

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Câmpus Londrina

Curso de Engenharia Ambiental

Giselly Peterlini

**MAPEAMENTO DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS E SUA INFLUÊNCIA NA
POTENCIALIDADE HÍDRICA DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NA
BACIA DO RIBEIRÃO CAMBÉ EM LONDRINA, PR**

Londrina

2017

Giselly Peterlini

**MAPEAMENTO DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS E SUA INFLUÊNCIA NA
POTENCIALIDADE HÍDRICA DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NA
BACIA DO RIBEIRÃO CAMBÉ EM LONDRINA, PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos

Londrina

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Mapeamento de Lineamentos Estruturais e sua Influência na Potencialidade Hídrica do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia do Ribeirão Cambé em Londrina, PR

por

Giselly Peterlini

Monografia apresentada no dia 21 de junho de 2017 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____
(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. André Celligoi
(UEL – Departamento de Geografia)

Prof. Dr. Marcelo Eduardo Freres Stipp
(UTFPR)

Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

Aos meus pais. Inspiração de amor,
honestidade, esforço e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu forças, me guiou e muitas vezes me mostrou o caminho certo a seguir. Por ter me dado saúde e por ter acalmado meu coração e mente nos momentos difíceis, tornando possível a conclusão desta etapa tão importante.

Também aos meus queridos pais, por todo amor, por me transmitirem valores para ser uma pessoa mais humana e honesta, por me ensinarem a buscar meus objetivos com muito trabalho e respeito ao próximo, por me incentivarem e me darem suporte de todas as formas possíveis no decorrer da graduação. Sem vocês eu não seria metade do que sou.

Às minhas irmãs, Francielly e Danielly, aos meus cunhados Carlos e Mario, ao meu sobrinho Arthur (Tuti) e afilhada Luiza, que sempre buscaram me alegrar e me fazer esquecer os problemas e dificuldades da graduação e por todos os elogios e incentivos a cada conquista. Amo vocês!

Também agradeço imensamente ao Thiago, colega de Iniciação Científica, que no decorrer deste trabalho se tornou um amigo. Por toda a sua ajuda e paciência, me explicando e ensinando a utilizar uma das principais ferramentas deste trabalho. Muito obrigada por tudo Thiago!

Um agradecimento especial ao meu orientador Maurício Moreira dos Santos, por primeiramente ter me dado a oportunidade de participar do seu grupo de trabalho na iniciação científica e por sempre me transmitir seus conhecimentos, ideias e sugestões com muita paciência e carinho, contribuindo grandemente para que meu trabalho progredisse a cada dia.

Ao professor Edson Fontes de Oliveira, a minha gratidão, por me auxiliar no decorrer deste trabalho com as análises estatísticas, expondo suas ideias, sugestões e experiências. Muito obrigada professor por, mesmo não compondo a minha banca, estar sempre disposto a ajudar e enriquecer ainda mais meu trabalho.

Por fim, aos amigos e professores que me auxiliaram de alguma forma durante a minha graduação e me ajudaram a chegar até aqui.

A todos, a minha eterna gratidão!

“Sonhos determinam o que você quer. Ação
determina o que você conquista”.
(Aldo Novak)

RESUMO

PETERLINI, Giselly. **Mapeamento de lineamentos estruturais e sua influência na potencialidade hídrica do Sistema Aquífero Serra Geral na bacia do Ribeirão Cambé em Londrina, PR.** 2017. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2017.

A demanda por recursos naturais, principalmente hídricos, para atender as mais diversas atividades humanas é crescente e para suprir a essa demanda é notável a utilização das águas subterrâneas. Isto já é uma realidade no município de Londrina-PR, que está localizado sobre o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), aquífero do tipo fissural em que a circulação e o armazenamento de água está condicionado às descontinuidades físicas da rocha (juntas, falhas e fraturas). As fraturas, apresentam-se como feições retilíneas no relevo e quando mapeáveis na superfície terrestre, são chamadas de lineamentos estruturais. O objetivo deste trabalho foi identificar e mapear os principais lineamentos estruturais do SASG e sua influência na produtividade hídrica de poços tubulares presentes na bacia do Ribeirão Cambé em Londrina-PR por meio de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Para a identificação e mapeamento dos lineamentos estruturais foi criado um banco de dados georreferenciado em SIG, em que foram utilizadas e processadas imagens do tipo radar (SRTM) e do satélite Landsat 8-OLI. Foi aplicada a técnica de relevo sombreado à imagem SRTM, utilizando quatro diferentes tipos de ângulos de iluminação, sendo eles 45°, 135°, 225° e 315° afim de ressaltar as principais feições do terreno. Já na imagem de satélite, foi feito o fusonamento das bandas multiespectrais (30m de resolução espacial) com a banda pancromática (15m) e realizada a composição colorida RGB utilizando as bandas 1, 2 e 3 respectivamente. Para a análise de dados, foram elaborados diagramas roseta de frequência dos lineamentos estruturais bem como foi feita a estatística descritiva aplicada aos dados de poços, sendo utilizados a vazão, capacidade específica, profundidade, nível estático e nível dinâmico. Para análise da correlação existente entre os poços tubulares e os lineamentos estruturais, foi aplicada a ferramenta *buffer* aos lineamentos, utilizando classes de 200 m e realizada a Análise Multivariada de Variância (MANOVA) e Análise Discriminante Canônica (ADC). Dos resultados obtidos, foram identificados 22 lineamentos estruturais através da imagem SRTM e 14 lineamentos por meio da imagem Landsat 8-OLI. A imagem que possibilitou melhor identificação de lineamentos foi a imagem STRM, com direção predominante das fraturas em NW. A MANOVA confirmou que as variáveis dos poços analisadas apresentavam diferenças entre os grupos de buffers definidos a priori, enquanto que a ADC demonstrou que a variável vazão é a mais influenciada pela distância entre o poço e o lineamento, seguida pela capacidade específica. Ainda com relação à produtividade, foi observado que esta é influenciada também pela profundidade dos poços. Por fim, foi possível demonstrar a importância dos estudos hidrogeológicos para a gestão de recursos hídricos e para a economia, auxiliando na redução de impactos ambientais, bem como na redução de dispêndios financeiros em perfurações de poços muito profundos e pouco produtivos ou até mesmo a perfuração de poços secos.

Palavras-chave: Lineamentos Estruturais. Produtividade de Poços Tubulares. Gestão de Recursos Hídricos. Redução de Impactos Ambientais.

ABSTRACT

PETERLINI, Giselly. **Mapping of structural lineaments and their influence on the water potential of the Serra Geral Aquifer System in the Ribeirão Cambé basin in Londrina, PR.** 2017. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2017.

The demand for natural resources, mainly water, to attend the most diverse human activities is increasing and to supply this demand the utilization of groundwater is notable. This is already a reality in the municipality of Londrina-PR, which is located on the Serra Geral Aquifer System (SASG), a fractured type aquifer in which the water circulation and storage is conditioned to the physical discontinuities of the rock (joints, faults and fractures). The fractures, present as rectilinear features in the relief and when mappable in the terrestrial surface, are called structural lineaments. The objective of this work was to identify and map the main structural lineaments of the SASG and its influence on the hydrological potential of tubular wells in the Ribeirão Cambé basin in Londrina-PR by using geoprocessing and remote sensing tools. For the identification and mapping of the structural lineaments, a georeferenced GIS database was created, in which radar (SRTM) and Landsat 8-OLI satellite images were used and processed. The shaded relief technique was applied to the SRTM image, using four different types of lighting angles: 45 °, 135 °, 225 ° and 315 ° for the purpose of reinforce the main features of the terrain. In the satellite image, the multispectral bands (30m spatial resolution) were merged with the panchromatic band (15m) and the RGB color composition was performed using bands 1, 2 and 3, respectively. For the data analysis, rosette frequency diagrams of the structural lineaments were elaborated as well as the descriptive statistics applied to the wells data, using the outflow, specific capacity, depth, static level and dynamic level. For the analysis of the correlation between the tubular wells and the structural lineaments, the buffer tool was applied to the lineaments, using classes of 200 meters and using the Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) and Canonical Discriminant Analysis (CDA). From the obtained results, 22 structural lineaments were identified through the SRTM images and 14 lineaments through the Landsat 8-OLI images. The images that allowed a better identification of lineaments was the SRTM images, in which the predominant direction of the fractures was NW. MANOVA confirmed that the variables of analyzed wells had differences between the groups of buffers defined a priori defined, whereas the ADC showed that the flow variable is the most influenced by the distance between the well and the line, followed by the specific capacity. Also with regard to productivity, it was observed that this is also influenced by the depth of the wells. Finally, it was possible to demonstrate the importance of hydrogeological studies for the management of water resources and for the economy, helping to reduce environmental impacts, as well as reducing financial expenditures for drilling very deep wells or even drilling wells.

Keywords: Structural Lineaments. Tubular Well Productivity. Reduction of Environmental Impacts. Management of Water Resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desenho esquemático apresentando o Ciclo da água na Terra.....	15
Figura 2 – Desenho com a classificação de aquíferos de acordo com características hidráulicas.....	17
Figura 3 - Classificação de aquíferos de acordo com a porosidade da rocha	18
Figura 4 - Processos de deformações nas rochas. a) Processos de dobramento. b) Processo de falhamento	19
Figura 5 - Províncias e subprovíncias hidrogeológicas do Brasil.....	20
Figura 6 - a) Desenho da composição litológica do Estado do Paraná. b) Cobertura sedimentar e vulcânica Mesozoica da Bacia do Paraná.....	22
Figura 7 - Expressão em superfície de uma zona de fratura	24
Figura 8 - Mapa de localização da bacia do Ribeirão Cambé	27
Figura 9 - Hipsometria da bacia do Ribeirão Cambé	29
Figura 10 - Mapa das Classes de Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cambé ..	30
Figura 11 - Bacia do ribeirão Cambé e Rede de drenagem	31
Figura 12 - Sequência de imagens SRTM apresentando o Relevo Sombreado com ângulo de iluminação de 45° (a), 135° (b), 225° (c) e 315° (d).....	34
Figura 13 - Fluxograma das etapas do processo de tratamento de imagens	36
Figura 14 - Imagem fusionada com composição RGB das bandas 1, 2, e 3 respectivamente	37
Figura 15 - Diagramas de frequência do comprimento de lineamentos estruturais. a) Observados na imagem SRTM; b) Observados na imagem Landsat-8 OLI.....	44
Figura 16 - Mapa de lineamentos estruturais interpretados utilizando as imagens SRTM com relevo sombreado.....	46
Figura 17 - Mapa de lineamentos estruturais interpretados utilizando a imagens do satélite Landsat-8 OLI	47
Figura 18 - Diagrama roseta da frequência acumulada dos lineamentos estruturais observados na imagem SRTM e na imagem Landsat-8 OLI.....	48
Figura 19 - Diagramas de frequência de vazão dos poços. a) Frequência Relativa; b) Frequência Acumulada.....	49
Figura 20 - Diagramas de frequência de capacidade específica dos poços. a) Frequência Relativa; b) Frequência Acumulada.....	51
Figura 21 - Diagramas de frequência de profundidade dos poços. a) Frequência Relativa; b) Frequência Acumulada	52

Figura 22 - Diagramas de frequência de profundidade do Nível Estático dos poços. a) Frequência Relativa; b) Frequência Acumulada	53
Figura 23 - Diagramas de frequência de profundidade do Nível Dinâmico dos poços. a) Frequência Relativa; b) Frequência Acumulada	54
Figura 24 - Mapa de buffers aplicados aos lineamentos estruturais e localização dos poços tubulares na bacia do Ribeirão Cambé	55
Figura 25 - Análise Discriminante Canônica (ADC) entre os poços tubulares e grupos de buffers	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1 Distribuição hídrica e o ciclo hidrológico	15
3.2 Importância das águas subterrâneas	16
3.3 Classificação dos reservatórios de águas subterrâneas	16
3.4 Como ocorrem as deformações nas rochas.....	18
3.5 Províncias Hidrogeológicas	19
3.6 Geologia do Estado do Paraná	21
3.7 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)	22
3.8 Utilização dos Sistemas de Informação Geográfica aplicado às águas subterrâneas.....	23
3.8.1 Identificação e Características de Lineamentos Estruturais.....	24
3.9 Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS)	26
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 Caracterização da área de estudo	27
4.1.1 Clima.....	27
4.1.2 Geologia.....	28
4.1.3 Geomorfologia	28
4.1.4 Pedologia	30
4.1.5 Hidrografia	31
4.2 Identificação de Lineamentos Estruturais	32
4.2.1 Tratamento de Imagens	32
4.2.2 Interpretação de Lineamentos Estruturais	37
4.3 Dados Hidrogeológicos de Poços Tubulares	38
4.4 Análise Estatística.....	39
4.4.1 Aplicada aos dados de Poços Tubulares	39
4.4.2 Aplicada aos Lineamentos Estruturais	41
4.4.3 Correlação entre os Lineamentos e os Poços Tubulares.....	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 Mapeamento de Lineamentos Estruturais	44

5.2 Estatística Descritiva dos Poços Tubulares	48
5.2.1 Vazão.....	49
5.2.2 Capacidade Específica	50
5.2.3 Profundidade.....	51
5.2.4 Nível Estático	52
5.2.5 Nível Dinâmico.....	53
5.3 Análise de Correlação entre os dados	54
5.3.1 Análise Multivariada de Variância	54
5.3.2 Análise Discriminante Canônica	56
6 CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

O planeta Terra é composto por três sistemas naturais físicos complexos denominados: Atmosfera; Litosfera e Hidrosfera, sendo que o conjunto destes três grandes ambientes terrestres origina a Biosfera, onde os seres vivos estão inseridos. Todas as esferas possuem inter-relação e estão em constante processo natural de modificação, evolução e transformação desde a origem do planeta (PENTEADO, 1992).

Carneiro et al. (2009) explicam que os processos ocorridos na litosfera alteram a crosta terrestre e deformam as rochas que a constitui. Com origem, primeiro no interior da Terra, devido ao movimento tectônico e posteriormente, no seu exterior, devido à exposição da rocha a ação de agentes físicos, químicos e biológicos, associado, principalmente a hidrosfera. As deformações dão origem a estruturas: como dobras, falhas e fraturas. Quando em contato com a água, as rochas e suas estruturas funcionam como verdadeiros reservatórios subterrâneos, armazenando, transportando e protegendo a água (ALMEIDA et al., 2006). As fraturas, quando mapeáveis na superfície terrestre, são conhecidas como lineamentos estruturais (O'LEARY et al., 1987).

Além dos processos naturais de transformação, o fator antrópico vem exercendo mudanças significativas no planeta, o que implica uma demanda cada vez maior de recursos naturais, principalmente hídricos, para o desenvolvimento das mais diversas atividades, sejam elas agrícolas, industriais ou domésticas. Tundisi (2003) e Almeida et al. (2006) afirmam que considerando o modo desigual com que a água está distribuída na Terra, resta uma pequena parcela deste recurso facilmente disponível para consumo humano.

Para suprir esta demanda por recursos hídricos, diversos trabalhos apresentam a crescente utilização das águas subterrâneas para o abastecimento humano e este fato ocorre devido ao avanço nas tecnologias de perfuração de poços bem como aos benefícios econômicos, haja vista a não utilização de tratamentos químicos complexos, uma vez que a qualidade das águas subterrâneas é geralmente melhor que a dos mananciais superficiais devido à camada de proteção natural composta por solos e rochas (FEITOSA et al., 2008).

No entanto, o aumento do uso destes reservatórios, que muitas vezes ocorre de forma incorreta, pode causar a superexploração das águas subterrâneas,

gerando uma série de efeitos negativos, como “sérias reduções nas descargas de base dos rios, interferir nos níveis mínimos de pantanais ou de açudes, secar fontes e provocar afundamentos da superfície de terrenos” (REBOUÇAS, 2004).

Esta crescente utilização das águas subterrâneas é uma realidade no município de Londrina-PR, que está localizado sobre o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), sendo este uma fonte complementar de abastecimento por setores industriais, particulares e atividades ligadas ao comércio (CELLIGOI; BRITO, 1999). Devido a estes aspectos, constata-se que se intensificará a exploração da água tanto de reservatórios superficiais quanto subterrâneos na região de estudo, demonstrando a extrema importância da utilização de águas de boa qualidade e em disponibilidade adequada para atender aos diferentes usos.

Neste sentido, o presente estudo tem por finalidade a avaliação hidrogeológica do SASG, identificando e avaliando, através do mapeamento estrutural com o uso de geoprocessamento e sensoriamento remoto, as características de potencialidade aquífera. Com as informações obtidas foram gerados mapas dos principais lineamentos estruturais pertencentes ao SASG na bacia do Ribeirão Cambé, bacia esta que abrange parte da área urbana de Londrina e onde se concentra grande quantidade de poços. Também foram realizadas análises estatísticas para identificar a correlação existente entre os poços e as estruturas, afim de que estas informações possam auxiliar, inclusive, na locação futura de poços tubulares, contribuindo para um melhor planejamento e gestão dos recursos hídricos em Londrina.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Identificar e mapear os lineamentos estruturais e/ou sistema de fraturamento nas rochas basálticas e sua influência na potencialidade do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) utilizando ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na bacia do Ribeirão Cambé em Londrina, Paraná.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar e mapear os lineamentos estruturais utilizando imagens de sensoriamento remoto;
- Levantar, por meio de dados obtidos do SIAGAS, os poços tubulares cadastrados e localizados na bacia do Ribeirão Cambé;
- Realizar análise estatística descritiva aplicada aos dados de vazão, capacidade específica, profundidade, nível estático e nível dinâmico dos poços tubulares bem como análise estatística dos lineamentos estruturais por meio de diagramas de roseta;
- Identificar a correlação existente entre os lineamentos estruturais e os dados hidrodinâmicos dos poços tubulares cadastrados, avaliando se estes conferem maior produtividade aos poços da bacia do Ribeirão Cambé;
- Avaliar, por meio da aplicação da ferramenta *buffer* aos lineamentos e da Análise Multivariada de Variância (MANOVA), se há diferenças entre variáveis (dados de poços) quando utilizadas em conjunto;
- Observar, através da aplicação da Análise Discriminante Canônica (ADC), qual variável mais segrega os grupos de *buffers* ao longo da bacia em estudo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Distribuição hídrica e o ciclo hidrológico

Essencial à vida, é da água que depende a sobrevivência dos organismos vivos na Terra (TUNDISI, 2003). A água ocorre na atmosfera, na superfície e na subsuperfície da Terra, concentrando sua maior parte nos mares e oceanos (97,5%) e apenas 2,5% está disponível como água doce (ALMEIDA et al., 2006). Esta pequena quantidade de água doce encontra-se, segundo Souza (2009), congelada em calotas polares (68,9%), em reservatórios subterrâneos (29,9%), em reservatórios superficiais (0,3%) e o restante (0,9%) encontra-se em outros reservatórios.

Segundo Iritani e Ezaki (2012), os reservatórios de água estão em constante intercâmbio e a energia solar é o motor que faz com que haja a circulação da água no planeta, chamada de ciclo hidrológico, apresentado na Figura 1. Ainda de acordo com as autoras, há diversos processos que compõem o ciclo hidrológico como a evaporação de reservatórios continentais e oceanos, a precipitação, a transpiração e evapotranspiração, o escoamento superficial e a infiltração nos solos, onde esta última dará origem às águas subterrâneas.

Figura 1 – Desenho esquemático apresentando o Ciclo da água na Terra



Fonte: Iritani e Ezaki (2012)

No entanto, Tundisi (2003) afirma que “as características do ciclo hidrológico não são homogêneas, causando uma distribuição desigual da água no planeta”. No Brasil isto não é diferente, onde a Região Norte possui cerca de 70% de toda a água doce disponível, enquanto que a Região Nordeste possui apenas cerca de 3,2% (ALMEIDA et al., 2006). Neste sentido, Santos (2011) demonstra que a situação da escassez e estresse hídrico está cada vez mais presente no Território Nacional e conhecer a distribuição espacial da oferta de água e a condição de qualidade das águas das principais bacias hidrográficas brasileiras é fundamental para a promoção de um planejamento eficiente, bem como para evitar conflitos de uso entre as várias atividades e os diversos segmentos sociais que a utilizam.

3.2 Importância das águas subterrâneas

Considerando que a demanda total de água da humanidade, segundo Feitosa et al. (2008) é de 70% para irrigação, 20% para indústrias e 10% para o consumo doméstico, o homem vem exigindo demandas cada vez maiores dos recursos hídricos para diversos usos (ALMEIDA et al., 2006) para atingir níveis de sustentação compatíveis com as pressões da sociedade de consumo, a produção industrial e agrícola, causando grande pressão sobre os mananciais (TUNDISI, 2003).

Surgem então neste contexto, com um papel de extrema relevância, as águas subterrâneas, principalmente pelo fato de esta ser uma alternativa barata, de fácil captação graças à tecnologia cada vez mais avançada na construção de poços e pela ausência de grandes investimentos para transporte ou tratamento prévio, pois ao infiltrarem no solo, o material aquífero não saturado funciona como um filtro e reator bio-geoquímico de depuração, protegendo as águas subterrâneas de agentes de degradação. (FEITOSA et al., 2008).

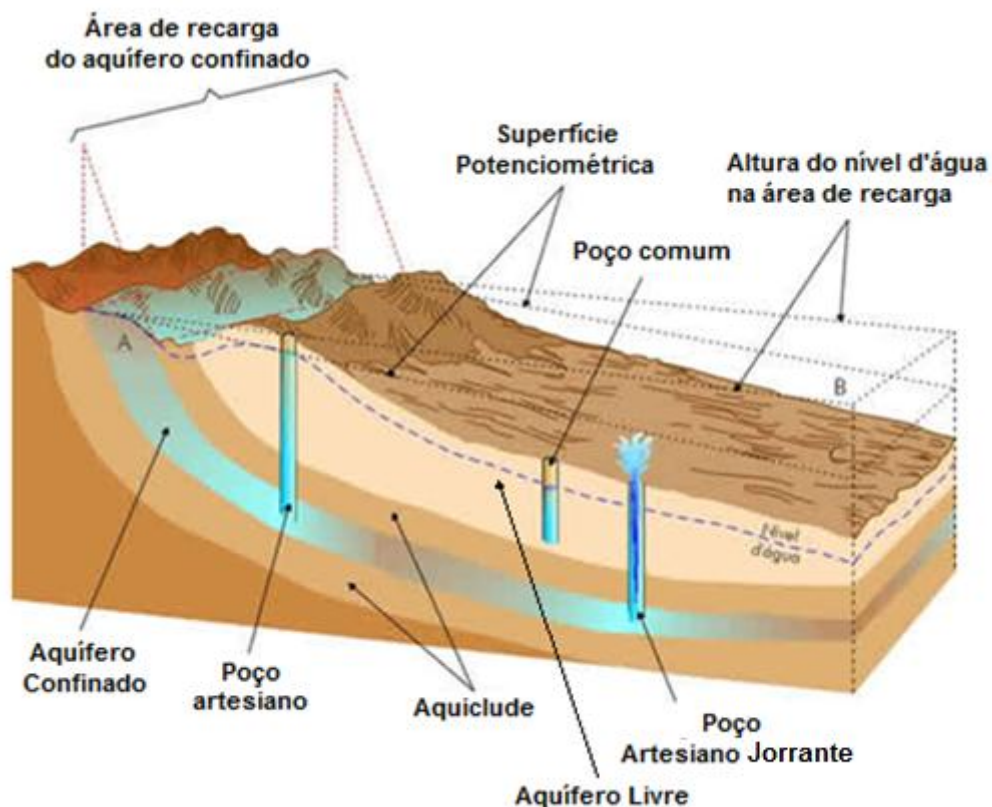
3.3 Classificação dos reservatórios de águas subterrâneas

Um reservatório de água subterrânea ou aquífero, como descreve Iritani e Ezaki (2012), é caracterizado por “camadas ou formações geológicas suficientemente permeáveis, capazes de armazenar e transmitir água em

quantidades que possam ser aproveitadas como fonte de abastecimento para diferentes usos” e podem ser classificados quanto às características hidráulicas, sendo livres ou confinados, bem como quanto à porosidade da rocha armazenadora, podendo ser granular, cárstico ou fissural.

Aquíferos livres, como explica Iritani e Ezaki (2012), são aqueles em que a superfície da zona saturada (nível freático ou nível d’água) entra em contato direto com a zona não saturada e, dessa forma, apresenta pressão igual à pressão atmosférica. Essa característica favorece a sua exploração e recarga enquanto que os aquíferos confinados são delimitados superior e inferiormente por formações total ou parcialmente impermeáveis, o que submete a água a uma pressão maior que a atmosférica (BOSCOV, 2008). Um esquema sobre os aquíferos livres e confinados é apresentado Figura 2.

Figura 2 – Desenho com a classificação de aquíferos de acordo com características hidráulicas



Fonte: Teixeira et al. (2009). Adaptado.

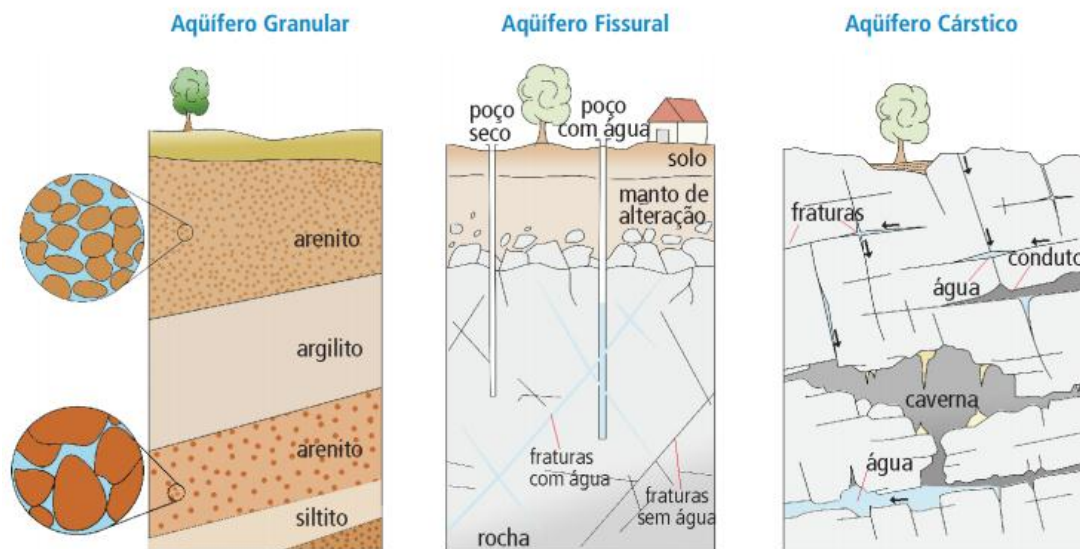
Os aquíferos granulares ou porosos são aqueles que ocorrem em rochas sedimentares, sedimentos não consolidados e solos arenosos residuais, onde a

água circula através dos poros milimétricos das rochas (BOSCOV, 2008). Já os aquíferos cársticos ocorrem em rochas carbonáticas, como os calcários, onde a água flui por condutos ou canais formados por um lento processo de dissolução da rocha quando esta entra em contato com águas ácidas, formadas pela combinação da água da chuva com o dióxido de Carbono (CO₂) (IRITANI; EZAKI, 2012).

Os aquíferos fissurais ou fraturados são formados por deformações tectônicas (processos de dobramento e falhamento) ou etapas de resfriamento e contração das rochas, gerando fraturas e permitindo a entrada da água, que só circula quando as fraturas que compõem o sistema estão interconectadas (TEIXEIRA et al., 2009). Ocorrem em rochas maciças e compactadas que não possuem espaços vazios entre os minerais, como basaltos, granitos e gnaisses (IRITANI; EZAKI, 2012).

A Figura 3 apresenta o esquema com os sistemas de armazenamento e circulação da água em aquíferos granulares, fissurais e cársticos.

Figura 3 - Classificação de aquíferos de acordo com a porosidade da rocha



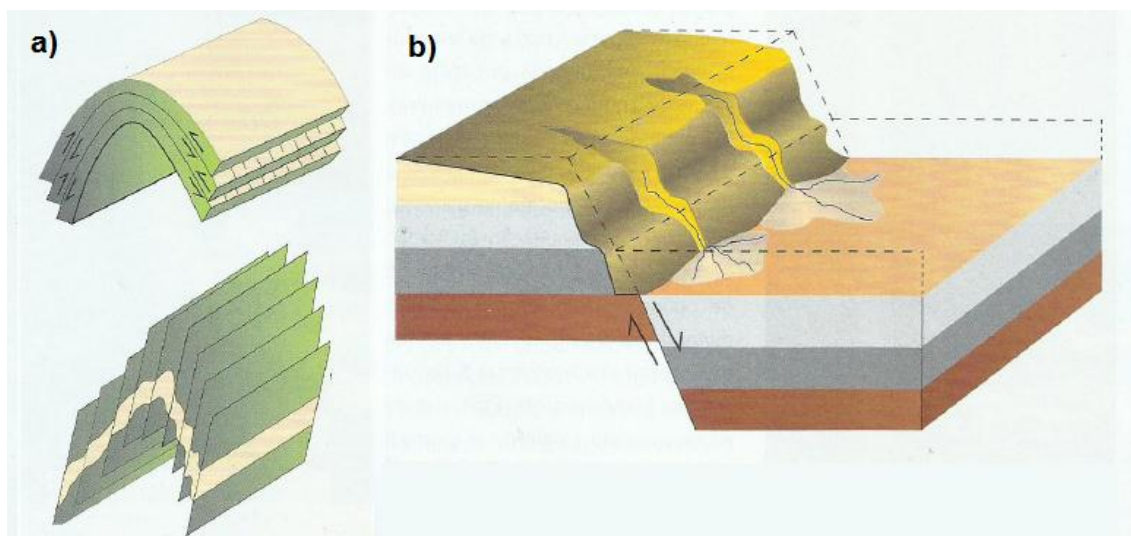
Fonte: Iritani e Ezaki (2012)

3.4 Como ocorrem as deformações nas rochas

De acordo com Teixeira et al. (2009), algumas condições físicas são fundamentais para que ocorram os processos de deformação das rochas, sendo elas: a pressão hidrostática/litostática e temperatura (que dependem da profundidade onde ocorre a deformação), condições termodinâmicas, velocidade ou

taxa de deformação e esforço aplicado à rocha. Os autores afirmam ainda que devido à estas condições, as deformações podem ser rúpteis (quebras e descontinuidades) ou dúcteis (deformação plástica sem perda de continuidade). As deformações dúcteis dão origem às dobras, quando a rocha se encontra em ambientes compressivos ou extensionais e as deformações rúpteis originam as falhas (TEIXEIRA et al., 2009). Um esquema dos dois tipos de deformação é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Processos de deformações nas rochas. a) Processos de dobramento. b) Processo de falhamento



Fonte: Teixeira et al. (2009). Adaptado

Falhas, como cita Teixeira et al. (2009), são estruturas de superfície descontínuas que apresentam deslocamento diferencial na ordem de centímetros a centenas de quilômetros, tendo como condição básica que este deslocamento ocorra ao longo de sua superfície, caso contrário, o movimento ocorrerá perpendicularmente à superfície e a estrutura receberá o nome de fratura.

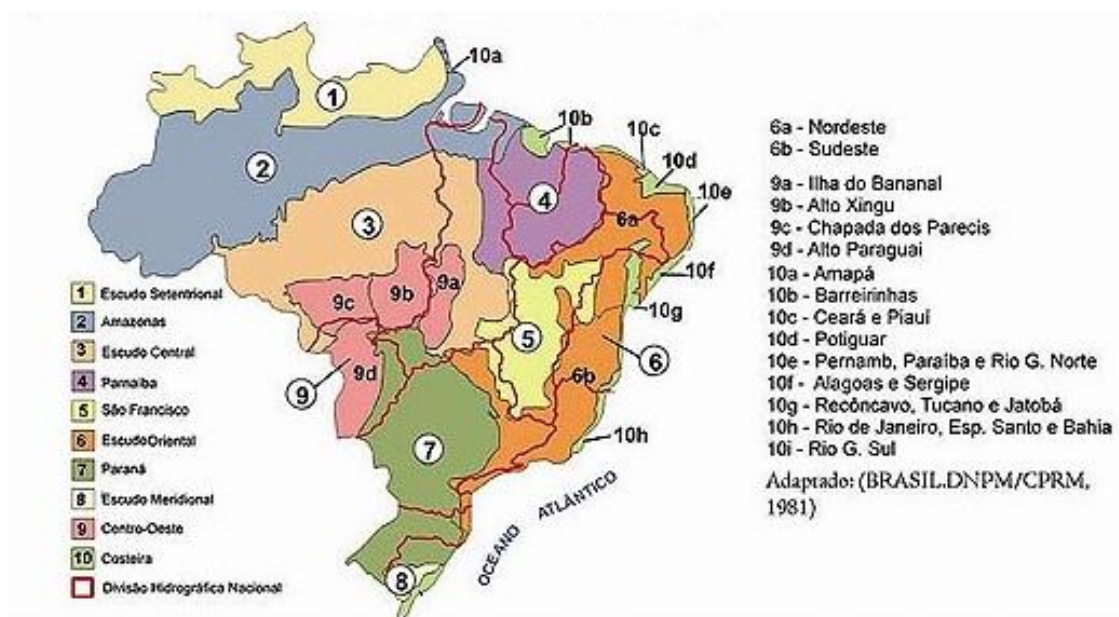
3.5 Províncias Hidrogeológicas

Considerando regiões de características gerais semelhantes quanto à ocorrência de águas subterrâneas, Pessoa et al. (1980) criaram dez províncias hidrogeológicas no Brasil, sendo elas: Escudo Setentrional, Amazonas, Escudo Central, Parnaíba, São Francisco, Escudo Oriental, Paraná, Escudo Meridional, Centro Oeste e Costeira, mostradas na Figura 5

A Província Paraná, como cita Pessoa et al. (1980), corresponde à Bacia do Paraná, com sedimentos predominantemente clásticos de espessura máxima de 7.800 metros. Os autores afirmam ainda que derrames de basalto da Formação Serra Geral funcionam como material confinante do sistema aquífero Botucatu, o principal da bacia.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2007), a Província Paraná possui os aquíferos mais promissores do país, tais como o Sistema Aquífero Guarani, Botucatu, Bauru-Caiuá, Serra Geral, o Furnas, Ponta Grossa e Aquidauana. Em consonância com Pessoa et al. (1980), Feitosa et al. (2008) afirma que o aquífero mais importante da província é o Botucatu, que representa cerca de 80% do potencial hidrológico da província, seguido do aquífero Serra Geral que tem comportamento fissurado, além do aquífero Bauru.

Figura 5 - Províncias e subprovíncias hidrogeológicas do Brasil



Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2007).

Pessoa et al. (2008) elucida que para a determinação de províncias hidrogeológicas, o fator geológico e o fisiográfico apresentam maior importância na determinação de uma província hidrogeológica e ainda destaca:

O geológico é o mais importante visto que a litologia, a estrutura e a tectônica controlam as condições de ocorrência, movimento e qualidade das águas subterrâneas. Em seguida vem o fisiográfico, compreendendo o

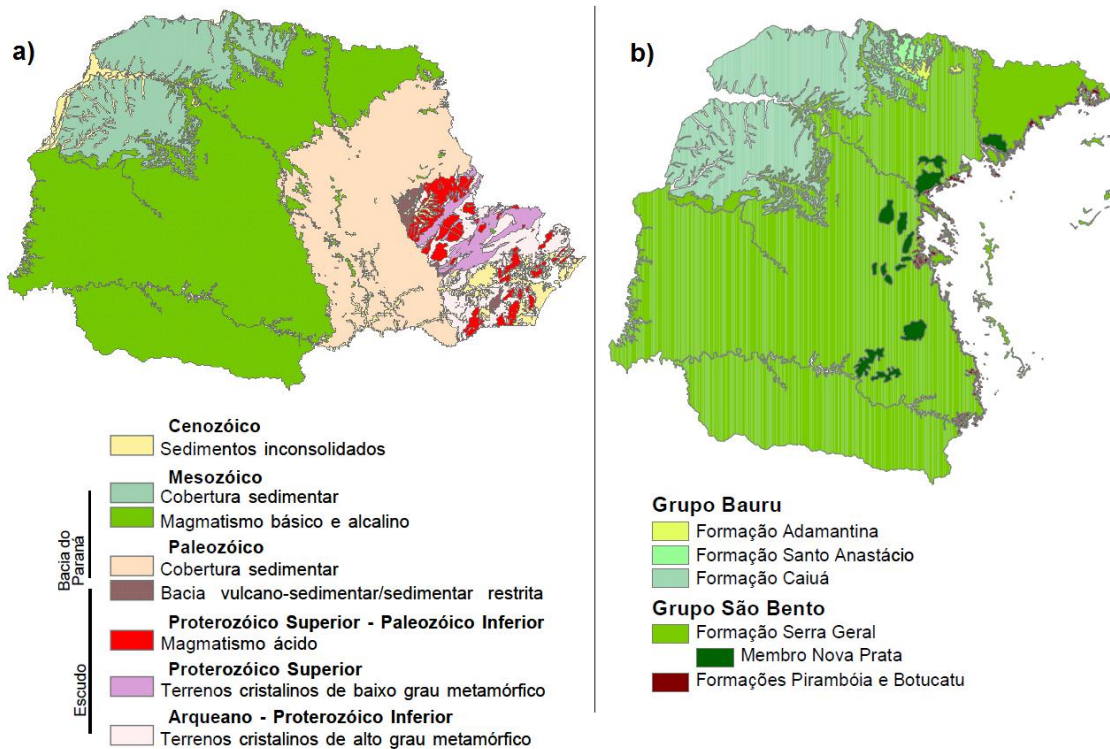
clima, a morfologia, a hidrografia, os solos e a vegetação, os quais podem operar mudanças radicais nas condições da água no subsolo, favorecendo ou não a produtividade hídrica de uma determinada região (PESSOA et al., 1980, p.462)

Quanto ao fator geológico, Feitosa et al. (2008) cita que mais de 50% do território brasileiro é formado de rochas metamórficas, quase todas de idade pré-cambriana, cobrindo uma área de 4,6 milhões de km², que constitui o embasamento da plataforma sul-americana. O mesmo autor afirma ainda que sobre este embasamento, distinguem-se coberturas de grandes extensões, como as Bacias sedimentares do Amazonas, Parnaíba e Paraná, bem como coberturas de menor extensão.

3.6 Geologia do Estado do Paraná

A Bacia do Paraná, apresentada na Figura 6, cobre a maior parte do estado do Paraná e é formada por três conjuntos litológicos, sendo estes o Paleozoico, Mesozoico e Cenozoico onde, no conjunto Mesozoico surgiu a Formação Serra Geral que pertence ao Grupo São Bento e é constituída por extensos derrames de rochas ígneas, com predomínio de basaltos (MINEROPAR, 2001).

Figura 6 - a) Desenho da composição litológica do Estado do Paraná. b) Cobertura sedimentar e vulcânica Mesozoica da Bacia do Paraná



Fonte: Mineropar (2001). Adaptado

As rochas ígneas, de acordo com o Mineropar (2001), formam-se devido à cristalização do magma e podem ser divididas em rochas intrusivas ou extrusivas:

A rocha ígnea intrusiva é formada no interior da crosta terrestre, tem textura granular média a grosseira devido ao resfriamento lento do magma. A ígnea extrusiva é formada na superfície da crosta terrestre, é vítrea ou de granulação fina devido ao resfriamento rápido do magma. Pode ter cavidades devido à separação de gases do magma (MINEROPAR, 2001, p.7).

3.7 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)

Devido às suas características litológicas de rochas ígneas, no SASG “o armazenamento e a circulação da água ocorrem segundo as discontinuidades físicas da rocha (juntas, falhas geológicas e superfícies interderrames), constituindo-se em um meio heterogêneo e anisotrópico” (REBOUÇAS, 1978 apud ROSA FILHO et al., 2006).

No entanto, de acordo com Celligoi e Brito (1999), as suítes vulcânicas da Formação Serra Geral possuem características litológicas que as diferem

hidrogeologicamente dos demais meios fraturados, tanto daqueles com rochas ígneas plutônicas quanto de metamórficas. Os autores explicam que nos topos de derrames onde se encontram estruturas vesiculares e amigdaloidais, a permeabilidade depende da disposição espacial dos vacúolos, apresentando melhores resultados quando há interconexão de fraturamentos ou falhamentos (estruturas tectônicas rúpteis regionais), que possibilitam a percolação de água até as diáclases na porção inferior do derrame, que não possuem circulação de água muito efetiva. O elevado potencial do SASG, como aponta Almeida et al. (2006) está condicionado a fraturas de dois tipos: aquelas relacionadas ao resfriamento nas fases finais de cristalização dos derrames toleíticos e aquelas devido ao fraturamento tectônico/neotectônico.

3.8 Utilização dos Sistemas de Informação Geográfica aplicado às águas subterrâneas

As zonas aquíferas da Formação Serra Geral têm sido muito utilizadas em toda a extensão da unidade através de poços tubulares (CELLIGOI; BRITO, 1999). No entanto, encontrar um ponto para a correta perfuração de poços em rochas ígneas e metamórficas, segundo Freitas (2000), constitui um dos maiores desafios da hidrogeologia devido ao risco de perfuração de poços secos condicionando prejuízos e frustrações na exploração aquífera. Assim, o desenvolvimento e aprimoramento de metodologias para mapear áreas favoráveis à ocorrência de água subterrânea são de extrema importância.

Segundo Câmara e Davis (2001), como uma alternativa de enorme potencial para reduzir a carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais no Brasil, o Geoprocessamento e suas ferramentas computacionais, chamadas Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitem a realização de análises para integração de dados de diversas fontes e a criação de banco de dados georreferenciados. Esta integração de dados, como cita Silva e Zaidan (2009) torna possível o aproveitamento racional de recursos, considerando as potencialidades e limitações de cada território, além da combinação desses potenciais com outras características da área para um estudo mais refinado.

O principal tipo de abordagem adotado em um ambiente SIG para a solução de erros na perfuração de poços é o mapeamento das zonas fraturadas

(lineamentos estruturais) utilizando mapas topográficos, fotografias aéreas e imagens de satélite (FREITAS, 2000).

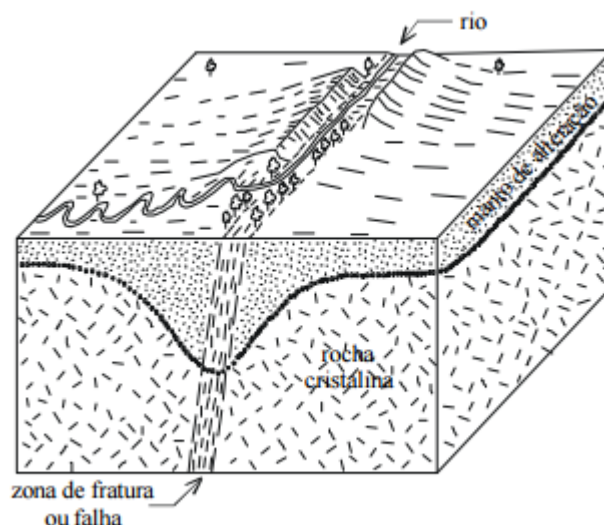
3.8.1 Identificação e Características de Lineamentos Estruturais

Lineamentos estruturais, como define O'Leary et al. (1987) podem ser entendidos como:

Feições mapeáveis na superfície terrestre, geralmente linear, retilínea ou suavemente encurvada, que não se assemelham com feições adjacentes, podendo ser simples ou composta. Sendo assim, é possível presumir fenômenos morfológicos de subsuperfície que estão associados com essas estruturas em rochas (O'LEARY et al., 1987, p. 1463)

Algumas características que são utilizadas para determinar os lineamentos, como cita Almeida et al. (2006), podem ser o alinhamento de exposições rochosas, de dolinas e de cursos de drenagens retilíneas, as quebras de relevo, contraste tonal nas imagens e mudanças bruscas na densidade da vegetação, no entanto, algumas características podem mascarar os lineamentos, como por exemplo amplas e profundas coberturas de Latossolos. A Figura 7 demonstra a expressão em superfície de uma zona de fratura, em que de acordo com Neves (2005), ocorre o alinhamento topográfico, de drenagem e de vegetação, bem como um aumento na profundidade do manto de alteração da rocha.

Figura 7 - Expressão em superfície de uma zona de fratura



Fonte: Neves (2005).

A relação entre o tamanho dos lineamentos e as fraturas da rocha é apresentada por Almeida et al. (2006), onde lineamentos pequenos representam planos de fraturas diminutas, foliações e estratificações de alto ângulo; grandes fraturas são reveladas por lineamentos médios e as zonas de cisalhamento são evidenciadas por grandes lineamentos. Os mesmos autores ainda destacam a influência do tipo de fratura na qualidade dos aquíferos fissurais, mostrando que fraturas de alto ângulo abrigam melhores aquíferos, enquanto que as fraturas de baixo ângulo são relevantes na interconexão com os sistemas de alto ângulo, propiciando a otimização dos aquíferos fraturados.

Alguns outros aspectos relacionados aos lineamentos podem determinar a produtividade dos poços perfurados, como aponta Madrucci et al. (2003), que avaliou a influência da intersecção e direção dos lineamentos, bem como morfoestruturas positivas e negativas e a densidade das zonas de juntas. Estes autores mostram em sua pesquisa que poços mais distantes dos lineamentos sofrem menos influência do que os poços localizados em regiões próximas destes, já que quanto mais próximo ao lineamento, mais fraturada é a rocha e maior a infiltração, circulação e armazenamento de água.

Madrucci et al. (2003) indica ainda que interseções entre lineamentos aumentam a área de influência na produtividade dos poços, devido à maior largura das zonas fraturadas nessas regiões e também destaca a importância do mapa morfoestrutural da área, que mostra que regiões que apresentam altos morfoestruturais se caracterizam como zonas de recarga do aquífero e induzem, em conexão com outras fraturas, um fluxo maior da água para áreas de baixos morfoestruturais, formando zonas de acumulação.

Ainda que fraturamentos nas rochas influenciem na qualidade dos aquíferos, Freitas (2000) destaca que apenas o estudo dos lineamentos estruturais não pode ser usado para determinar a potencialidade do aquífero objetivando a locação de poços, devido à imprecisão dos dados de entrada de água e de interpretação de lineamentos bem como a desconsideração de outras variáveis naturais envolvidas.

Trabalhos desenvolvidos por Barreto et al. (2001), Freitas (2000) e Almeida et al. (2006), no estudo dos lineamentos, demonstraram a importância de considerar as variáveis naturais que influenciam na potencialidade dos aquíferos. Estas podem ser clima, relevo (declividade), tipos e usos do solo, geologia, manto de alteração da rocha e densidade de drenagem.

3.9 Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS)

O SIAGAS, de acordo com Silva et al. (2013) é um sistema desenvolvido e mantido pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, composto por uma base de dados de poços e módulos que permitem a gestão de informações hidrogeológicas e a integração com outros sistemas de informação.

Segundo Feitosa et al. (2008) o SIAGAS realiza a coleta, recuperação e armazenamento de dados e informações hidrogeológicas para dar suporte às atividades de pesquisas, estudos, planejamento e gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Ainda de acordo com os autores, a estrutura do modelo de dados possui informações sobre os poços, como sua identificação, proprietário, cadastramento, dados hidrográficos, exploração, construção, perfuração, revestimento, dados de filtro, pré-filtro, cimentação, litologia, estratigrafia, aquíferos, perfilagem, testes de bombeamento e análises químicas e bacteriológicas.

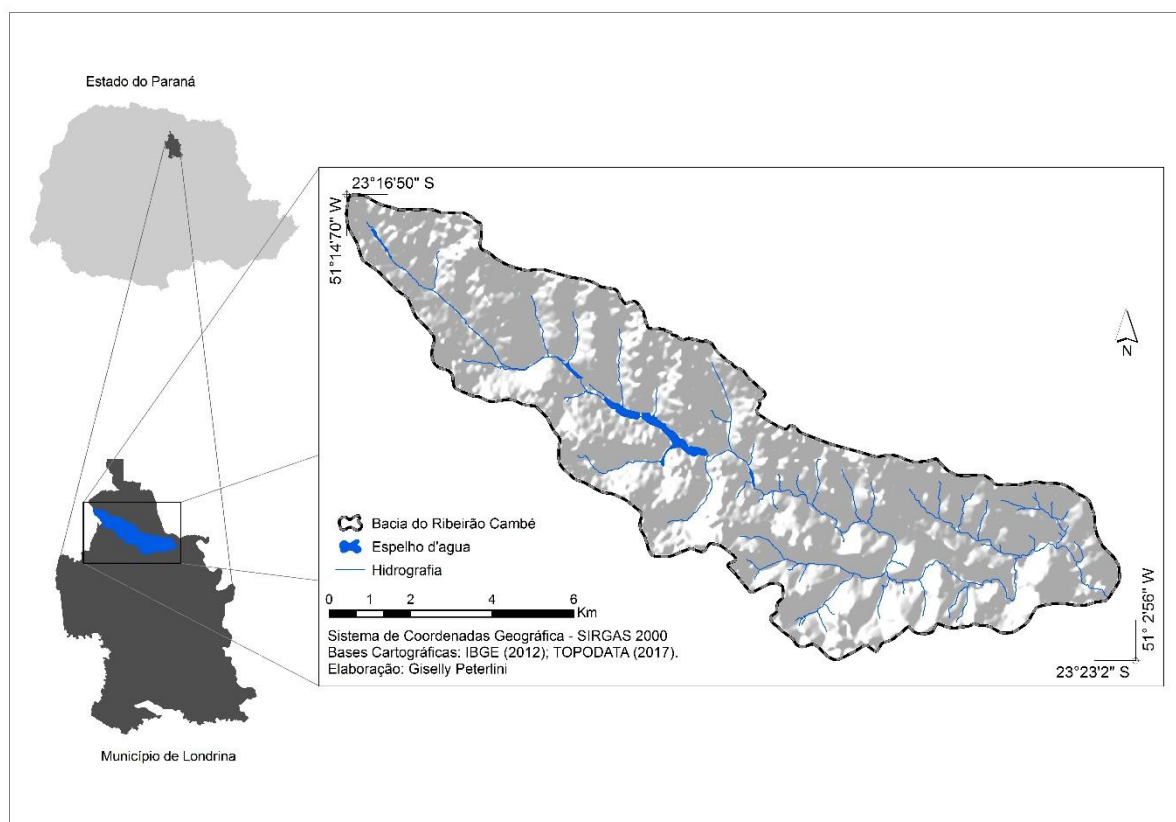
Por meio do *site* do SIAGAS o usuário, de acordo com Feitosa et al. (2008), pode selecionar áreas (estados, municípios, polígonos, bacias hidrográficas) e visualizar espacialmente os poços e as informações vinculadas a eles, inclusive o perfil construtivo e litológico e, desta forma, realizar pesquisas hierarquizadas e relacionais, tanto simples como complexas. (FEITOSA et al., 2008).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A bacia do Ribeirão Cambé está inserida no município de Londrina, localizada no norte do estado do Paraná, entre as coordenadas $23^{\circ}16'50''$ e $23^{\circ}23'02''$ de latitude sul e $51^{\circ}14'70''$ e $51^{\circ}02'56''$ de longitude oeste, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Mapa de localização da bacia do Ribeirão Cambé



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.1 Clima

O clima na bacia do Ribeirão Cambé é característico do município onde está inserida que, de acordo com a classificação de Köppen, é classificado como sendo do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com “temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C , com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida” (IAPAR, 2016).

A média histórica de temperatura no período de 1976 a 2015 foi de 21,1°C com temperatura máxima média de 27,3°C e mínima média de 16,1°C. A umidade relativa do ar neste período apresentou uma média de 70,5%, precipitação média de 1626 mm e velocidade média dos ventos de cerca de 2,4 m/s, com direção predominante leste (IAPAR, 2016).

4.1.2 Geologia

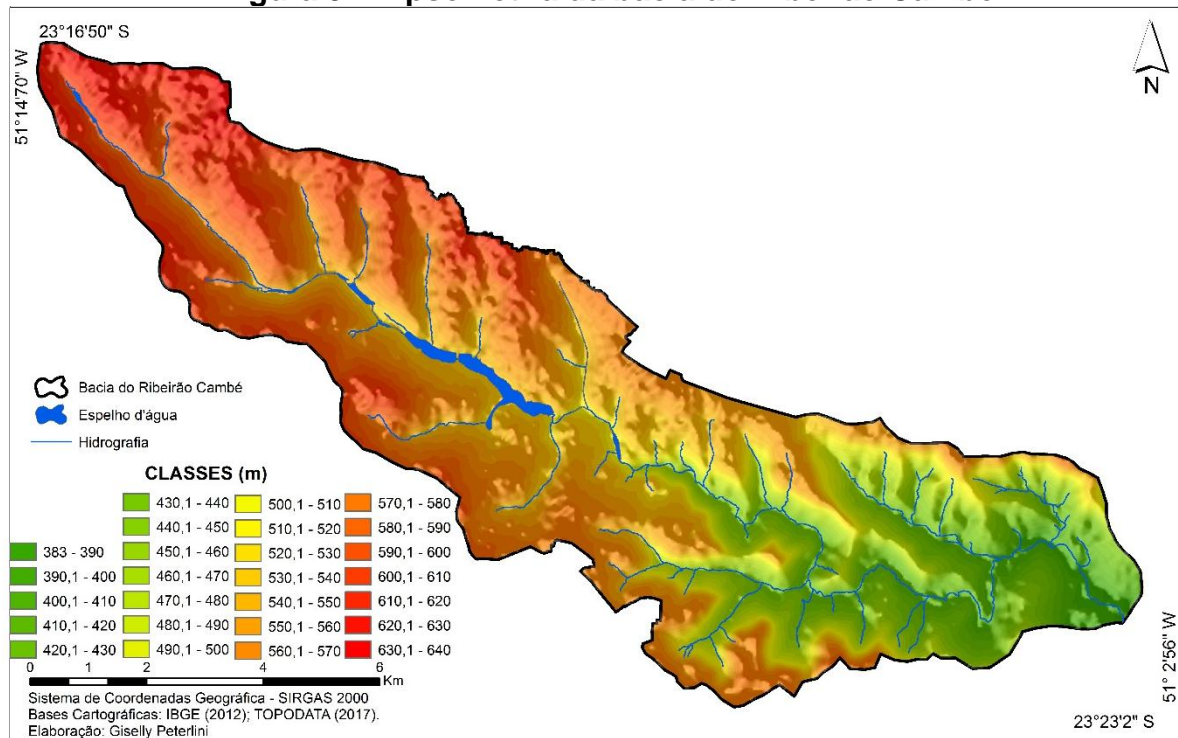
Na bacia do Ribeirão Cambé a geologia é pertencente ao Grupo São Bento, representado pela Formação Serra Geral. Esta é constituída por “extensos derrames de rochas ígneas com predomínio de basaltos, representados por basalto amigdaloidal de base, basalto compacto, basalto amigdaloidal, basalto vesicular e brecha basáltica e/ou sedimentar” (MINEROPAR, 2001). Ainda, conforme apresenta o Mineropar (2001), podem existir intercalações de material sedimentar, como arenitos e siltitos, entre dois derrames consecutivos.

Existem ainda depósitos aluvionares restritos, formados por sedimentos inconsolidados oriundos da erosão e deposição litológicas, que foi condicionado às calhas de drenagem dos rios e planícies de inundação, bem como a presença de falhas e/ou fraturas com sentidos predominantes nordeste-sudoeste e noroeste-sudeste (PREFEITURA DE LONDRINA, 2010).

4.1.3 Geomorfologia

Situada sobre a unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, a bacia do Ribeirão Cambé possui como unidade morfoescultural o Terceiro Planalto Paranaense e apresenta, em sua estrutura, uma leve inclinação para oeste em direção ao rio Paraná (ARAÚJO, 2004). As altitudes variam de 380 metros a 640 metros acima do nível do mar, como pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Hipsometria da bacia do Ribeirão Cambé



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Araújo (2004), observa-se que a maior parte da área estudada apresenta relevo plano e suavemente ondulado, em cerca de 70,4% da extensão total, com declividades que variam de 0 a 6%. Já as áreas com relevos mais ondulados, que apresentam declividades entre 6 a 30%, são observados em 27,9%, enquanto que declividades bem acentuadas (de 30 a 46% e >46%) representam 1,7% da microbacia e se encontram na sua maioria na região média inferior da área.

Araújo (2004) aponta ainda que, geomorfologicamente, a bacia do Ribeirão Cambé pode ser dividida em quatro compartimentos, em que são observadas áreas de relevo convexo delimitado por espigões locais, bem como áreas de relevo geralmente côncavo e convexo, pouco movimentado, com declives suaves e desnivelamentos pequenos, associados a Formação Serra Geral. Também são encontradas áreas com topos arredondados e vertentes ravinadas, onde os padrões de drenagem possuem características de subparalelo a dentrítico, com vales fechados e declividade acentuada (>20%). Por fim, nas planícies aluviais, o relevo é praticamente plano devido à deposição de sedimentos fluviais que ocorrem nas margens do ribeirão Cambé próximo ao deságue no ribeirão Três Bocas, com declividades inferiores a 5,3%.

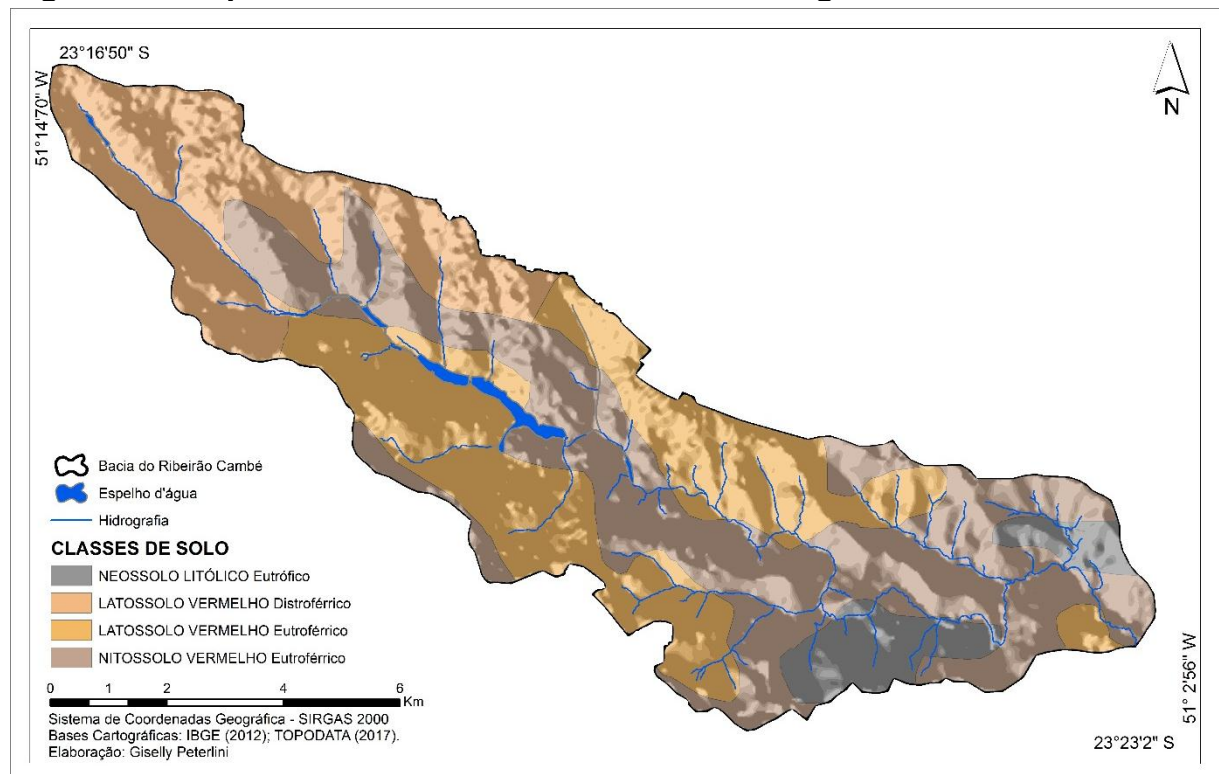
4.1.4 Pedologia

O solo exerce funções de extrema importância na manutenção das águas subterrâneas, atuando como agente protetor e filtrante, auxiliando na manutenção da qualidade destas águas, como também contribui para a movimentação inicial da água em direção às zonas insaturadas e saturadas (GOMES, 2015).

Faria (2005) apresenta que, na bacia do Ribeirão Cambé podem ser encontrados quatro grupos de solos: Latossolos Vermelhos distroféricos; Latossolos Vermelhos eutroféricos; Neossolos Litólicos eutróficos; Nitossolos Vermelhos eutroféricos, como é apresentado na Figura 10.

Os Latossolos possuem características de serem solos minerais homogêneos, profundos, com pouca diferenciação entre os horizontes, bem drenados, com baixa capacidade de troca de cátions, textura argilosa a muito argilosa (IAC, 2014).

Figura 10 - Mapa das Classes de Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cambé



Fonte: Elaborado pela autora.

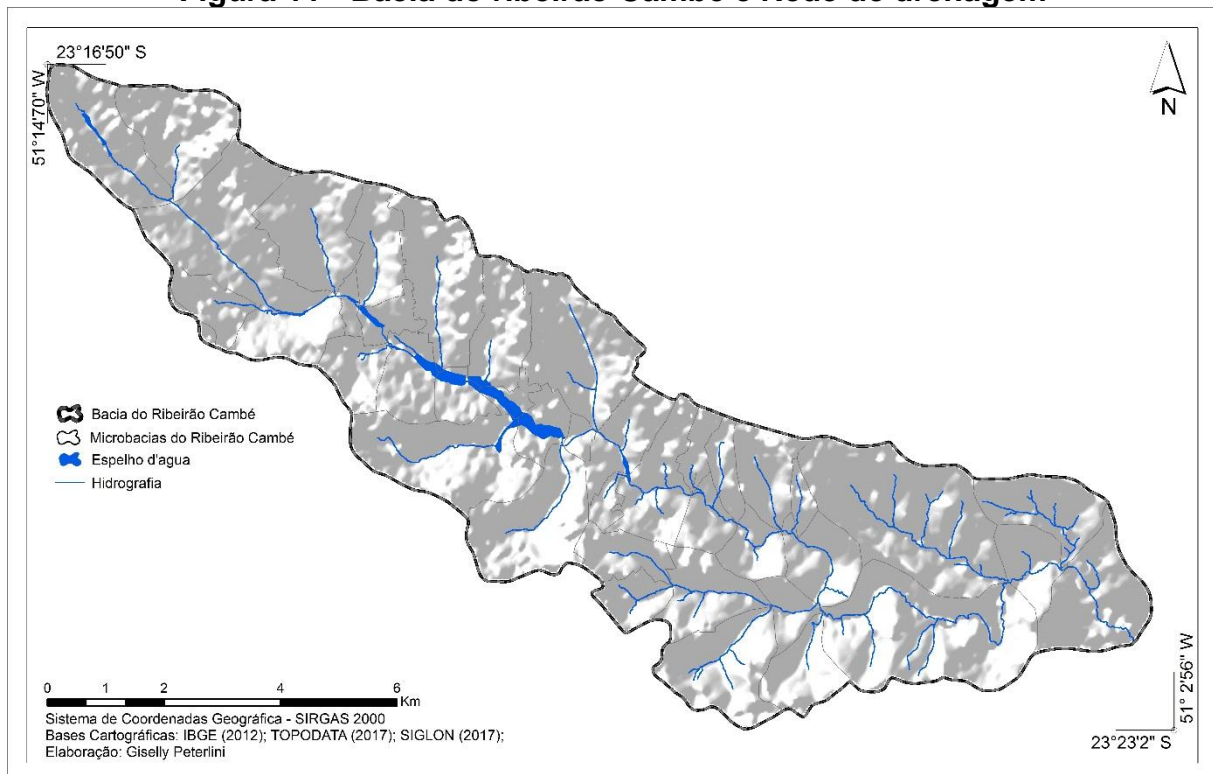
Os Neossolos são caracterizados por pequeno desenvolvimento pedogenético, ou seja, com pouca profundidade, com presença de areias quartzosas

ou pela presença de camadas distintas provenientes dos materiais de origem. Devido à sua característica rasa, os Neossolos podem apresentar baixa retenção de água. Já os Nitossolos são solos minerais homogêneos, argilosos, com pequena diferenciação de cor com a profundidade. Sua estrutura favorece a retenção de água e mantém boa drenagem, (IAC, 2014).

4.1.5 Hidrografia

A bacia do Ribeirão Cambé (Figura 11) está totalmente inserida na bacia hidrográfica do rio Tibagi, importante afluente da margem esquerda do rio Paranapanema e possui sua orientação no sentido noroeste-sudeste (BARROS et al., 2008; PREFEITURA DE LONDRINA, 2010).

Figura 11 - Bacia do ribeirão Cambé e Rede de drenagem



Fonte: Elaborado pela autora.

Barros et al. (2008) aponta ainda que as bacias e sub-bacias de Londrina possuem um padrão de drenagem paralelo, onde os cursos d'água seguem diáclases e fraturas do basalto causadas pelo intenso tectonismo que afetou a área em épocas remotas.

O abastecimento urbano do município de Londrina possuiu como primeira fonte hídrica durante a expansão e ocupação urbana, o Ribeirão Água Fresca, apenas um dos 26 afluentes do Ribeirão Cambé, porém devido ao crescimento urbano o mesmo tornou-se insuficiente e então o abastecimento passou a ser realizado pelo Ribeirão Cafezal e pelo Rio Tibagi, além dos mananciais subterrâneos do SASG e Sistema Aquífero Guarani (SAG) (BARROS et al., 2008).

4.2 Identificação de Lineamentos Estruturais

Após a definição da área de estudo, foi criado um banco de dados georreferenciado em SIG, integrado ao uso de sensoriamento remoto e Modelo Digital de Elevação (MDE). Os dados foram tratados e trabalhados utilizando o software ArcGIS versão 10.3.1.

4.2.1 Tratamento de Imagens

Para a elaboração do MDE utilizou-se a imagem da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). O projeto SRTM é um sistema RADAR que utilizou a técnica de interferometria para a geração do Modelo Numérico do Terreno (MNT). Em 2008, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) instituiu o projeto TOPODATA, que transforma a resolução espacial original dos produtos que antes possuíam resolução espacial de 3 arc sec (90 m) para subprodutos de 1 arc sec (30 m), utilizando o método de krigagem.

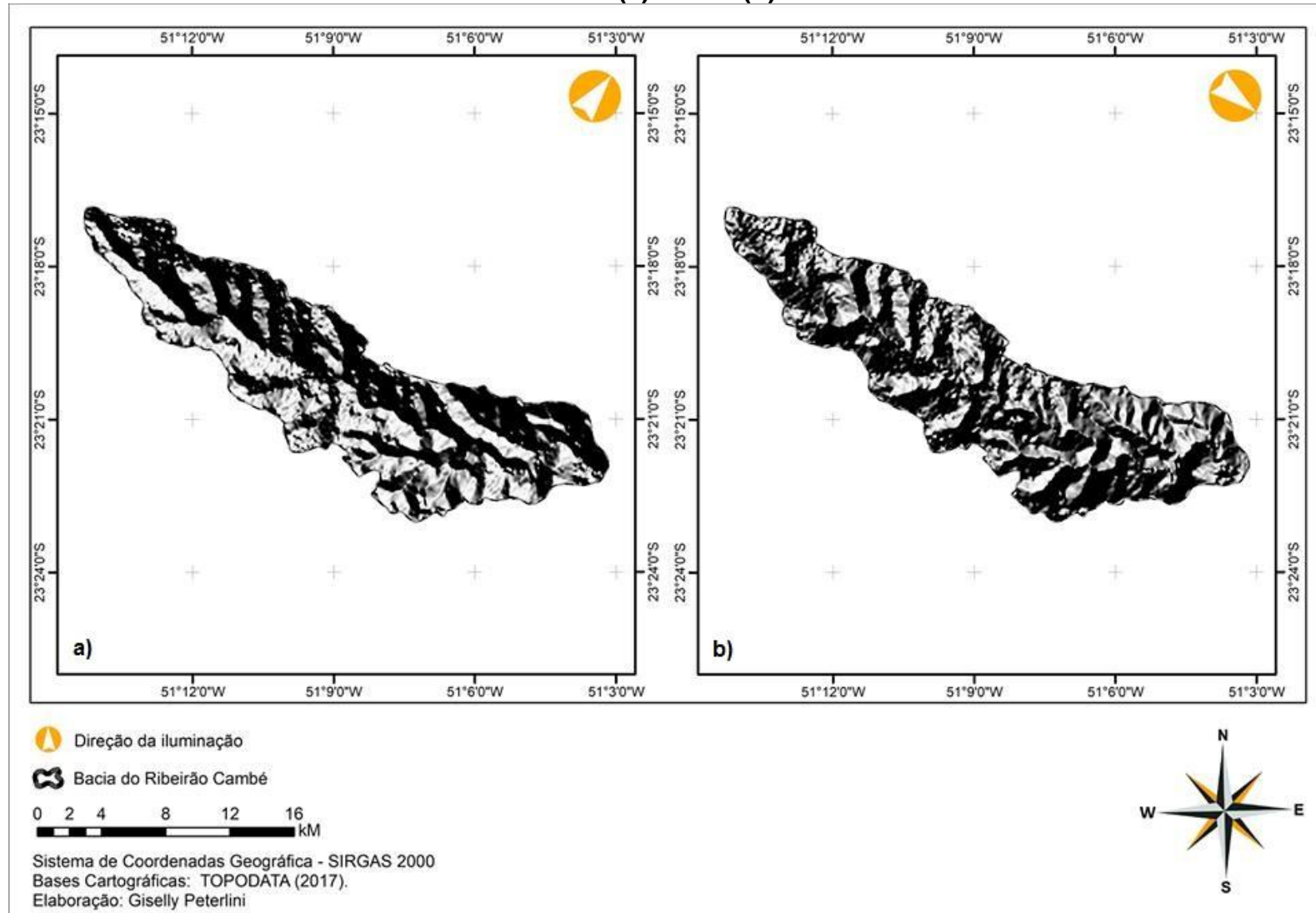
Disponibilizada no *website* do TOPODATA, a imagem utilizada no presente estudo foi a de identificação 23S525, onde está localizado o município de Londrina e a bacia do Ribeirão Cambé. A imagem é apresentada em escala 1:250.000, com 30 m de resolução espacial. Utilizando a imagem referida, foi feita a delimitação da bacia por meio da observação dos seus divisores de água. Posteriormente, foi vetorizada a rede de drenagem e espelhos d'água presentes na área de estudo, gerando arquivos do tipo *shapefile*. A fim de ressaltar as principais feições do terreno, foram realizados tratamentos na imagem aplicando a técnica de Relevô Sombreado.

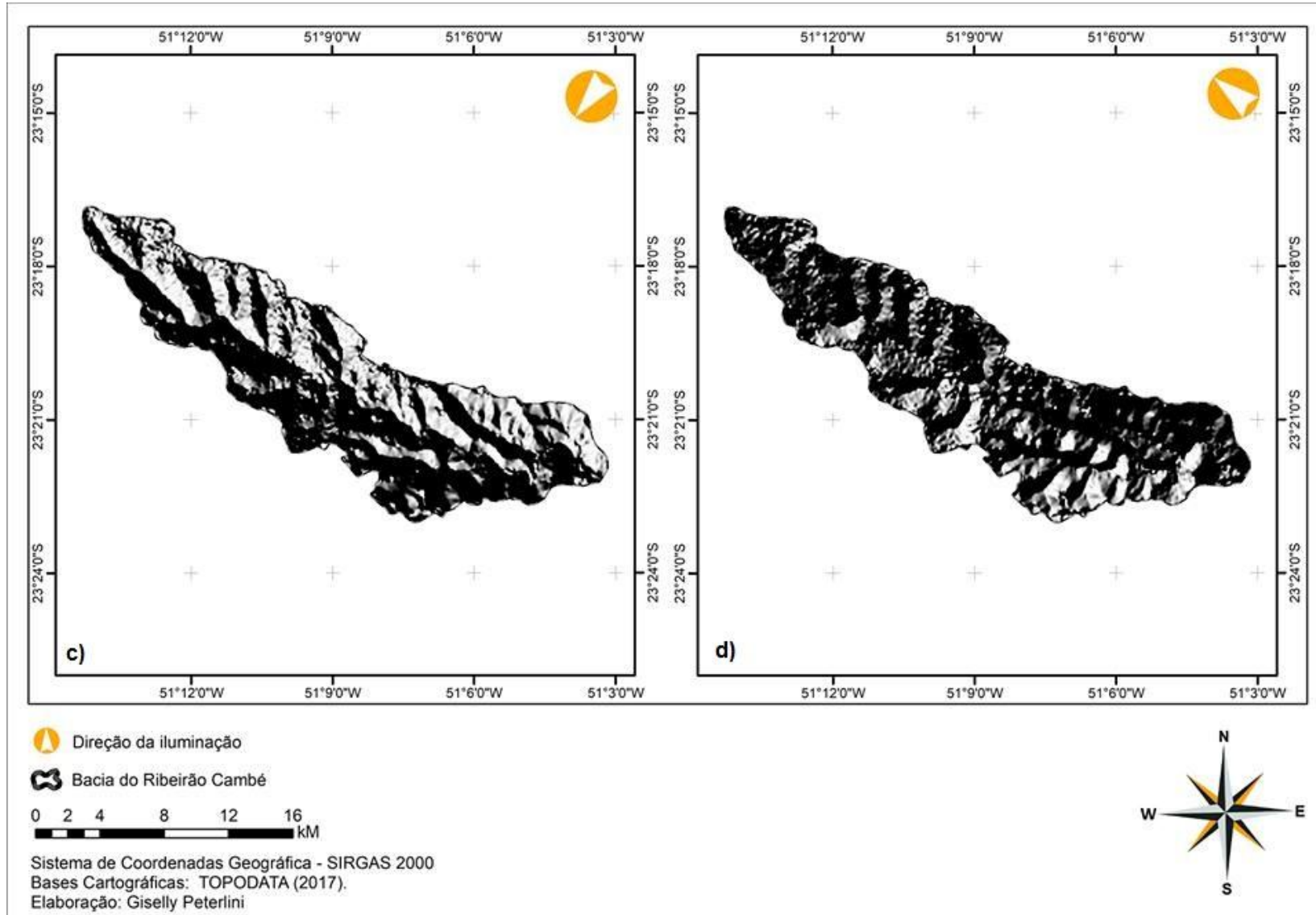
A técnica, como explica Matsuoka et al. (2009), busca “criar uma visão realista do terreno, criando uma superfície tridimensional a partir de uma exibição

bidimensional do mesmo”. Esta técnica utiliza uma associação de dados altimétricos com ângulos hipotéticos de incidência de iluminação, o que gera imagens sombreadas e destaca a morfologia do terreno (MATZEMBACHER, 2011). Como fonte de dados altimétricos foi usada a imagem SRTM e posteriormente aplicada à mesma a ferramenta *Hillshade* da extensão *3D Analyst Tools*, adotando quatro valores diferentes de ângulos de azimute, sendo eles 45°, 135°, 225° e 315° com ângulo de incidência de iluminação padrão de 45°.

Em seguida, as imagens geradas com o relevo sombreado foram recortadas de acordo com o limite da bacia do ribeirão Cambé utilizando a ferramenta *Clip* da extensão *Data Management Tools*, gerando os produtos apresentados nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Sequência de imagens SRTM apresentando o Relevo Sombreado com ângulo de iluminação de 45° (a), 135° (b), 225° (c) e 315° (d).



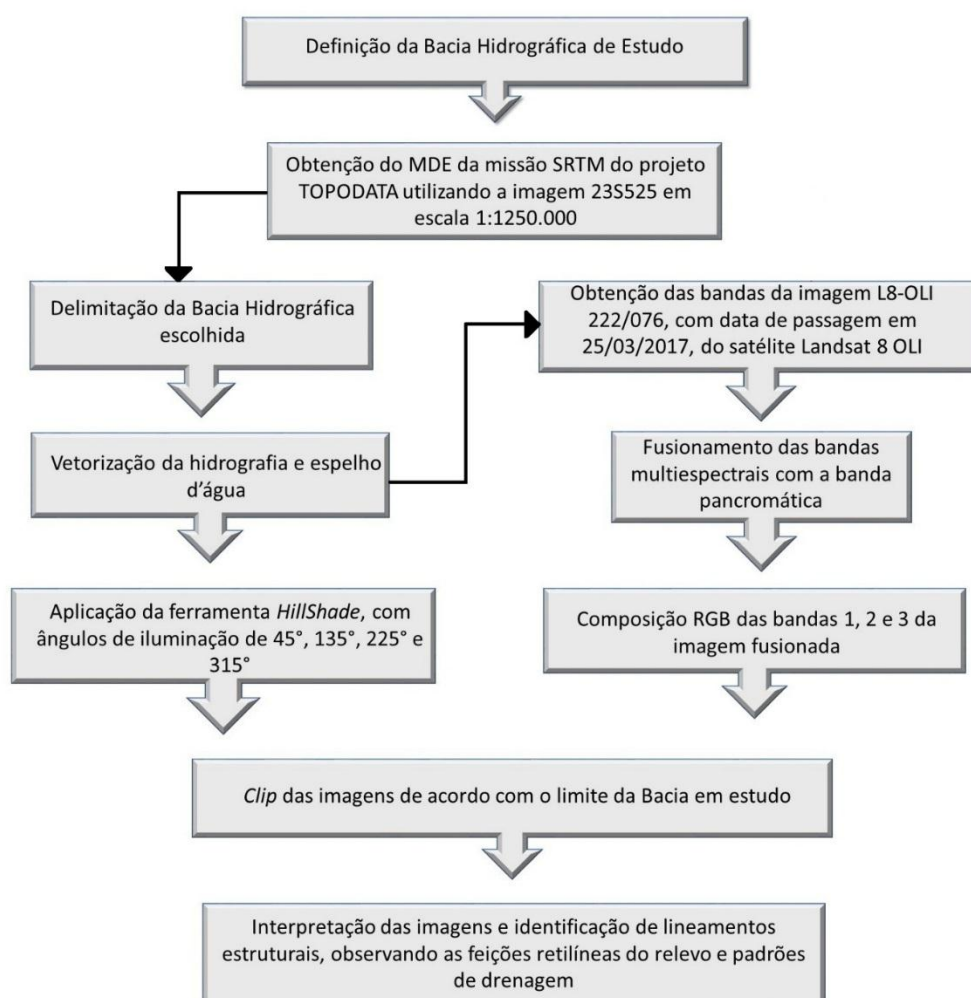


Fonte: Elaborado pela autora.

A imagem de satélite utilizada foi a L8-OLI 222/076, com data de passagem em 25/03/2017, disponibilizada gratuitamente pelo INPE e obtida através do satélite Landsat-8 OLI.

Com a introdução das bandas da imagem no banco de dados do SIG foi realizada a fusão das bandas multiespectrais, que apresentam resolução espacial de 30m, com a banda Pancromática 8, que possui resolução de 15m. Esta fusão permite a geração de um produto *raster* com resolução espacial de 15m, o que trouxe maior qualidade à imagem fusionada. Após o fusionamento, a imagem, que antes possuía o sistema espacial de referência WGS-84 foi projetada para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e, utilizando o *shapefile* do limite da bacia, a imagem foi recortada com a ferramenta *Clip*. Um fluxograma das etapas do processo é apresentado na Figura 13.

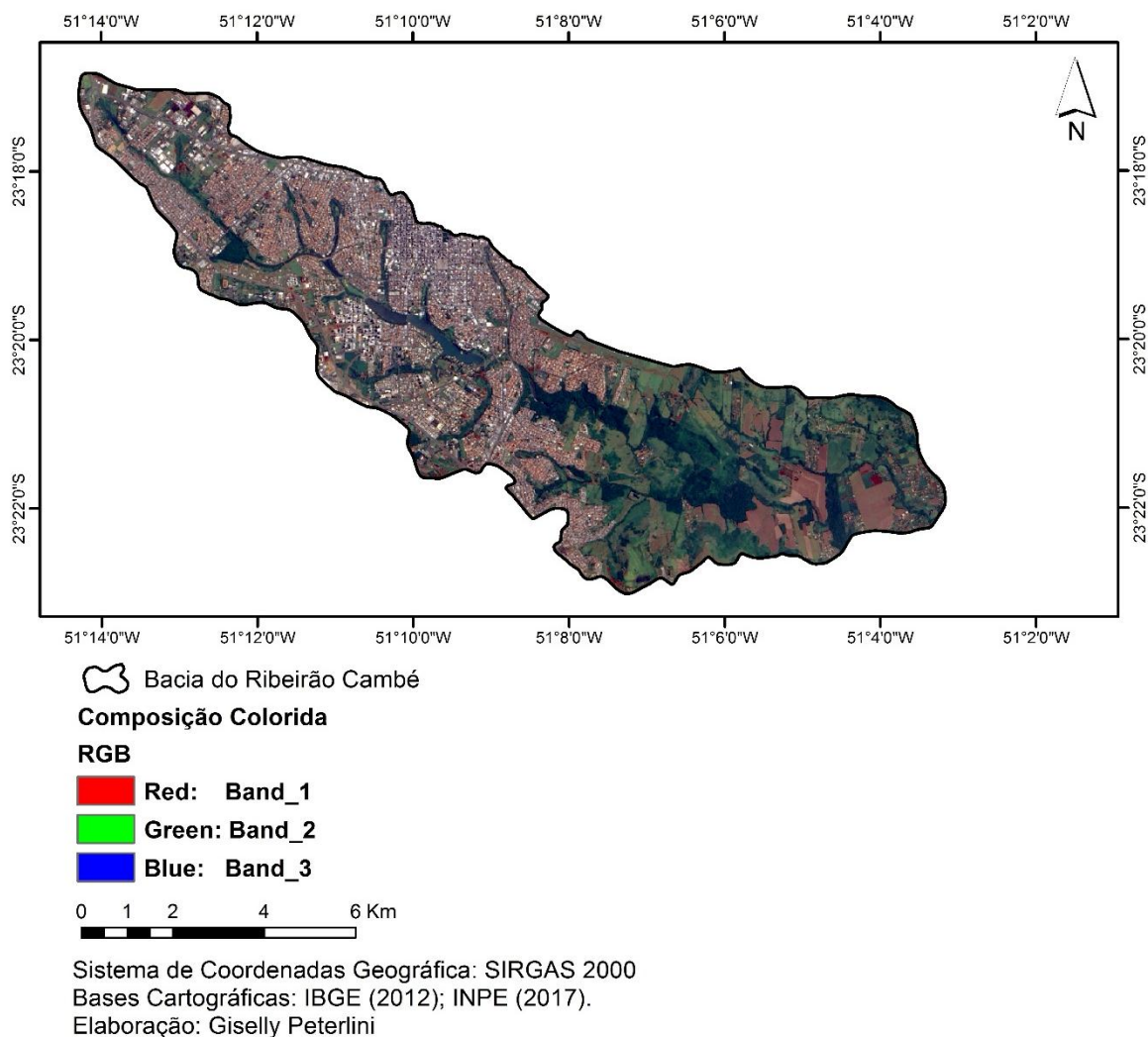
Figura 13 - Fluxograma das etapas do processo de tratamento de imagens



Fonte: Elaborado pela autora.

Posteriormente foi realizada a composição RGB da imagem fusionada, em que foram usadas respectivamente as bandas multiespectrais 1, 2 e 3, que gerou uma composição colorida semelhante à cor verdadeira, como pode ser observado na Figura 14.

Figura 14 - Imagem fusionada com composição RGB das bandas 1, 2, e 3 respectivamente



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.2 Interpretação de Lineamentos Estruturais

A utilização de imagens obtidas a partir de sensores ópticos e de radar, como demonstram Andrades Filho e Fonseca (2009), tem fundamental importância no estudo de lineamentos estruturais, visto que podem ser feitas associações entre

feições do relevo e áreas de sombra (destacadas por meio do azimute de iluminação solar), bem como demais indicativos da presença de lineamentos como, por exemplo, os padrões de drenagem. Os mesmos autores afirmam também que devido à extração automática de lineamentos estruturais ser um processo difícil de ser realizado com eficiência por conta da ocorrência complexa dessas estruturas no terreno, a identificação e o mapeamento de lineamentos são realizados de forma visual a partir da vetorização dos mesmos.

Portanto, neste trabalho o mapeamento dos lineamentos foi realizado por meio da observação de feições retilíneas do relevo e dos padrões de drenagem da bacia do ribeirão Cambé a partir dos mapas de relevo sombreado obtidos do MDE e também da imagem fusionada obtida do satélite Landsat-8 OLI, gerando assim um mapa de lineamentos estruturais para a bacia em estudo.

4.3 Dados Hidrogeológicos de Poços Tubulares

Sabendo-se que em embasamentos cristalinos a ocorrência das águas subterrâneas está condicionada às discontinuidades das rochas, Neves (2005) cita que para avaliar o papel que estas estruturas geológicas exercem na produtividade de poços tubulares é necessária a caracterização geológico-estrutural com ênfase nas estruturas rúpteis, a caracterização hidrogeológica com base em dados de poços tubulares e por fim realizar a integração de ambas informações citadas, ou seja, as informações geológico-estruturais e hidrogeológicas.

Considerando esta afirmação, para a caracterização hidrogeológica de poços tubulares foram utilizados dados dos poços obtidos através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), em que foi realizado o levantamento dos dados de Vazão, Capacidade Específica, Profundidade, Profundidade do Nível Estático e Profundidade do Nível Dinâmico.

A Vazão (Q), de acordo com o CPRM (1998) é a medida do volume de água que sai do poço em determinado período de tempo, normalmente dada em metros cúbicos por hora (m^3/h). A vazão de exploração de poço tubular é determinada através de testes de bombeamento, onde se é realizada a retirada da água por intermédio de uma bomba, registrando-se a evolução dos rebaixamentos da mesma no poço. (CPRM, 1998; FEITOSA; FILHO, 2000).

O Nível Estático (NE) de um poço é o nível de equilíbrio da água no mesmo quando não há nenhum bombeamento ou não há influência de bombeamentos em poços localizados nas suas imediações (BARBOSA JÚNIOR, 2014). Já quando ocorrem bombeamentos no poço ou nas imediações deste, o nível em que a água se encontra no momento do bombeamento é chamado de Nível Dinâmico (ND). Logo, a Profundidade do NE ou do ND é a distância medida entre o nível do terreno até o NE ou ND (BARBOSA JÚNIOR, 2014).

Um parâmetro considerado bastante representativo da produtividade de poços, segundo Neves (2004) é a capacidade específica (Q/s), que é definida como a razão entre a vazão extraída de um poço e o rebaixamento provocado no nível d'água, dada em $m^3/h/m$.

4.4 Análise Estatística

4.4.1 Aplicada aos dados de Poços Tubulares

No gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos, é de extrema importância que sejam definidos os principais fatores que conferem aos poços uma melhor vazão, em que esta condição satisfatória pode estar vinculada a variáveis relacionadas a fatores geológicos como permeabilidade e porosidade da rocha, presença de falhas e fraturas, entre outros (VIDAL et al., 2006). Os autores citam também que quando se deseja avaliar as condições de fluxo e as características do aquífero com informações provenientes de poços, os números de variáveis aumentam, fazendo com que seja necessária “a utilização de métodos estatísticos que possibilitem avaliar o peso de cada variável para a melhor previsão de seu comportamento” (VIDAL et al., 2006).

Para tanto, neste trabalho foi utilizada a análise estatística descritiva, organizando e descrevendo o conjunto de dados a fim de torná-los mais fáceis de serem entendidos, possibilitando a identificação de padrões. Para o tratamento estatístico dos dados de vazão, capacidade específica, profundidade e níveis estático e dinâmico, primeiramente foi obtida a tabela de dados do SIAGAS e a mesma foi inserida no ArcGIS. Conforme as coordenadas geográficas dos poços contidas na tabela, estes foram localizados na microbacia do ribeirão Cambé.

Posteriormente, foram selecionados os poços que apresentavam dados completos de vazão, capacidade específica, profundidade e níveis estático e dinâmico e excluídos os poços que apresentavam falhas em qualquer um dos dados citados. Então, através da Ferramenta “*Conversion Tools*” a tabela foi convertida e utilizada no software Excel.

Para a descrição do centro e da variabilidade do conjunto de dados, foi utilizada a função de Estatística Descritiva do Excel, possibilitando assim a obtenção de valores como o tamanho da amostra n , as médias, medianas, desvio padrão e pontos de mínimo x_{min} e máximo $x_{máx}$, em que a média (\bar{x}) é representada pela razão entre a soma das entradas x pelo tamanho da amostra n (equação 1), e a mediana mede o centro de um conjunto de dados ordenado dividindo-o em duas partes (LARSON; FARBER, 2010).

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

Já o desvio padrão S de um conjunto de dados amostrais, dado pela equação 2, de acordo com Triola (2013), “é uma medida de variação dos valores em torno da média, uma espécie de desvio médio dos valores em relação à média”.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

Ao organizar os dados em intervalos chamados de classes, pode-se formar uma distribuição de frequência dos mesmos, representada em uma tabela que mostram os intervalos da entrada de dados (classes) com uma contagem do número de entradas em cada classe. Portanto, a frequência f é o número da entrada de dados em uma classe (LARSON; FARBER, 2010).

O cálculo da quantidade de classes das tabelas de frequência foi realizado primeiramente calculando uma estimativa para o número de classes k , por meio da Regra da Raiz Quadrada, em que é obtida a raiz quadrada do tamanho da amostra n . Foi então calculada a amplitude L da amostra de acordo com a equação 3.

$$L = x_{máx} - x_{min} \quad (3)$$

Com o valor da amplitude da amostra L e do número de classes k pode-se calcular a amplitude da classe h por meio da razão entre os mesmos, como é apresentado na equação 4.

$$h = \frac{L}{k} \quad (4)$$

Larson e Farber (2010) apontam que quando deseja-se conhecer a porcentagem dos dados que se encontram em uma determinada classe, pode-se calcular a frequência relativa, dada pela razão entre a frequência f da classe e o tamanho da amostra n , apresentada na equação 5:

$$\text{frequência relativa} = \frac{f}{n} \quad (5)$$

Já a frequência acumulada de uma classe apresenta-se como a soma da frequência para aquela classe e das classes anteriores, em que a frequência acumulada da última classe é igual ao tamanho da amostra n .

4.4.2 Aplicada aos Lineamentos Estruturais

Liu (1984) afirma que a extensão, direção e características dos lineamentos estruturais e a inter-relação existente entre os mesmos são objetos de estudos analíticos que exigem bastante trabalho devido à sua complexidade. Como forma de análise dos lineamentos pode-se utilizar os diagramas de roseta, que através de suas formas gráficas, circulares, semicirculares ou de estrela, são capazes de indicar o número total, frequência e comprimento acumulados dos lineamentos nas diversas direções, sendo utilizados na representação dos “*trends*” dos lineamentos de uma determinada região (LIU, 1984).

Para a análise estatística da frequência dos lineamentos estruturais, foi utilizada a ferramenta *AzimuthFinder*, que funciona em conjunto com o ArcGis. Esta ferramenta, como mostra Queiroz et al. (2014), é capaz de gerar tabelas com dados azimutais dos lineamentos estruturais, essenciais à confecção de Diagramas de Roseta, realizando uma medição espacial dos lineamentos traçados em imagens, em relação ao norte verdadeiro.

Para que os lineamentos estruturais de maior comprimento apresentassem maior peso, foi implantado o “método do comprimento” em que o programa atribui um peso para cada lineamento e o peso é calculado pelo número de vezes aproximado que aquele lineamento é maior que a medida do lineamento de menor comprimento existente. Então o peso do menor lineamento passa a ser 1 e, quando existir um lineamento com peso >1 , o valor azimutal deste será copiado na tabela de saída de dados mais de uma vez, ou seja, o dado será copiado na tabela de acordo com o número de vezes igual ao seu peso (QUEIROZ et al., 2014).

Posteriormente à obtenção dos azimutes dos lineamentos, foi feita a confecção do diagrama roseta de frequência acumulada utilizando o software *OpenStereo*.

4.4.3 Correlação entre os Lineamentos e os Poços Tubulares

Após a identificação de lineamentos estruturais e inserção dos dados de localização dos poços no banco de dados, foi realizado o cruzamento destas informações, utilizando a ferramenta *buffer*. Segundo Cruz e Campos (2005), essa ferramenta “executa operações de busca de atributos de entidades pertencentes a uma camada geográfica específica, que estão localizados a uma determinada distância da entidade de referência”.

A execução do *buffer* foi realizada selecionando os lineamentos estruturais traçados e aplicando aos mesmos diferentes raios de distância. Os distintos raios considerados constituíram classes de distâncias que compreenderam os seguintes *buffers*: menores que 200m, 200m-400m, 400m-600m, 600m-800m e 800m-1000m. Para os poços que estavam localizados a distâncias >1000m, foi estabelecida esta como uma classe, afim de que todos os poços selecionados e inseridos na bacia nessa condição fossem analisados. O objetivo de se utilizar esta ferramenta foi o de avaliar a influência que os lineamentos estruturais conferem à produtividade dos poços de acordo com a distância que os mesmos apresentam em relação a estes lineamentos.

Como os *buffers* analisados atingiram valores bem distantes dos lineamentos mapeados, isto é, atingiram distâncias de até 1000 metros, determinados poços ficaram localizados em mais de uma classe de distância. Devido a este fato, foi considerado que estes poços poderiam sofrer maior influência dos lineamentos que se encontravam mais próximos e então os mesmos foram locados nas classes que apresentavam menor distância entre as estruturas da rocha.

Sturaro (2015) aponta que em trabalhos que envolvem o tratamento de mais de uma variável, como no caso do presente estudo, deseja-se conhecer o grau de relação existente entre elas. Ao organizar os dados em grupos, foi possível realizar a análise estatística multivariada, que consiste em técnicas estatísticas que analisam os efeitos de múltiplas medidas entre indivíduos ou objetos simultaneamente sobre o objeto de estudo (HAIR et al., 2009).

Hair et al. (2009) cita que a análise multivariada tem por objetivo medir, explicar e prever o grau de relação entre variáveis estatísticas, em que o caráter multivariado reside nas combinações múltiplas entre as variáveis e não apenas no número de variáveis ou observações.

Foi utilizada a Análise Multivariada de Variância (MANOVA) nos dados referentes aos poços tubulares (vazão, capacidade específica, profundidade, NE e ND) a fim de testar a hipótese de que há diferenças significativas entre os buffers observados a priori, isto é, diferenças nos poços em função das distâncias para os lineamentos.

O valor de *Lambda Wilks*, também chamado de critério de máxima verossimilhança, examina se os grupos são de alguma forma diferentes (HAIR et al., 2009). Legendre e Legendre (1998) *apud* Oliveira et al. (2010) afirmam que o *Lambda Wilks* calculado pela MANOVA varia entre zero (dispersão máxima entre os grupos) e um (sem dispersão entre os grupos). Já o valor de *p* indica a existência de uma diferença ou correlação quando, na realidade, ela não existe, sendo considerado como nível comum o valor de 0,05 (Hair et al., 2009). Valores de $p < 0,05$ demonstram que há diferença significativa entre os grupos e, quanto mais próximo a zero, maior será a diferença.

No caso da confirmação da hipótese de diferença significativa entre os buffers, utilizou-se a Análise Discriminante Canônica (ADC) para avaliar as relações hidrogeológicas-estruturais através de combinações de variáveis utilizadas para caracterizar os poços e, desta forma, maximizar as distâncias entre os grupos. Segundo Hair et al. (2009), a análise discriminante pode ser aplicada quando a amostra total pode ser dividida em grupos baseados em uma variável dependente que caracteriza diversas classes conhecidas, buscando compreender diferenças entre grupos. Tanto a MANOVA quanto a ADC foram realizadas por meio do software STATISTICA 7 (StatSoft, 2005).

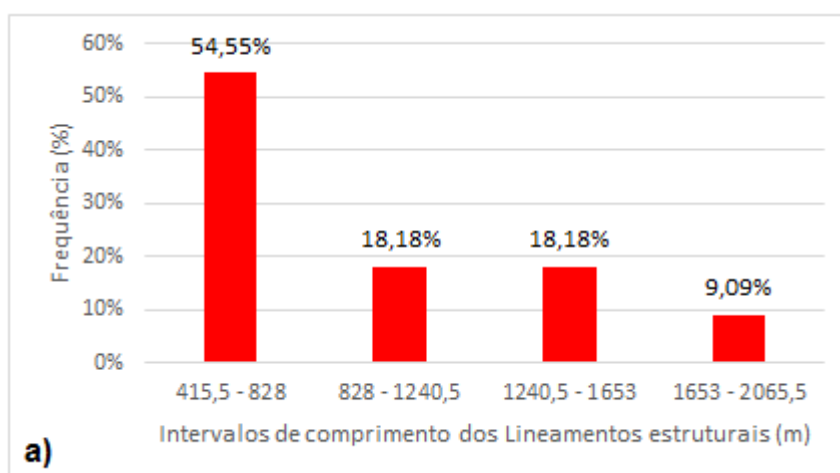
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

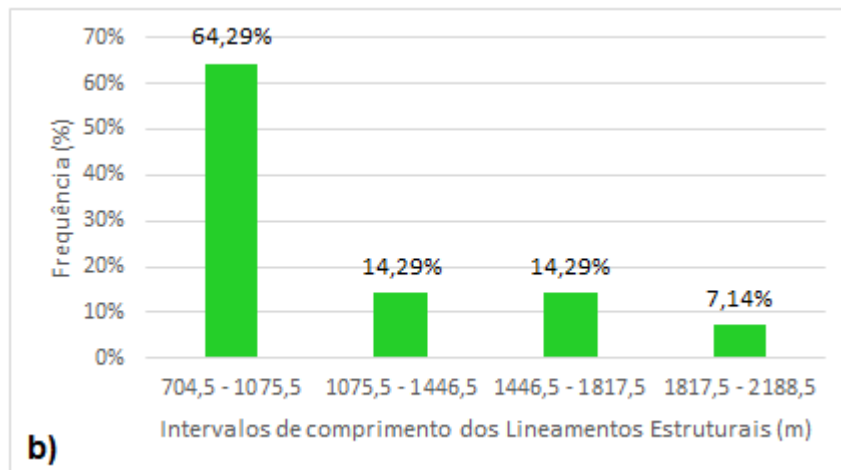
5.1 Mapeamento de Lineamentos Estruturais

A partir do banco de dados em SIG e do cruzamento das informações obtidas através do TOPODATA, INPE e SIAGAS, estas puderam ser organizadas tornando possível realizar a identificação dos lineamentos estruturais, inserir os dados de poços no *geodatabase* e excluir os poços que estavam fora dos limites da microbacia, bem como aqueles que estavam inseridos na mesma, porém com ausência de dados.

Por meio das imagens SRTM trabalhadas com a técnica de Relevo Sombreado foi possível identificar 22 lineamentos estruturais na bacia do ribeirão Cambé, enquanto que utilizando a imagem do satélite Landsat-8 OLI foram observados e identificados 14 lineamentos. Em relação ao comprimento dos lineamentos, observa-se nos diagramas de frequência apresentados na Figura 15 que a imagem Landsat-8 OLI possibilitou a identificação de lineamentos maiores que os observados pela imagem STRM com relevo sombreado, em que 64,29% dos lineamentos possuem comprimentos entre 704,5 m e 1075,5 m, enquanto que os mapeados pelas imagens de relevo sombreado possuem maior frequência no intervalo entre 415,5 m e 828 m.

Figura 15 - Diagramas de frequência do comprimento de lineamentos estruturais. a) Observados na imagem SRTM; b) Observados na imagem Landsat-8 OLI



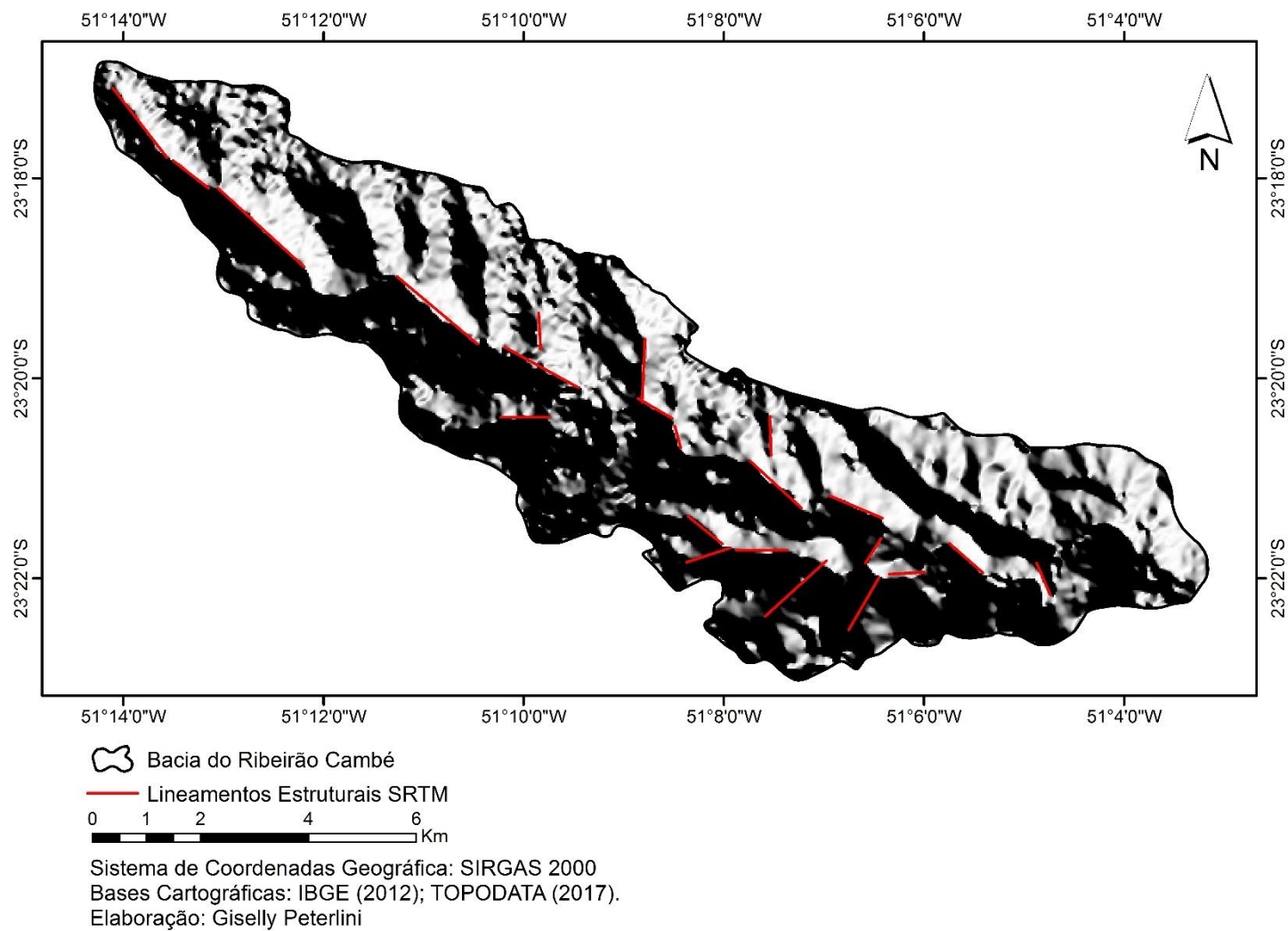


No entanto, as imagens SRTM com relevo sombreado permitiram interpretar os lineamentos estruturais com maior facilidade do que a imagem de satélite, devido às mudanças de ângulo de iluminação. A alternância das imagens com diferentes ângulos favoreceu hora o destaque do relevo, hora o destaque das áreas de drenagem dos rios, realçando locais que possuíam estruturas mais retilíneas.

De acordo com Ribeiro et al. (2011) as imagens de relevo sombreado se mostram mais adequadas para a identificação de lineamentos também pelo fato de apresentarem ausência de feições superficiais como a cobertura vegetal e estradas, que podem influenciar na interpretação. Os mapas dos lineamentos estruturais identificados pela imagem SRTM e Landsat 8-OLI são apresentados nas Figuras 16 e 17.

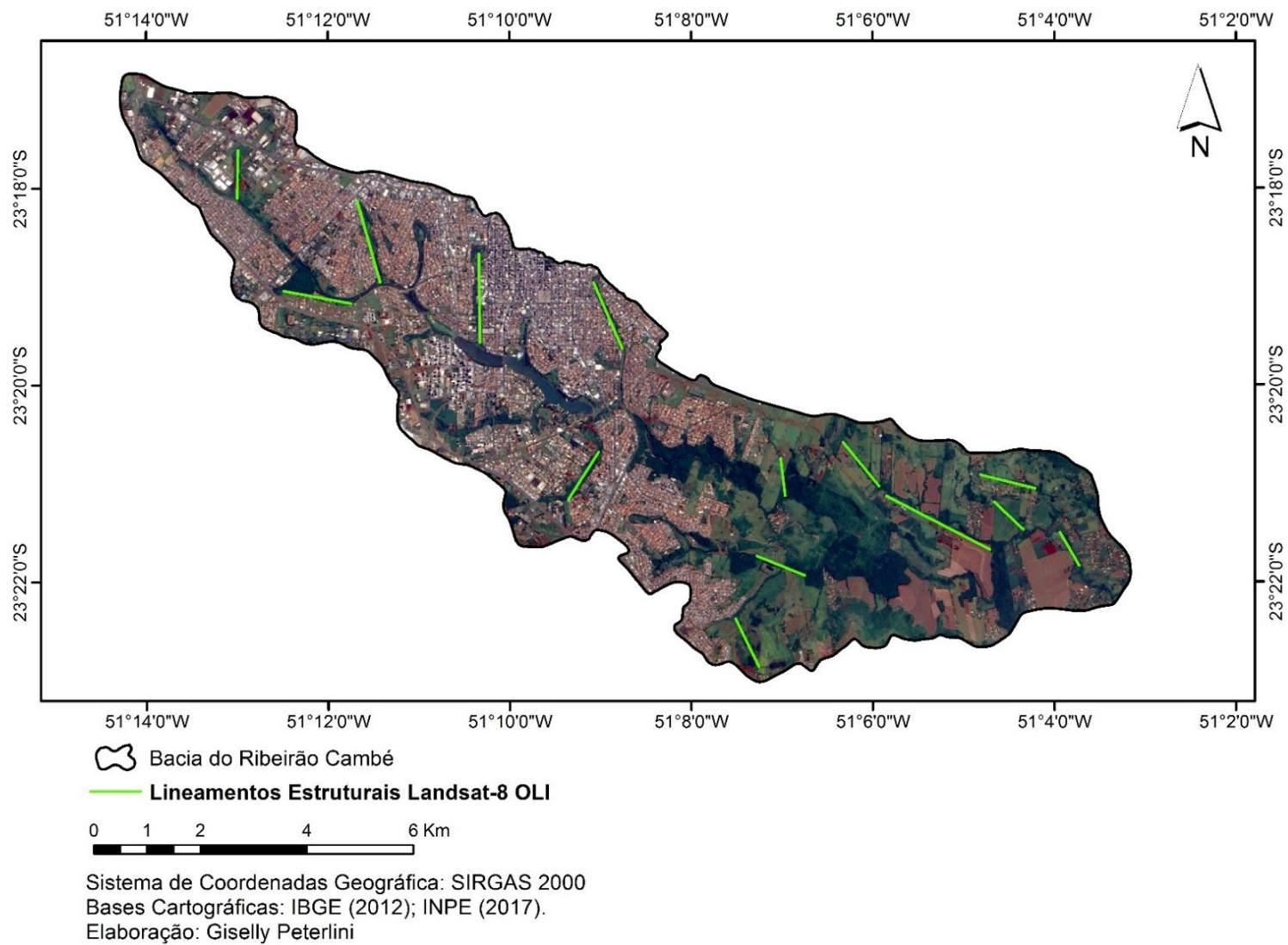
Por meio do diagrama roseta de frequência dos lineamentos estruturais identificados pela imagem SRTM e pela imagem Landsat na bacia do Ribeirão Cambé, é possível observar que as estruturas apresentam, principalmente a direção NW e, em sua maioria, ângulos entre 310° e 320° , com uma frequência máxima de 22,1%.

Figura 16 - Mapa de lineamentos estruturais interpretados utilizando as imagens SRTM com relevo sombreado



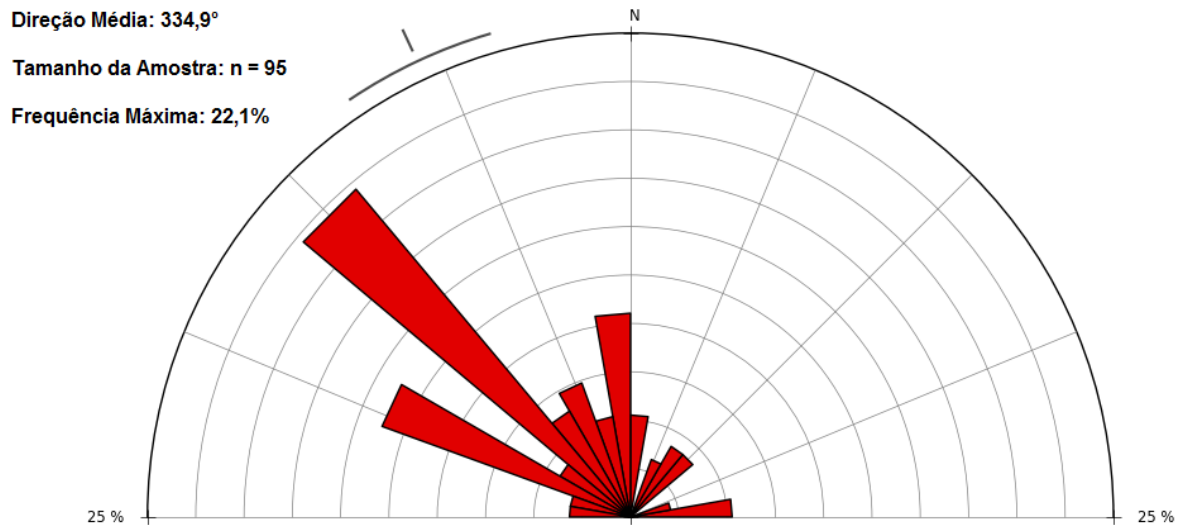
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 17 - Mapa de lineamentos estruturais interpretados utilizando as imagens do satélite Landsat-8 OLI



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 18 - Diagrama roseta da frequência acumulada dos lineamentos estruturais observados na imagem SRTM e na imagem Landsat-8 OLI



5.2 Estatística Descritiva dos Poços Tubulares

Da tabela de dados dos poços tubulares obtida do SIAGAS, que apresentava a quantidade de 220 poços cadastrados, apenas 87 destes puderam ser utilizados na análise, já que os demais apresentavam ausência de dados essenciais como vazão, capacidade específica, profundidade, NE e ND e, de acordo com Neves (2004), a falta de dados de produtividade, vazão de exploração, entre outros, impossibilita a avaliação da disponibilidade hídrica ou qualquer outro tipo de pesquisa relacionada. Portanto, as variáveis dos 87 poços cadastrados foram analisadas, obtendo-se assim os valores de média, mediana e desvio padrão, apresentados na Tabela 1.

Por meio do desvio padrão calculado das amostras, pode-se observar que estes apresentaram valores bem distantes da média, demonstrando que há grande variabilidade entre os dados. Abreu et al. (2016) e Lastoria et al. (2006) afirmam que isto ocorre devido à forte heterogeneidade e anisotropia características dos sistemas aquíferos fraturados e que, desta forma, os valores das medianas são mais representativos que os valores das médias.

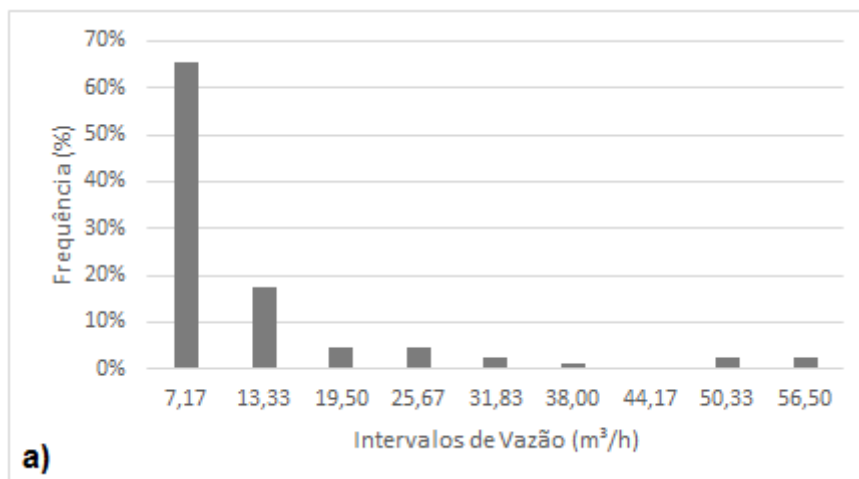
Tabela 1 – Estatística descritiva aplicada às variáveis dos poços tubulares cadastrados na microbacia do ribeirão Cambé.

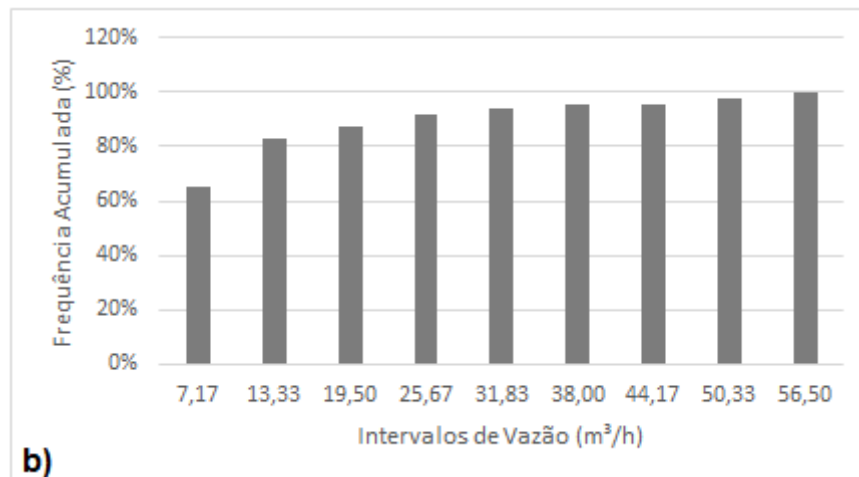
	Vazão (m ³ /h)	Capacidade Específica (m ³ /h/m)	Profundidade (m)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)
Média	9,44	0,76	150,54	49,44	83,45
Mediana	6	0,26	150	36,6	73
Desvio Padrão	11,28	1,44	53,10	36,77	40,75

5.2.1 Vazão

Os dados de vazão para os poços analisados apresentam valores que variam de 1 m³/h a 56,5 m³/h, com uma média de 9,44 m³/h, mediana de 6 m³/h e desvio padrão de 11,28 m³/h. A distribuição de frequência da vazão dos poços apresentada na Figura 19 mostra que os dados assumem comportamento exponencial, em que 65,52% (57 poços) possuem vazões de 1 m³/h a 7,17 m³/h, enquanto que 17,24% (15 poços) se encontram no intervalo de vazão de 7,17 m³/h a 13,33 m³/h. Os demais poços estão distribuídos em intervalos de vazões maiores, em que apenas 2,3% (2 poços) apresentam vazões entre 50,33 e 56,5 m³/h, valor máximo de vazão para os poços situados na bacia em estudo.

Figura 19 - Diagramas de frequência de vazão dos poços. a) Frequência Relativa; b) Frequência Acumulada



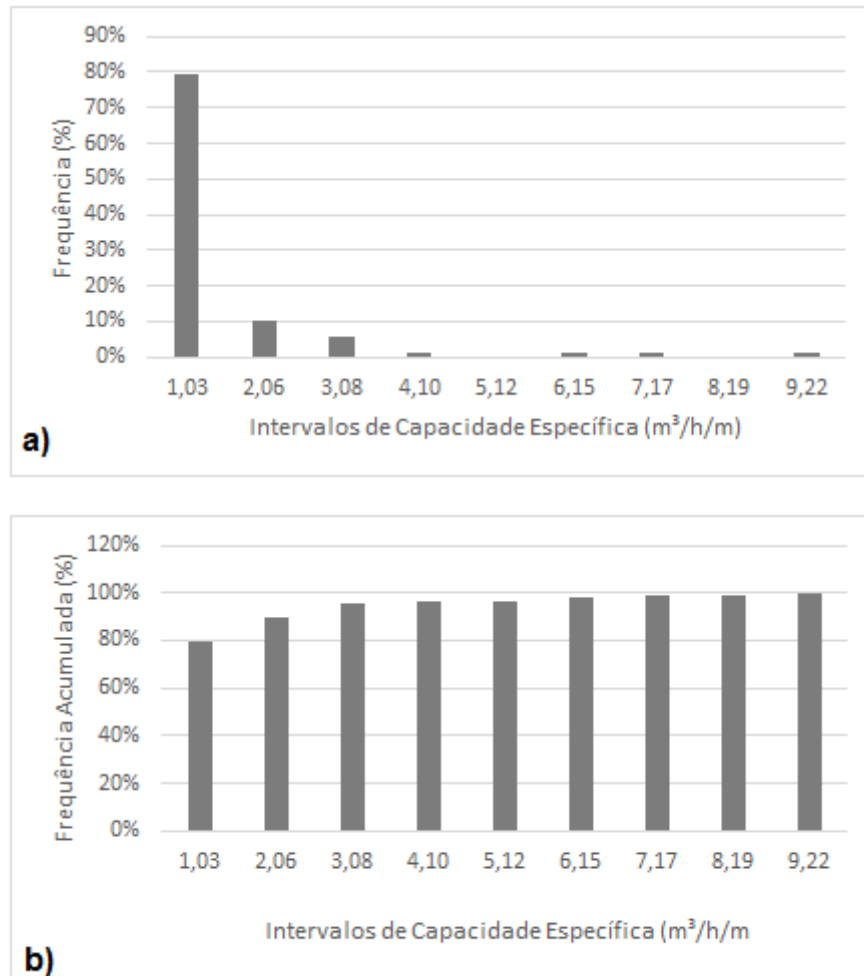


5.2.2 Capacidade Específica

Com relação à capacidade específica, Celligoi (1993) e Neves (2005) afirmam que este parâmetro é o mais indicado para avaliar a produtividade dos poços. Foram observados dados que variam de 0,009 m³/h/m a 9,22 m³/h/m. A média calculada é de 0,76 m³/h/m, com mediana de 0,26 m³/h/m e desvio padrão de 1,44 m³/h/m. Assim como na vazão, a capacidade específica dos poços apresenta uma distribuição de valores do tipo exponencial, indicando que um maior número de poços se concentram em intervalos de capacidades específicas menores e, conforme os valores de capacidade específica aumentam, o número de poços que pertencem a essas respectivas classes diminuem, como pode ser observado na Figura 20.

Dos 87 poços analisados, apenas um se encontra na classe que apresenta maior produtividade (entre 8,19 m³/m/h e 9,22 m³/h/m), enquanto que 79,31% deles (69 poços) possuem capacidade específica entre 0,009 m³/h/m e 1,03 m³/h/m, semelhante aos resultados apresentados por Celligoi (1993), que identificou que 68,3% dos poços perfurados na região de Londrina possuíam capacidades específicas menores que 1 m³/h/m.

Figura 20 - Diagramas de frequência de capacidade específica dos poços. a) Frequência Relativa; b) Frequência Acumulada



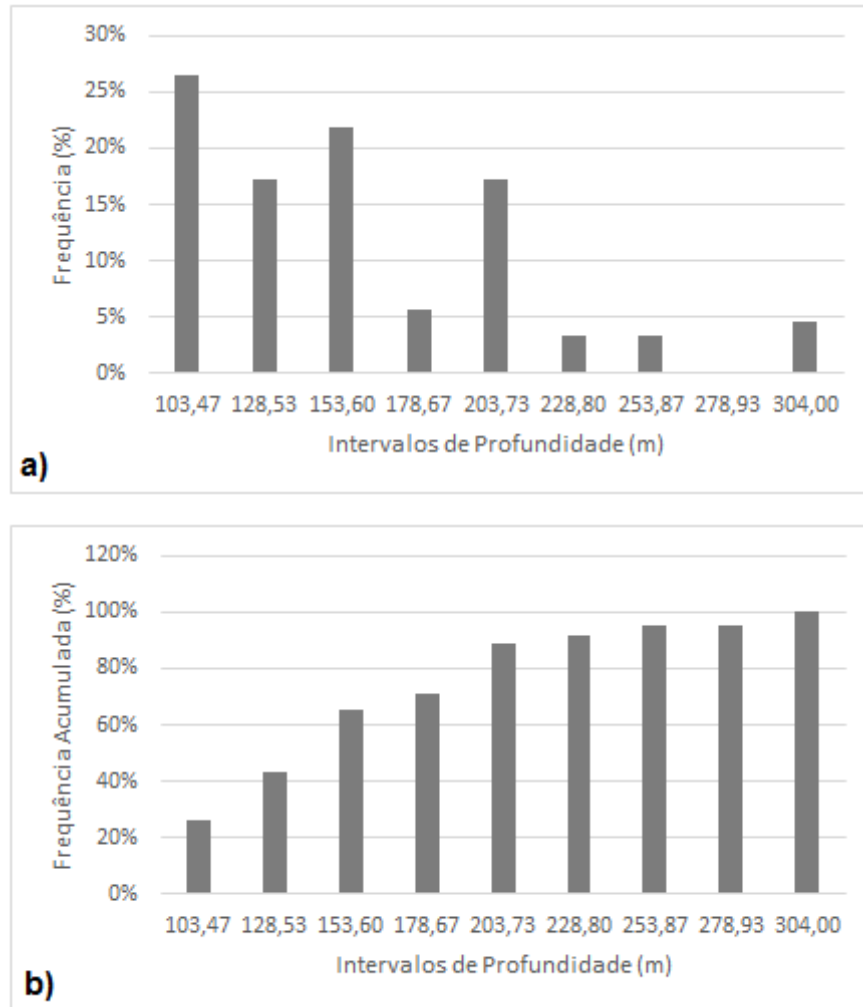
5.2.3 Profundidade

A análise da profundidade dos poços que exploram água do SASG na região da bacia do ribeirão Cambé mostra que os valores de máximo e mínimo observados variam de 78,4 m a 304 m. A média deste parâmetro se encontra em 150,54 m, com mediana de 150 m e desvio padrão de 53,1 m. Nos diagramas de frequência da Figura 21 esta tendência pode ser facilmente observada, já que maior parte dos poços cadastrados se encontram nos intervalos de profundidade de 103,47 m a 153,60 m.

Celligoi (1993) em estudos realizados no SASG apresenta que a profundidade média dos poços na região de Londrina é de cerca de 148,8 m, com picos entre 110 m a 150 m e Freitas et. al (2001), apresentam valores de profundidade de poços

explotados no oeste de Santa Catarina e concluem que a maior frequência de profundidade encontradas na região ocorre no intervalo de 100 m a 150 m.

Figura 21 - Diagramas de frequência de profundidade dos poços. a) Frequência Relativa; b) Frequência Acumulada

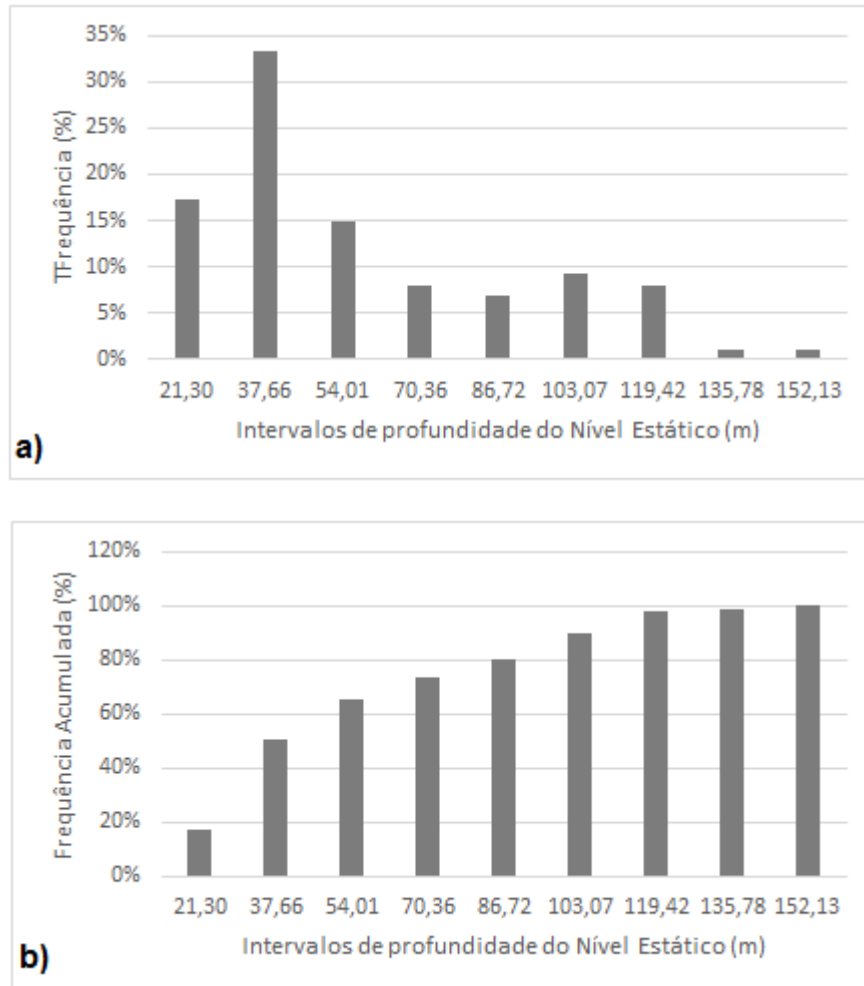


5.2.4 Nível Estático

A profundidade do nível estático dos poços estudados possui uma variação entre o mínimo e o máximo de 4,95 m a 152,13 m respectivamente, em que se observa a média de profundidade de 49,44 m, mediana de 36,6 m e desvio padrão de 36,77 m. Dos diagramas de distribuição de frequências da Figura 22, é possível identificar que neste caso a mediana é mais representativa, visto que maior parte dos poços (33,3%) possui o nível estático com profundidade entre 21,3 m e 37,66 m. Em seguida, com 17,24% de frequência, estão os poços que possuem nível estático

de 4,95 m a 21,3 m, enquanto que apenas um poço (1,15%) apresenta nível estático mais profundo, entre 135,78 m a 152,13 m.

Figura 22 - Diagramas de frequência de profundidade do Nível Estático dos poços. a) Frequência Relativa; b) Frequência Acumulada

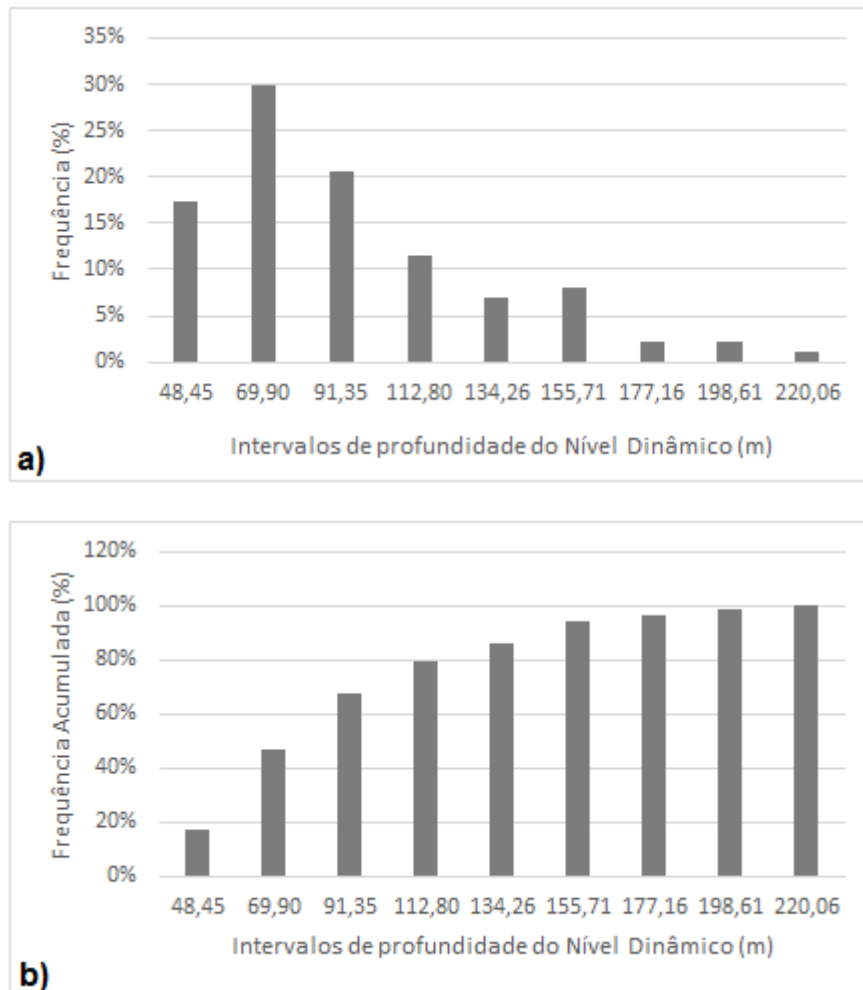


5.2.5 Nível Dinâmico

Quanto ao nível dinâmico, estes apresentam profundidades que se encontram entre 27 m e 220,06 m. A média calculada para o seguinte parâmetro foi de 83,45 m, com mediana de 73 m e desvio padrão de 40,75 m. Nos diagramas de distribuição de frequência (Figura 23), pode ser observado que 29,89% (26 poços) possuem profundidades de ND entre 48,45 m e 69,9 m, seguidos pela classe de profundidade entre 69,9 m e 91,35 m, com cerca de 20,7% dos poços. Foi possível observar que o ND apresenta profundidades maiores que o NE e isso ocorre devido ao bombeamento pelo qual o poço está sendo submetido. Barbosa Júnior (2014)

aponta que “o nível dinâmico fica abaixo do nível estático, tanto mais quanto maior for a vazão de bombeamento”. Neves et al. (2004) afirma ainda que quanto menor a capacidade do aquífero de fornecer água naquele ponto, maior será a profundidade do nível dinâmico.

Figura 23 - Diagramas de frequência de profundidade do Nível Dinâmico dos poços. a) Frequência Relativa; b) Frequência Acumulada



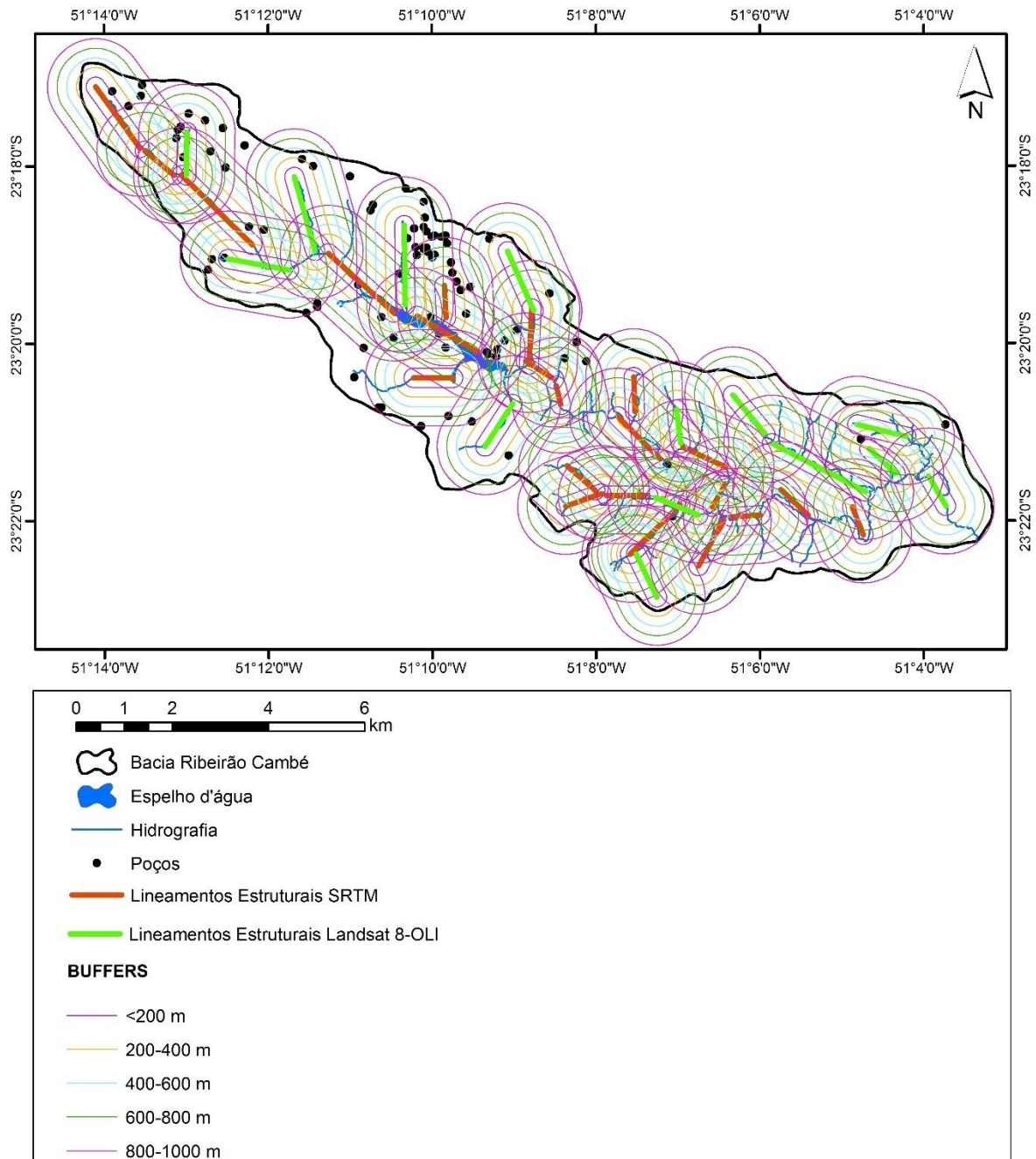
5.3 Análise de Correlação entre os dados

5.3.1 Análise Multivariada de Variância

Para avaliar a influência que os lineamentos estruturais exercem sobre os poços, foi aplicada a ferramenta *buffer*, na qual os poços foram agrupados em classes de distância para os lineamentos estruturais, compreendendo as seguintes

classes: menores que 200m, 200m-400m, 400m-600m, 600m-800m e 800m-1000m e maiores que 1000m, como mostra a Figura 24.

Figura 24 - Mapa de buffers aplicados aos lineamentos estruturais e localização dos poços tubulares na bacia do Ribeirão Cambé



* Os poços que não estão inseridos em nenhum *buffer* foram considerados na classe >1000 m.

Fonte: Elaborado pela autora.

A MANOVA, considerando conjuntamente os dados de distância dos lineamentos com os valores de vazão, capacidade específica, profundidade, NE e

ND, detectou diferença significativa entre os buffers analisados (Tabela 2; $F = 1,54$; $p < 0,05$).

Tabela 2 – Resultado da Análise Multivariada de Variância (MANOVA) aplicada aos buffers com as diferentes classes de distância entre os poços e os lineamentos estruturais.

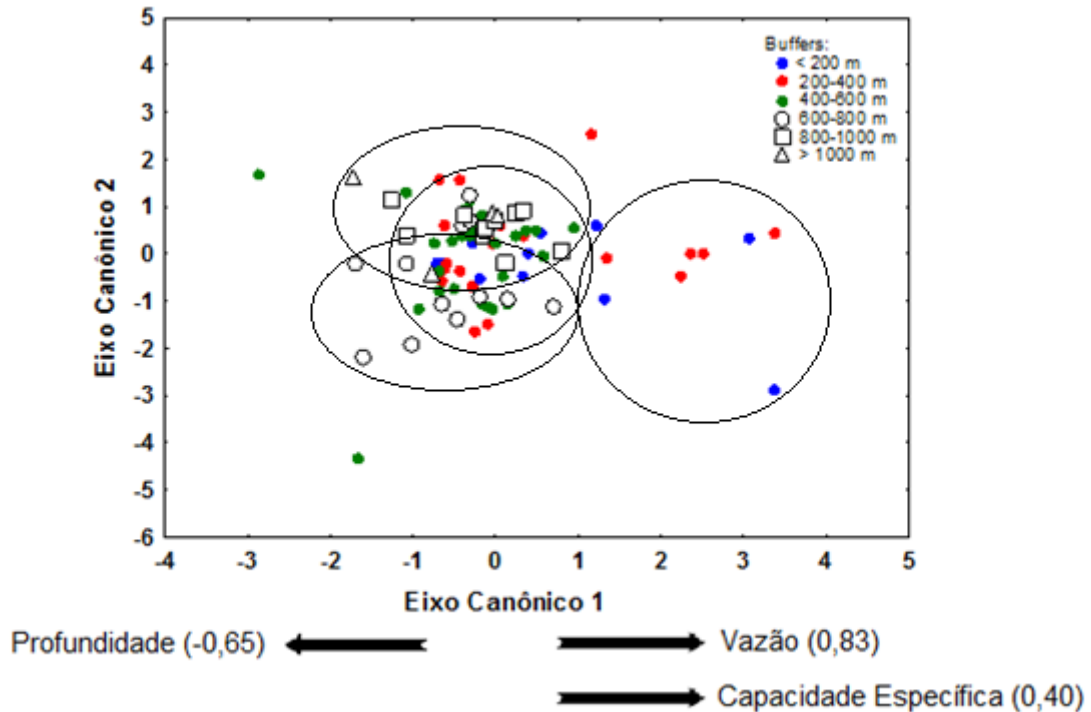
Nº de variáveis no modelo: 5; Agrupamento: Buffer (6 grupos)				
Lambda Wilks' = 0,63; $F(25,287) = 1,54$; $p < 0,05$				
N = 87	Lambda Wilks'	Lambda Parcial	F	P
Vazão	0,72	0,87	2,35	0,048
Nível Estático	0,69	0,91	1,61	0,16
Nível Dinâmico	0,70	0,90	1,78	0,13
Profundidade	0,69	0,90	1,63	0,16
Cap. Específica	0,68	0,92	1,38	0,24

A MANOVA mostra que há diferença significativa entre os grupos de buffers em que, do limite do nível de significância ($p < 0,05$), foi possível confirmar a hipótese de que há variáveis que segregam os grupos definidos a priori. Neste caso, a única variável significativa para a hipótese de segregação dos grupos foi a vazão, que apresentou um valor de $Lambda Wilks = 0,72$, $F = 2,35$ e $p = 0,048$, enquanto as demais variáveis não contribuíram significativamente para a segregação entre os grupos.

5.3.2 Análise Discriminante Canônica

A partir destes resultados foi possível aplicar a ADC, apresentada na Figura 25, para observar como a distância entre os poços e os lineamentos estruturais se correlacionam com as variáveis de vazão, capacidade específica, profundidade, NE e ND, bem como para avaliar como a vazão atuou na segregação dos grupos de buffers. Na Figura 25 os poços são representados pelos pontos distribuídos nos gráficos e as cores (vermelho, azul e verde), bem como as formas dos pontos (círculos, quadrados e triângulos) representam os grupos de buffers.

Figura 25 - Análise Discriminante Canônica (ADC) entre os poços tubulares e grupos de buffers



Eixo Canônico 1: Autovalor=0,29; Eixo Canônico 2: Autovalor=0,13

A MANOVA e a Figura 25 demonstram que, apesar de sutis, foram encontradas diferenças entre os grupos de buffers criados a priori, o que representa que ao menos uma, dentre as variáveis analisadas, causam a segregação dos grupos (destacados pelos círculos maiores) e resultam no distanciamento dos pontos plotados. A Tabela 3 apresenta os coeficientes das variáveis que mais explicam a distribuição dos poços ao longo dos eixos canônicos 1 e 2. Os coeficientes que apresentam valores positivos na tabela, explicam o sentido positivo do eixo canônico 1, enquanto que o valor negativo explica o sentido negativo do eixo canônico 1.

Tabela 3 - Coeficientes das variáveis que mais explicam a distribuição dos poços ao longo dos eixos canônicos

Variáveis	Eixos Canônicos	
	1	2
Vazão	0,83	0,16
Cap. Específica	0,40	-0,67
Nível Estático	0,24	1,42
Nível Dinâmico	0,21	-1,90
Profundidade	-0,65	0,71
Autovalor	0,29	0,13

Ao observar o Eixo Canônico 1 da ADC, é possível identificar que alguns poços classificados nos grupos de distâncias mais próximas (<200 e de 200-400 metros) apresentam maiores escores positivos, indicando que estes poços sofrem maior influência das estruturas das rochas.

Da Tabela 3 apresentada, fica evidenciado que a vazão é a variável responsável por essa segregação, apresentando escore de 0,83, seguido pela capacidade específica (0,40). Isto demonstra que a distância entre o poço e o lineamento influencia na vazão que o poço fornecerá, em que quanto menor a distância, maior será a vazão. Portanto, a análise ADC confirma a influência dos lineamentos na produtividade dos poços do SASG na bacia do Ribeirão Cambé. Madrucci et al. (2003) apontam que esta influência ocorre devido às regiões mais próximas aos lineamentos serem mais fraturadas e, desta forma, mais favoráveis à infiltração, circulação e armazenamento de água subterrânea.

Já os poços do grupo de distâncias entre 400-600 metros, com exceção de alguns pontos mais distantes, estão concentrados nas áreas do gráfico mais próximas à zero, o que mostra que estes estão em uma área intermediária, que não sofrem tanta influência dos lineamentos quanto os poços a distâncias menores.

Com relação aos grupos de buffers entre 600-800 metros, 800-1000 metros e aqueles >1000 metros, apresentaram uma tendência de partir do valor central (zero) para os valores negativos do Eixo Canônico 1, porém mais evidenciada que a do grupo de 400-600 metros. Da Tabela 3 pode-se observar que os poços que apresentaram escores mais negativos para o Eixo 1 foram segregados principalmente pela profundidade (-0,65). Isto demonstra que quanto mais distante o poço se encontra dos lineamentos estruturais, maior é a tendência do mesmo ter maior profundidade.

Entretanto, Neves et al. (2004) afirma que a profundidade de poços tubulares é uma variável que depende muito da escolha do perfurador, das necessidades do cliente e do tipo de uso pretendido. Freitas et al. (2001) citam que, em geral, a tendência é que um poço seja aprofundado até o ponto que seja assegurada a quantidade de água desejada, porém em profundidades superiores a 150 m, a probabilidade de que sejam encontradas vazões significativas é muito baixa, devido à menores contribuições de entradas de água ao longo dos perfis construtivos dos poços.

Ao observar os pontos extremos do Eixo Canônico 1 no gráfico da ADC é possível constatar esta correlação entre a produtividade e a profundidade dos poços citada, em que para o sentido positivo do eixo a vazão é a variável mais significativa, enquanto que para o sentido negativo, a profundidade é a variável mais significativa. Sendo assim, os resultados indicam que a vazão e a profundidade são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a profundidade do poço, menor a vazão que o mesmo poderá fornecer. Abreu et al. (2016) e Freitas et al. (2001) demonstram esta correlação e afirmam que a quantidade e abertura das fraturas apresentam uma tendência de diminuição com o aumento da profundidade devido à pressão litostática, o que causa um decréscimo da vazão em maiores profundidades. Neves (2005) aponta que o peso das rochas sobrejacentes tende a fechar as fraturas, o que leva a diminuição da permeabilidade das rochas com a profundidade em aquíferos fraturados.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, conclui-se que o mapeamento dos lineamentos estruturais presentes na bacia do Ribeirão Cambé, utilizando imagens de sensoriamento remoto (Landsat 8 OLI) e radar (SRTM) obteve-se excelentes resultados. Porém, a interpretação de imagens SRTM com aplicação da técnica de relevo sombreado, permitiu obter resultados mais significativos, em que foram observados 22 lineamentos com estas imagens, enquanto que com a imagem de satélite foram identificados 14 lineamentos, demonstrando a importância das etapas de processamento de imagens aplicado aos estudos hidrogeológicos.

Da análise estatística descritiva foi possível observar grande variabilidade nos resultados quando comparado os dados de poços tubulares, principalmente com relação à capacidade específica, o que pode ser explicado pela forte heterogeneidade e anisotropia características de aquíferos fraturados como o SASG. Devido a este fato, para a análise de correlação entre os lineamentos estruturais e os dados de poços foi necessário considerar o estudo das variáveis hidrodinâmicas em conjunto para melhor representação dos fenômenos ambientais, visto que estes ocorrem simultaneamente e, desse modo, mais de uma variável pode estar correlacionada.

Portanto, a utilização das análises MANOVA e ADC apresentaram resultados satisfatórios para este estudo, já que os resultados da correlação realizada entre a distância dos lineamentos estruturais e o conjunto de variáveis dos poços analisados, mostrou que a vazão de um poço é a variável que sofre maior influência estatística, diretamente proporcional a proximidade deste com os lineamentos estruturais, seguida pela capacidade específica. Essa correlação demonstra que quanto maior a proximidade dos poços com a fratura, maior é a sua produtividade.

Por meio da aplicação da ADC também notou-se que a produtividade dos poços está inversamente proporcional a profundidade, ou seja, quanto maior a profundidade, menor vazão o poço fornecerá.

Buscou-se por meio do presente estudo melhor compreender a potencialidade do SASG, que na situação atual apresenta poços, em sua maioria, com baixas vazões e capacidades específicas. Ao mesmo tempo, durante a realização desta pesquisa, pode-se observar que são poucos os estudos do SASG na região de

Londrina, bem como os dados de poços obtidos por meio do SIAGAS apresentam-se incompletos, dificultando os estudos e conseqüentemente, a exploração mais eficiente deste aquífero.

Por fim, constatou-se a importância que os estudos hidrogeológicos trazem à gestão de recursos hídricos em Londrina, visto que estes podem vir a aumentar sua potencialidade e contribuir para a exploração sustentável e eficiente do SASG, permitindo identificar locais que podem conferir melhores vazões aos poços e tornar este aquífero uma fonte potencial de abastecimento para o município. A diminuição dos impactos ambientais em locais que podem apresentar menores reservas de água subterrânea como reduções das descargas de base dos rios, o esgotamento de nascentes, bem como redução da pressão existente sobre os mananciais superficiais já explorados em Londrina, são mais algumas vantagens que podem ser citadas com os avanços dos estudos do SASG.

Além disso, o aumento do potencial de uso das suas águas subterrâneas pode trazer benefícios econômicos para o município, como a redução de custos com tratamentos de água e menores dispêndios financeiros em perfurações de poços muito profundos e pouco produtivos ou até mesmo a perfuração de poços secos.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. C.; CONICELLI, B. P.; PEÑARANDA, J. R. Avaliação da produtividade dos poços tubulares na sub-bacia do Juqueri-Cantareira/SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XIX., 2016, Campinas. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, 2016.

ALMEIDA, L. de. et al. **Hidrogeologia do Estado de Goiás**. Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Goiânia, 2006.

ANDRADES FILHO, C. O.; FONSECA, L. M. G. Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO, XIV., 2009. Natal. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Rio Grande do Norte: Natal, 2009.

ARAÚJO, R. S. de. **Micro Bacia do Ribeirão Cambé-Londrina-PR: Levantamento Ambiental Utilizando Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. 2004. 140 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2004.

BARBOSA JÚNIOR, A. R. Água Subterrânea/Hidráulica de Poços. In: _____. **Elementos de Hidrologia Aplicada**. 2014. Disponível em <<http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%208/>> Acesso em: 18 out. 2016.

BARRETO, A. B. C.; MONSORES, A. L. M.; PIMENTEL, J. Modelo de favorabilidade hidrogeológica em aquíferos fissurais: A utilização de técnicas de geoprocessamento no cristalino do Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE, IV., 2001. Recife. **Revista Águas Subterrâneas**. São Paulo, 2001. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24485>> Acesso em: 10 abr. 2016.

BARROS, M. V. F. et al. Curso e (Per) Curso das Águas. **Revista Atlas Ambiental da Cidade de Londrina**. 2008. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/atlasambiental/NATURAL/CURSODASAGUAS.htm>> Acesso em: 27 set. 2016.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. 248 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Introdução**. In: CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Geoinformática**. 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf>> Acesso em: 30 mar. 2016.

CARNEIRO, C. D. R., GONÇALVES, P. W., LOPES, O. R. O Ciclo das Rochas na Natureza. **Torre Didática**, 5(1): 50-62, 2009.

CELLIGOI, A. **Recursos hídricos subterrâneos da formação Serra Geral em Londrina – PR**. 2005. 108 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1993.

CELLIGOI, A.; BRITO, C. M. Utilização de critérios hidrogeológicos para captação de água subterrânea em Iguaraçu, Estado do PR. **Geografia**, Londrina, v. 8, n. 1, p. 83-90, jan. / jun. 1999.

CRUZ, I.; CAMPOS, V. B. G. Sistemas de Informações Geográficas aplicados à análise espacial em transportes, meio ambiente e ocupação do solo. Meio Ambiente e Ocupação Do Solo In: RIO DE TRANSPORTES III, 2005, Rio de Janeiro. **Rio de Transportes III.**, 2005. Disponível em: <<http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/vania/pubs.htm>> Acesso em: 20 out. 2016.

FARIA, G. G. Caracterização física e análise comparativa das formas de uso e ocupação do solo (1970-1999) na microbacia hidrográfica do Ribeirão Cambé, Londrina - PR. **Geografia (Londrina)**. v. 14, n. 2, jul./dez. 2005.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 2ª ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. 391 p.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3ª ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008, 812 p.

FREITAS, M. A. Determinação do potencial hidrogeológico de rochas cristalinas através de técnicas de geoprocessamento. In: 1st JOINT WORLD CONGRESS ON GROUNDWATER, 2000, Fortaleza. **Revista Águas Subterrâneas**. São Paulo, 2000. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24327> > Acesso em 10 abr. 2016.

FREITAS, M. A.; ECKERT, R. M.; CAYE, B. R. **Captações de água subterrânea no oeste do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM/SDMEPAGRI, 2001.

GOMES, M. A. F. **Importância do solo para a água subterrânea**. Embrapa, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3561194/artigo--importancia-do-solo-para-a-agua-subterranea>> Acesso em: 21 set. 2016.

HAIR JR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. 6ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009, 688 p.

INSTITUTO AGRONÔMICO – IAC. **Latossolos**. 2014. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/solosp/pdf/Latossolos.pdf>> Acesso em: 26 set. 2016.

INSTITUTO AGRONÔMICO – IAC. **Neossolos**. 2014. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/solosp/pdf/Neossolos.pdf>> Acesso em: 26 set. 2016.

INSTITUTO AGRONÔMICO – IAC. **Nitossolos**. 2014. Disponível em:
<<http://www.iac.sp.gov.br/solosp/pdf/Nitossolos.pdf>> Acesso em: 26 set. 2016.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Médias Históricas**. 2015.
Disponível
em:<http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Londrina.htm> Acesso em: 20 set. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Noções Básicas de Cartografia**. Diretoria de Geociências: Departamento de Cartografia – DECAR, 2016. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoos/indice.htm>
Acesso em: 06 jun. 2016

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA. 3ª ed. 2012. 104 p.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS – ITCG. **Divisão Político-Administrativa do Paraná – 2015**. 2015. Disponível em:
<<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/faq/category.php?categoryid=8#>> Acesso em: 27 out. 2016.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. 4ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

LASTORIA, G.; SINELLI, O.; KIANG, C. H.; HUTCHEON, I.; PARANHOS FILHO, A. C.; GASTMANS, D. Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul. **Águas Subterrâneas**, v.20, n.1, p.139-150, 2006.

LIU, C. C. **Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto**: aplicação ao estado do Rio de Janeiro. 1984. 156 f. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo. 1984.

MADRUCCI, V.; ARAÚJO, C. C.; TAIOLI, F. Sensoriamento remoto, aerogeofísica e geoprocessamento aplicados ao estudo de aquífero fraturado em terreno cristalino, leste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 33. 33(2-Suplemento):43-52, junho de 2003.

MATSUOKA, J. V.; ALVES, R. C M.; SALDANHA, D. L. Geoprocessamento Aplicado à Previsão de Eventos Extremos para o Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO, XIV., 2009, Natal. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Rio Grande do Norte: Natal, 2009.

MATZEMBACHER, L. T. **Caracterização estrutural, hidrogeológica e hidroquímica da zona de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG) na região sudoeste do Rio Grande de Sul**. 2011. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

MINEROPAR – MINERAIS DO PARANÁ S/A. **Atlas geológico do Estado do Paraná**. Curitiba: Secretaria de Estado da Indústria, do Comércio e do Turismo. 2001. 116 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Águas Subterrâneas: Um recurso a ser protegido**. Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf> Acesso em: 22 jun. 2016.

NEVES, M. A. **Análise integrada aplicada à exploração de água subterrânea na bacia do Rio Jundiá (SP)**. 2005. 200 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional). Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE). Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro. 2005.

NEVES, M. A. et al. Análise das informações disponíveis sobre poços tubulares profundos e seu uso no diagnóstico da variação temporal do nível d'água e da produtividade dos aquíferos da bacia do Rio Jundiá (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XIII, 2004, Cuiabá. **Revista Águas Subterrâneas**. São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, E. F.; GOULART, E.; BREDÁ, L. MINTE-VERA, C. V.; PAIVA, L. R. S.; VISMARA, M. R. Ecomorphological patterns of the fish assemblage in a tropical floodplain: effects of trophic, spatial and phylogenetic structures. **Neotropical Ichthyology**, 8(3): 569-586, 2010.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **GSA Bulletin**, v. 87, p. 1463-1469, 1976.

PENTEADO, A. R. Turismo e Meio Ambiente: Uma Síntese Geográfica. **Revista Turismo e Análise**, v. 3, n. 1, p. 13-20, 1992.

PESSOA, M. D.; MENTE, A.; LEAL, O. Províncias hidrogeológicas adotadas para o mapa hidrogeológico do Brasil na escala 1:2.500.000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, 1980. Recife. **Anais do 1º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. Pernambuco: Recife, 1980.

PREFEITURA DE LONDRINA. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Londrina/ PR: Relatório de Diagnóstico da Situação do Saneamento**. 2010. Disponível em: <http://www1.londrina.pr.gov.br/dados/images/stories/Storage/gabinete/PMSB/abastecimento_agua_03_10.pdf> Acesso em: 05 jun. 2016.

QUEIROZ, G. L.; SALAMUNI, E. NASCIMENTO, E. R. AzimuthFinder: ferramenta para extração de dados e apoio na análise estrutural. **Geol. USP, Sér. cient.**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 69-80, março 2014.

REBOUÇAS, A. C. **Uso Inteligente da Água**. 1ª ed. São Paulo: Escrituras, 2004. 206 p.

RIBEIRO, D. D. M.; ROCHA, W. J. S. F.; GARCIA, A. J. V.; ARAÚJO, W. B. Técnicas de Sensoriamento Remoto com foco na identificação de lineamentos estruturais: aplicação na sub-bacia do rio Siriri, estado de Sergipe. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR. XV, 2011. Curitiba. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. Paraná: Curitiba, 2011.

ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L. A importância do Sistema Aquífero Serra Geral para a cultura da soja no estado do Paraná. **Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 2, p. 49-56, 2006.

SANTOS, C. S. M. dos. **Atlas do espaço rural Brasileiro**. IBGE: Rio de Janeiro, 2011. p. 76-91. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=263372>> Acesso em: 27 maio 2016.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Noções básicas sobre poços tubulares**: Cartilha informativa. 1998. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas_publicacoes/Nocoos_Basicas_Pocos_Tubulares.pdf> Acesso em: 18 out. 2016.

SILVA, C. N.; VILLAR, P. C. C. M.; SANTOS, C. B.; SANTOS, A. A. **Utilização do Siagas como ferramenta para gestão dos recursos hídricos do Sistema Aquífero Urucuia – Oeste da Bahia na rede integrada de monitoramento das águas subterrâneas – RIMAS/SGB-CPRM**. 2013. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27853/18074>> Acesso em: 18 maio 2017.

SILVA, J. X. da; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e Análise Ambiental: Aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Editora Record, 2009.

SOUZA, L. C. **Águas subterrâneas e a legislação brasileira**. Curitiba: Juruá, 2009. 236 p.

STATSOFT. 2005. **Statistica for Windows** (computer program manual). Version 7.0. Tulsa, StatSoft, Inc.

STURARO, J. R. Apostila de Geoestatística Básica. Universidade Estadual de São Paulo – Departamento de Geologia Aplicada (IGCE). 2015. Disponível em: <<http://igce.rc.unesp.br/Home/Departamentos47/geologiaaplicada/apostila-basica.pdf>> Acesso em: 23 out. 2016.

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. 2ª ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. 620 p.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**: atualização da tecnologia. 11ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos. **MultiCiência: Revista Interdisciplinar dos Centros e Núcleos da Unicamp**, 2003. Disponível em: <https://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_01/A3_Tundisi_port.PDF> Acesso em: 27 maio 2016.

VIDAL, A. C.; SIDNEI, P. R.; KIANG, C. H.; MARTINI, M. L. Estudo da relação entre lineamentos estruturais e a exploração de água subterrânea por meio da análise de favorabilidade. **Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 2, p. 27-38, 2006.