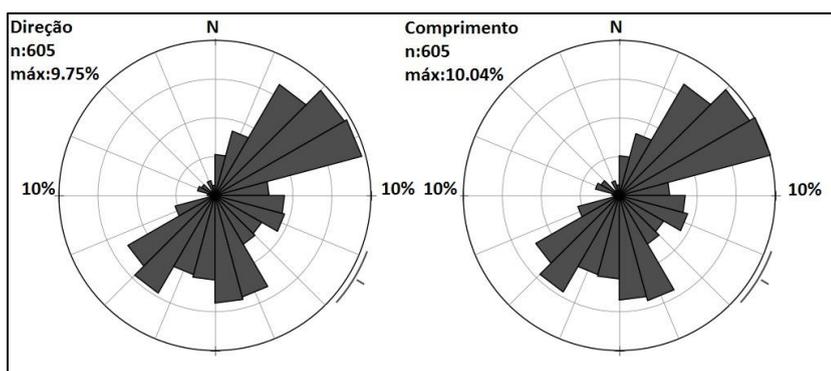


Diagrama 2. Diagramas de rosáceas da direção e comprimento dos lineamentos estruturais extensos, da região da AMURES  
 Fonte: Mendes, G. F. (2016)

O diagrama 3 demonstra as principais direções e comprimentos acumulados dos lineamentos estruturais nos locais com maior vazão da Formação Cristalina Fraturada, onde nota-se que a direção NE-SW e NW-SE com azimutes entre 165° e 240° como mais frequentes, sendo a maior

concentração de 10,32% dos lineamentos, com azimutes entre 225° e 247,5°. O comprimento acumulado nos indica as direções NE–SW e NW-SE com azimutes entre 165° e 240° como as mais frequentes, sendo a maior concentração de 10,35% dos lineamentos, com azimutes entre 225° e 247,5°.

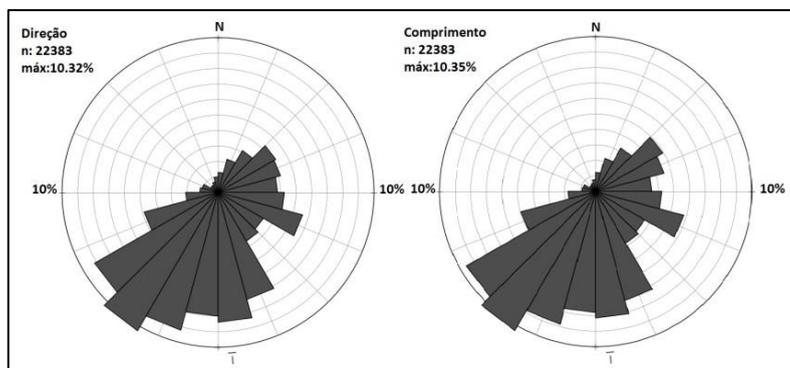


Diagrama 3. Diagramas de rosáceas da direção e comprimento dos lineamentos estruturais do cristalino fraturado, da região da AMURES  
Fonte: Mendes, G. F. (2016)

Na formação porosa Intergranular as principais direções dos lineamentos estruturais nos locais com maior vazão estão nas direções NW–SE e NE-SW, com azimutes entre 150° e 240° como os mais frequentes, com a maior concentração de 8,12% dos lineamentos nos azimutes entre 157,5° e 180°. O comprimento acumulado nos indica as direções NW–SE e NW-SE com azimutes entre 150° e 240° como as mais frequentes, sendo a maior concentração de 9,22% dos lineamentos, com azimutes entre 157,5° e 180° (diagrama 4).

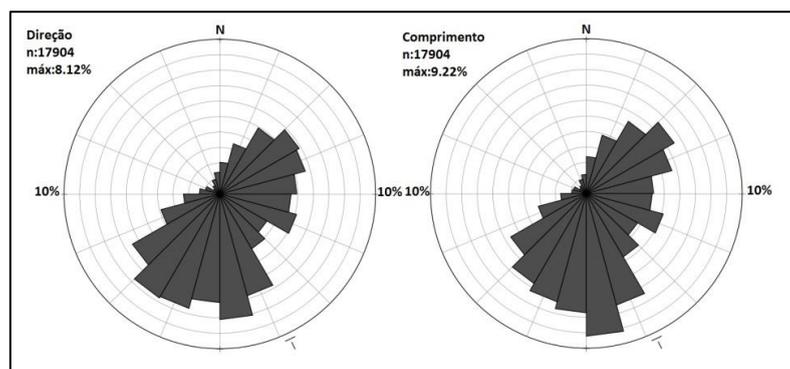


Diagrama 4. Diagramas de rosáceas da direção e comprimento dos lineamentos estruturais da formação porosa intergranular, da região da AMURES  
Fonte: Mendes, G. F. (2016)

O diagrama 5 demonstra as principais direções e comprimentos acumulados dos lineamentos estruturais nos locais onde a drenagem é classificada como dendrítica a sub-dendrítica, existente na formação cristalina fraturada, onde nota-se que a direção NE–SW e NW-SE com azimutes entre

165° e 240° como mais frequentes, sendo a maior concentração de 9,43% dos lineamentos, com azimutes entre 202,5° e 225°. O comprimento acumulado nos indica as direções NE–SW e NW-SE com azimutes entre 150° e 240° como as mais frequentes, sendo a maior concentração de 8,99% dos lineamentos, com azimutes entre 202,5° e 225°.

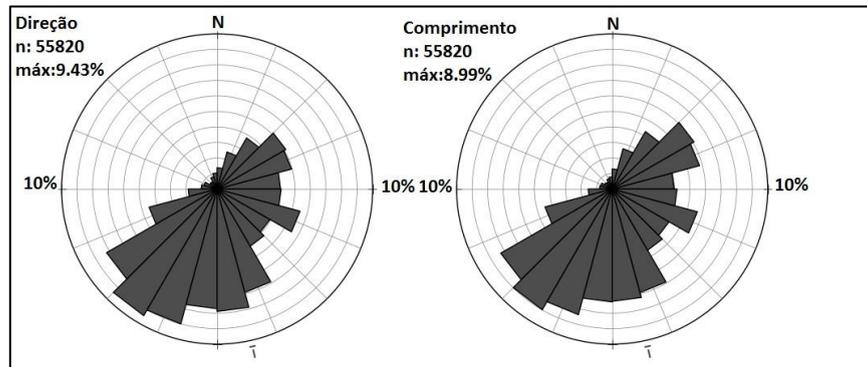


Diagrama 5. Diagramas de rosáceas da direção e comprimento dos lineamentos estruturais nos locais de hidrografia com padrão dendrítico a sub-dendrítico, da região da AMURES Fonte: Mendes, G. F. (2016)

O diagrama 6 demonstra as principais direções e comprimentos acumulados dos lineamentos estruturais nos locais onde a drenagem é paralela a sub-paralela, em que a direção NE–SW e NW-SE com azimutes entre 157,5° e 252,5° como mais frequentes, sendo a maior concentração de 8,86% dos lineamentos, com azimutes entre 157,5° e 180°. O comprimento acumulado nos indica as direções NE–SW e NW-SE com azimutes entre 150° e 225° como as mais frequentes, sendo a maior concentração de 9,33% dos lineamentos, com azimutes entre 157,5° e 180°.

No diagrama 7, as principais direções e comprimentos acumulados dos lineamentos estruturais no Domo de Lages, onde a hidrografia é anelar a sub-anelar, apresentando a direção NE–SW e NW-SE com azimutes entre 150° e 225° como mais frequentes, sendo a maior concentração de 8,60% dos lineamentos, com azimutes entre 157,5° e 180°. O comprimento acumulado nos indica as direções NE–SW e N–S com azimutes entre 150° e 202,5° como as mais frequentes, sendo a maior concentração de 10,71% dos lineamentos, com azimutes entre 157,5° e 180°.

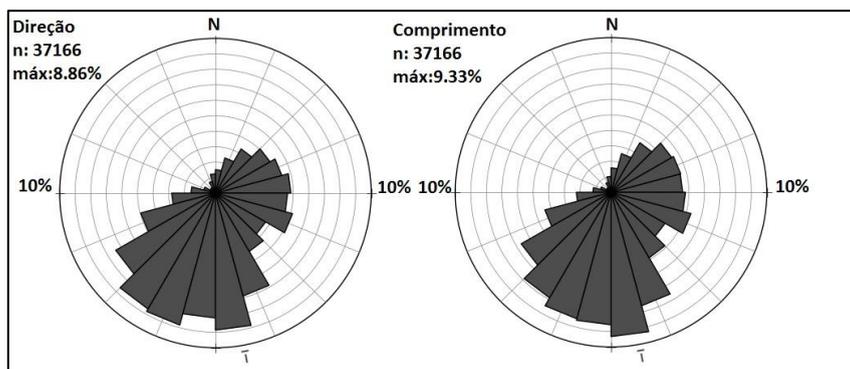


Diagrama 6. Diagramas de rosáceas da direção e comprimento dos lineamentos estruturais nos locais de hidrografia com padrão paralelo a sub-paralelo, da região da AMURES  
Fonte: Mendes, G. F. (2016)

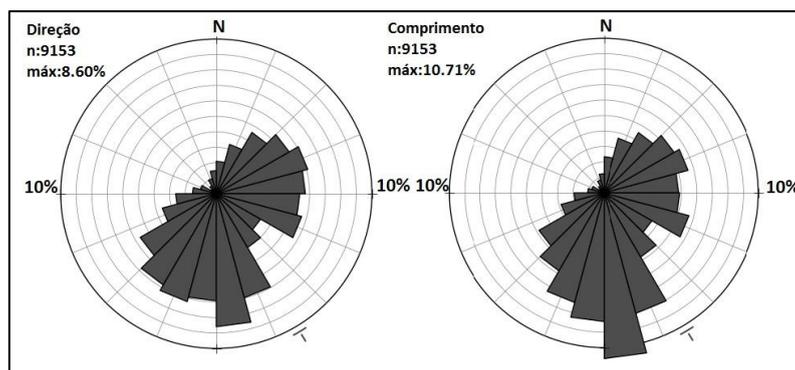


Diagrama 7. Diagramas de rosáceas da direção e comprimento dos lineamentos estruturais nos locais de hidrografia anelar a sub-anelar da região da AMURES  
Fonte: Mendes, G. F. (2016)

Através de todos os diagramas de lineamentos gerados nas diferentes áreas do Planalto Serrano, sendo analisados quanto à direção e comprimento acumulado, considerando diferentes condicionantes como os padrões de drenagens e as formações geológicas que poderiam de alguma forma modificar estas estruturas, pode-se supor que tanto a direção quanto o comprimento acumulado dos lineamentos da região estão preferencialmente no sentido NE–SW, sendo a direção secundária NW–SE. Quando se analisou separadamente por formações geológicas e padrões de drenagem, deduziu-se que na formação cristalina fraturada, onde o padrão de drenagem é dendrítico, as direções e comprimentos acumulados apresentam-se preferencialmente na direção NE–SW. No restante da região os lineamentos apresentam direções e comprimentos acumulados preferenciais no sentido NW–SE, localizadas na Região da formação porosa intergranular, onde encontra-se o padrão de drenagem paralelo, estando também nesta área o Domo de Lages apresentando o padrão de drenagem como sendo o anelar.

## 6 DISCUSSÃO

Na gestão de recursos hídricos subterrâneos, é muito importante entender o comportamento geral e as características das unidades hidrogeológicas acumuladoras e transmissoras de água. Neste contexto ressaltam-se as unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Guarani, que na região de interesse são representados pelas Formação Botucatu (idade jurássica), confinada no topo pela Formação Serra Geral e, na base, pelas formações porosas de idade permiana do Grupo Passa Dois, lembrando que para fins práticos de análise, considerou-se a Formação Botucatu (SAG) e as formações permianas do grupo Passa Dois, como a região das unidades porosas intergranulares.

O SAG devido à sua grande extensão abrange materiais de grande heterogeneidade, o que lhe confere comportamentos diferentes com relação aos aspectos hidrogeológicos e hidrogeoquímicos, e, devido a insuficiência de dados nos processos analisados, não foi possível ainda estabelecer uma correlação direta entre graus e tipos de lineamentos estruturais com as unidades hidrogeológicas da região, a partir de dados hidrogeoquímicos.

As maiores vazões em valores absolutos registradas em alguns poços analisados nesta unidade, na região da AMURES, como pode atestar a figura 6, variam da ordem de 10 a 32 m<sup>3</sup>/h, com valor médio de 5,26 m<sup>3</sup>/h. Ressalta-se que na mesma figura, incluem-se também as unidades de idade permiana, cujos poços apresentaram vazões da mesma ordem, ou menor, devido às características um tanto mais argilosas destas unidades, e que também ocorrem na porção nordeste da região. Observa-se que os valores baixos de vazões para a unidade da Formação Botucatu (jurássica) podem ser justificados pelo cozimento da rocha em contato direto com os basaltos por ocasião dos derrames dos magmas extrusivos a altas temperaturas (Washburne, 1930 e Leinz 1938, *apud* Montanheiro, 2011), ou por processos diagenéticos, hidrotermais tardios de silicificação ou mesmo por metamorfismo de contato, (Wernick ,1966 *apud* Montanheiro *op. cit*). Outra hipótese para as baixas vazões desta unidade (porosa intergranular) pode ser a captação de água diretamente em arenitos intertrápicos, na forma de lentes confinadas em profundidade, entre as camadas de basaltos e com baixa recarga, ou seja, sem ligação direta com a superfície, ou ainda pela localização dos poços nas áreas mais urbanizadas, com super-exploração, o que pode ocasionar rebaixamentos e dependendo da taxa de recarga destes locais, até o esgotamento dos poços. Estas situações deverão ser melhor investigadas no detalhamento deste estudo.

Com relação às profundidades, o aquífero poroso intergranular tem os maiores valores absolutos da ordem de 150 a 300 metros, semelhantes ao fraturado da Serra Geral, com um poço atingindo 640 metros. Supõe-se que a captação de água nesta unidade, possa estar ocorrendo tanto na Formação Botucatu, a exemplo do poço de 640 metros, que teria atravessado a espessura do

Serra Geral, como nos arenitos intertrápicos intercalados nesta formação, e com as menores profundidades. Observa-se que nos processos analisados, embora as coordenadas de alguns dos poços estivessem alocadas em planta na Formação Serra Geral, o projeto construtivo indicava a captação no poroso, o que reforça a hipótese da presença de camadas intertrápicas, de baixa vazão e baixa recarga, pelo confinamento ou silicificação. O poço de 640 metros, embora represente, pela profundidade, a provável captação na Formação Botucatu, ainda assim apresenta baixa vazão, justificada também pelo possível contato direto com a base de derrames basálticos que teriam alterado as condições texturais da rocha porosa nas proximidades deste contato.

Em linhas gerais, os poços com estas profundidades coincidem com as áreas das maiores vazões absolutas, atestadas na porção norte e nordeste da região da AMURES.

Conforme apresentado no item 3.1, os autores apresentam como direções das principais falhas que ocorrem na Bacia do Paraná NNE, WNW e NW, além de E-W, NW-SE e NE-SW, sendo que estas duas últimas coincidem com as direções dos lineamentos estruturais identificados na região da AMURES, com maior frequência na direção NE-SW, conforme o diagrama 1. Por outro lado, observando-se a região do poroso intergranular, a maior frequência está na direção NW-SE, ressaltando-se que estas direções são as que ocorrem nas localidades identificadas com os maiores valores absolutos das vazões e de extensão, conforme as diagrama 4.

Os padrões de drenagem atestados na unidade porosa intergranular na porção norte/nordeste da região da AMURES são do tipo paralelo e anelar, este último na região do Domo de Lages, conforme a figura 9. Observa-se que no primeiro padrão, há uma intensificação da rede de drenagem que se dispõe em canais principais regularmente espaçados e paralelos, ou sub-paralelos. A drenagem secundária relaciona-se aos rios principais em ângulos muito agudos. Este padrão de drenagem está claramente condicionado e encaixado aos lineamentos identificados na área, ou seja, a drenagem paralela posiciona-se na direção NE-SW e a drenagem secundária segue um padrão NW-SE, demonstrados no diagrama 6. Também há uma correlação direta com a densidade de lineamentos. Por outro lado, o padrão anelar de drenagem nas cercanias do domo, apresenta rios principais com padrão circular e tributários em ângulos retos. Analisando-se o diagrama 7, observa-se uma maior frequência de drenagem condicionada no padrão de lineamento na direção NW-SE, com o maior comprimento acumulado coincidindo na mesma direção. Os demais lineamentos aparentemente não apresentam uma correlação direta com o padrão paralelo de origem do poroso intergranular, o que denota uma perturbação tectônica-estrutural podendo estar relacionada à influência da colocação do Domo de Lages, que teria condicionado a um novo sistema de fraturamentos.

Quanto à unidade fraturada da Formação Serra Geral, as maiores vazões em termos absolutos ficaram entre 10 e 30 m<sup>3</sup>/h, com média de 5,71 m<sup>3</sup>/h, com poços localizados na porção noroeste e ao sul da região da AMURES (figura 7). Possivelmente, em linhas gerais, a baixa vazão média da formação esteja mais relacionada a fraturamentos semi-abertos, ou parcialmente colmatados por sedimentos de frações mais finas, oriundos de porções alteradas de partes superiores da rocha, ou a baixa interligação das estruturas. Os poços com os maiores valores absolutos podem estar relacionados diretamente com as maiores densidades de lineamentos, que facilitam a recarga desta formação. Entrementes, pelo valor médio baixo de vazão, supõe-se que nesta região, não há recarga do SAG para o SASG, fato esse que deverá ser melhor investigado em estudos futuros.

A figura 3, que apresenta as maiores profundidades, em valores absolutos, da ordem de 150 a 300 metros, com média da ordem de 127 metros. As localidades com os poços que atestam as maiores profundidades estão correlacionáveis com as mesmas localidades das maiores vazões registradas no estudo.

Os lineamentos da Formação Serra Geral nos locais de maiores vazões estão preferencialmente nas direções NE-SW e NW-SE, sendo a primeira a mais importante e são coincidentes com as estruturas regionais da Bacia do Paraná, do mesmo modo que o comprimento acumulado coincide com as mesmas frequências daquelas direções (diagrama 3).

O padrão de drenagem identificado na Formação Serra Geral é do tipo dendrítico a sub-dendrítico, com arranjo espalhado, com as principais direções de lineamentos para NE-SW e NW-SE, e, neste caso, não se observa um condicionamento ou encaixe do padrão de drenagem com estes lineamentos. Este comportamento está em consonância com o comprimento acumulado dos lineamentos (diagrama 5).

## 7 CONCLUSÕES

O estudo preliminar sobre os aspectos hidrogeológicos e sua correlação com os lineamentos presentes na região da AMURES, permitiram tecer as seguintes conclusões:

A integração dos dados estruturais, hidrogeológicos e padrões de drenagem permitiram reconhecer parâmetros condicionantes e padrões para os sistemas aquíferos estudados na região da AMURES;

O tratamento dos lineamentos nos locais com as maiores vazões permitiu definir a extensão e direção predominantes nestas áreas;

Os lineamentos de pequeno a médio porte dominam na maior parte da região da AMURES, tendo poucos lineamentos maiores que 3,2 Km, considerados como macro-lineamentos, que não

possuem relação direta com as vazões, estando mais relacionadas com as densidades de lineamentos em toda a região da AMURES;

As baixas vazões do poroso intergranular estão possivelmente relacionadas com processos de silicificação e cozimento, pela proximidade com os basaltos da Formação Serra Geral;

A possível existência de arenitos intertrápicos entre os eventos de derrames basaltos da Formação Serra Geral, pode estar relacionada às baixas vazões, pelo confinamento e baixa ou nenhuma recarga;

As correlações existentes encontradas entre os dados hidrogeológicos e os poços tubulares profundos da região nos mostra uma possível ligação entre a densidade de lineamentos estruturais e a recarga das águas subterrâneas, sendo necessário um controle rigoroso de uso e ocupação do solo nas regiões mais fraturadas, principalmente nas cidades de Lages, Urubici, São Joaquim, Capão Alto e São José do Cerrito, que apresentam alta densidade de lineamentos nos centros urbanos, evitando a contaminação dos aquíferos;

Os resultados encontrados para os poços do Aquífero Poroso Intergranular, nos indica que possa existir uma relação entre as estruturas do Domo de Lages e a recarga desta fonte de água subterrânea;

As direções principais dos lineamentos no sentido NE-SW e NW-SE estão em consonância com as estruturas regionais da Bacia do Paraná e correlacionam-se com os poços de maiores vazões absolutas, locais das maiores densidades de lineamentos;

Devido ao grau de complexidade do estudo e à extensão elevada da área da região da AMURES, apresentam-se hipóteses sobre a correlação entre dados hidrogeológicos e os lineamentos estruturais, sendo necessários estudos de detalhamentos, através da aferição de dados nas empresas contratadas para a perfuração dos poços e atividades de campo;

A utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), o Arc Gis 10.1, para o processamento de dados com os mais variados tipos de informações, mostrou-se uma excelente ferramenta para a superposição dos dados, interpretação e geração de resultados em base georreferenciada, além de servir como base no gerenciamento e conservação das águas subterrâneas do Planalto Serrano Catarinense, levando em consideração dados de processos de outorga de água, formações geológicas, lineamentos estruturais e a hidrografia da região;

Finalizando, com os resultados preliminares da caracterização hidrogeológica na região da AMURES e sua correlação com os lineamentos estruturais, pode-se estabelecer algumas diretrizes importantes, nas tomadas de decisão do poder público, com relação ao gerenciamento e proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

## 8 REFERÊNCIAS

HAMAN, P. J.; JURGENS, K. *The discovery of the Caroline Arch*. Lineament analysis. *International Conference of New Basement Tectoncs* (1974).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base Cartográfica 1:250.000 em shapefile. Disponível em: <<http://www.processamentodigital.com.br/2014/04/20/ibge-bc250-em-shapefile-download-2/>>. Acesso em: 10 marc. 2016.

MENDES, G. F. A relação entre a hidrogeologia e os lineamentos estruturais do Planalto Serrano do Estado de Santa Catarina, com o uso de geotecnologias. 2016. 87 f. Relatório de Estágio (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2016.

MONTANHEIRO, T. J.; Artur, A. C.; Montanheiro, F.; Negri, F. A.; Gesicki, A. L.; Boggiani, P. C. Investigação tecnológica de arenitos silicificados da Formação Botucatu (NE do Paraná) para uso como rocha de revestimento. *Geociências*. (São Paulo) vol.30 n°.2 São Paulo 2011.

ROLDAN, L. F; Machado, R.; Steiner, S. S.; Warren, L. V. Análise de Lineamentos Estruturais no Domo de Lages (SC) com uso de Imagens de Satélite e Mapas de Relevo Sombreado. In: *Revista do Instituto de Geociências (USP)*, v. 10, 2010.

SUMMERFIELD, M. A. *Global geomorfologia: uma introdução ao estudo das Formações*. Universidade da Califórnia. Longman Scientific & Technical, 1991.