

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS LONDRINA

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

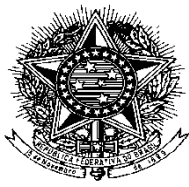
EDUARDO HENRIQUE GIRALDI

**POTENCIALIDADES HIDROGEOLÓGICAS DO SISTEMA AQUÍFERO
SERRA GERAL (SASG) NA BACIA DO RIBEIRÃO CAMBÉ –
LONDRINA-PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2016



EDUARDO HENRIQUE GIRALDI

**POTENCIALIDADES HIDROGEOLÓGICAS DO SISTEMA AQUÍFERO
SERRA GERAL (SASG) NA BACIA DO RIBEIRÃO CAMBÉ –
LONDRINA-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Bacharelado em 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

2016



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



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Potencialidades Hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)
na bacia do Ribeirão Cambé – LONDRINA-PR

por

Eduardo Henrique Giraldi

Monografia apresentada no dia 30 de novembro de 2016 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. Marcelo Eduardo Freres Stipp
(UTFPR)

Prof. Dr. Edson Fontes de Oliveira
(UTFPR)

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

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que me ajudou a ter forças, paciência, dedicação e insistência, não deixando com que eu fraqueje, mesmo diante de imprevistos.

Meus sinceros e especiais agradecimentos ao Dr. Maurício Moreira dos Santos, pela constante e dedicada orientação e revisão criteriosa no desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus familiares que tanto amo, principalmente à minha mãe, Irene, ao meu pai José Paulo, ao meu irmão Tiago e a minha namorada Aline pelo amor, carinho, compreensão, apoio incondicional, e a paciência durante toda minha trajetória acadêmica, inclusive os momentos mais difíceis de minha graduação.

Em especial a minha avó, Aparecida (vó Cida), que por toda minha graduação acompanhou-me com muito apoio, ouvindo-me por horas mesmo a distância. E que agora não se encontra mais entre nós.

As pessoas que por anos moramos juntos e criamos um vínculo de irmãos.

A todos os meus amigos de graduação por traçarmos está trajetória em nossas vidas juntos. Onde um apoiou o outro e nunca desistimos, apesar de todas as dificuldades.

O meu sincero e caloroso agradecimento a todos!

RESUMO

GIRALDI, Eduardo Henrique. **Potencialidades Hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na bacia do Ribeirão Cambé – Londrina-PR**. Monografia (Graduação) – Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Londrina, 2016. 78 p.

A utilização e a poluição dos recursos hídricos na bacia do ribeirão Cambé vêm aumentando a exploração das águas subterrâneas. A maior parte de desta bacia encontra-se na região central de Londrina. Buscando ajudar no gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente das águas subterrâneas, a pesquisa desenvolveu uma investigação do comportamento hidrogeológico da área. A bacia encontra-se envolvida pelo Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). Identificou-se a necessidade da investigação dos poços contidos no local, utilizando dados de poços tubulares profundos do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e criando um banco de dados. Por meio da utilização do programa ArcGIS®, foi possível sistematizar e agrupar os dados, gerando mapas que delimitam a área de estudo, a localização dos poços estudados e analisou a potenciometria local. Na parte estatística, utilizou-se o programa Microsoft® Excel 2010, desenvolvendo diversos gráficos e os analisando.

Palavras chave: Uso da Água; Hidrogeologia; SASG; SIG; Bacia do Ribeirão Cambé.

ABSTRACT

GIRALDI, Eduardo Henrique. **Hydrogeological Potentialities of the Serra Geral Aquifer System (SASG) in the basin Ribeirão Cambé – Londrina-PR.** Monograph (Graduate) – Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Londrina, 2016. 78 p.

The use and pollution of water resources in the Cambé river basin has increased the exploitation of groundwater. Most of this basin is in the central region of Londrina. Seeking to assist in the management of water resources, mainly groundwater, the research developed an investigation of the hydrogeological behavior of the area. The basin is surrounded by the Serra Geral Aquifer System (SASG). It was identified the need to investigate the wells contained in the site, using data from deep tubular wells of the Groundwater Information System (SIAGAS) and creating a database. Through the use of the ArcGIS® program, it was possible to systematize and group the data, generating maps that delimit the study area, locating the wells studied and made it possible to analyze the local potentiometry. In the statistical part, the Microsoft® Excel 2010 program was developed, developing several graphs and analyzing them.

Keywords: Use of Water; Hydrogeology; SASG; SIG; Basin of Ribeirão Cambé.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formação Piramboia.....	24
Figura 2 - Afloramento de arenito da Formação Botucatu, destacando algumas estratificações cruzadas e as fraturas.....	25
Figura 3 - Formação Serra Geral.	27
Figura 5 - Localização da área de estudo, com o mapa de situação do estado do Paraná em destaque com os municípios de Cambé e Londrina e mapa de detalhe com a delimitação da Bacia do Ribeirão Cambé.	33
Figura 4 – Cobertura vegetal Bacia do Ribeirão Cambé.	36
Figura 6- Bacia do Ribeirão Cambé, Londrina-PR. Destacando a delimitação da bacia e a localização dos poços cadastrados no SIAGAS.	45
Figura 7 – Evolução histórica do total de poços perfurados por ano na bacia do ribeirão Cambé, de acordo com o banco de dados compilado.....	46
Figura 8 – Gráfico com o uso das águas subterrâneas na bacia do ribeirão Cambé.....	47
Figura 9 – Diagrama de frequência da profundidade dos poços que exploram o SASG.	49
Figura 10 - Diagrama de frequência acumulada da profundidade dos poços que exploram o SASG.	50
Figura 11 - Diagrama de frequência da vazão dos poços que exploram o SASG.	51
Figura 12 - Diagrama de frequência acumulada da vazão dos poços do SASG.	51
Figura 13 - Diagrama de frequência da capacidade específica dos poços que exploram o SASG.	52
Figura 14 - Diagrama de frequência acumulada da capacidade específica dos poços que exploram o SASG.	53
Figura 15 - Diagrama de frequência da profundidade do nível estático (NE) dos poços que exploram o SASG.....	54
Figura 16 - Diagrama de frequência acumulada da profundidade do nível estático (NE) dos poços que exploram o SASG.....	55
Figura 17 - Diagramas de frequência da profundidade do nível dinâmico (ND) dos poços que exploram o SASG.....	56
Figura 18 - Diagramas de frequência acumulada da profundidade do nível dinâmico (ND) dos poços que exploram o SASG.....	56
Figura 19 - Mapa da profundidade do NE no Sistema Aquífero Serra Geral na bacia do ribeirão Cambé com base nos dados de poços tubulares profundos contidos no banco de dados do SIAGAS.	58
Figura 20 - Gráfico de correlação da vazão específica com a profundidade dos poços que exploram o SASG.....	60
Figura 21 - Gráfico de correlação da profundidade com o nível dinâmico dos poços que exploram o SASG.	60
Figura 22 – Interferências entre os poços em relação ao ano de construção.	62
Figura 23 - Variação da profundidade mediana do NE ao longo dos anos.	63

Figura 24 – Diagrama de frequência acumulada do NE, ao longo dos anos.	64
Figura 25 – Variação da profundidade mediana do ND.....	65
Figura 26 – Diagramas de frequência acumulada do ND, para cada período.	66
Figura 27 – Variação das vazões medianas utilizadas nos testes de bombeamento ao longo dos intervalos de tempo.....	67
Figura 28 – Interpolação da vazão dos poços da bacia do ribeirão Cambé. Destacando a localização dos poços.	68
Figura 29 – Variação da vazão específica mediana nos três períodos estudados.	69

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	11
2 – OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 – REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 CONCEITOS	15
3.2 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	16
3.2.1 <i>Legislação Relevante aos Recursos Hídricos</i>	16
3.2.2 <i>Poço Versus Buraco</i>	18
3.2.3 <i>Gestão Integrada dos Aquíferos</i>	18
3.3 HIDROGEOLOGIA	19
3.3.1 <i>Hidrogeologia e Potencialidade Hídrica na Bacia Hidrográfica</i>	20
3.4 TIPOS DE POÇOS	21
3.4.1 <i>Poços Tubulares Profundos</i>	22
3.4.2 <i>Métodos de Perfuração e Testes de Bombeamento</i>	22
3.5 GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	22
3.6 GEOLOGIA REGIONAL.....	23
3.6.1 <i>Formação Piramboia</i>	23
3.6.2 <i>Formação Botucatu</i>	24
3.6.3 <i>Formação Serra Geral</i>	25
3.6.4 <i>Geomorfologia</i>	27
3.6.5 <i>Pedologia</i>	28
3.6.6 <i>Vegetação</i>	29
3.6.7 <i>Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)</i>	29
3.6.8 <i>Sistema Aquífero Guarani (SAG)</i>	30
3.7 POTENCIALIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LONDRINA	31
4 – ÁREA DE ESTUDOS	31
4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICA DA BACIA DO RIBEIRÃO CAMBÉ	34
4.1.1 <i>Geologia</i>	34
4.1.2 <i>Solos</i>	34
4.1.3 <i>Hidrografia</i>	35
4.1.4 <i>Vegetação</i>	36
4.1.5 <i>Clima</i>	37

5 – MATERIAIS E MÉTODOS	38
5.1 MATERIAIS	38
5.2 ETAPAS DE EXECUÇÃO DO PROJETO	38
5.2.1 Banco de Dados	39
5.2.2 TRATAMENTO DOS DADOS	39
5.3 SIG	41
5.3.1 Componentes do SIG	41
5.3.2 Estruturas Lógica	42
5.3.3 Tipos de Dados em um SIG.....	42
5.3.4 Software	43
6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
6.1 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS POÇOS	44
6.2 EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE POÇOS CADASTRADOS E USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	46
6.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE AQUÍFERO DE ACORDO COM A BASE DE DADOS.....	48
6.3.1 SASG.....	48
6.3.2 Profundidade do NE no SASG	57
6.3.3 Variação da produtividade com a profundidade no SASG	59
6.4 VARIAÇÃO DO NE, ND E PROFUNDIDADE DOS POÇOS NO SASG AO LONGO DO TEMPO	61
6.4.1 Variação do Nível Estático (NE)	61
6.4.2 Variação do Nível Dinâmico (ND)	64
6.4.3 Variação da Vazão.....	66
6.4.3 Variação da Vazão Específica	69
7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

1 – INTRODUÇÃO

A água é uma das substâncias mais abundantes na superfície do planeta, sendo o recurso natural mais utilizado para as atividades humanas e vital para sobrevivência. Dentro deste contexto, a exploração das águas subterrâneas vem se destacando, tanto para abastecimento humano como para o uso industrial. Segundo Mello (2009) de toda água do planeta, apenas 3% é água doce, sendo 2,7% encontrados na forma de geleiras, vapor na atmosfera e lençóis profundos. Portanto apenas 0,3% da água está disponível ao consumo humano e 0,29% estão em fontes subterrâneas (FUNASA, 2006).

De acordo com Walton (1970) alguns filósofos antigos como Platão, Homero e Tales, acreditavam que as águas das nascentes eram formadas por dutos subterrâneos que conduziam água do mar e vinham à superfície após serem purificadas. Anaxágoras, que viveu entre 500 e 428 a.C., identificou que a chuva era uma importante fonte de abastecimento para os rios e águas subterrâneas, mas ainda não compreendia a dinâmica completa do movimento das águas. Avançando nesse sentido, Aristóteles, percebeu o ciclo da água (evaporação e condensação) e sua função no reabastecimento de rios, nascentes e fontes.

No Brasil aproximadamente 78% de toda água do país está localizada na Região Amazônica, a qual corresponde à 54,5% do território brasileiro e apenas 5% da população do país (TUNDISI, 1999). Isso significa que para os 95% da população restante do Brasil apenas 22% de água doce está disponível, implicando em extrações descontroladas dos corpos hídricos e a poluição dos mesmos. Observando estes problemas, destacam-se os estudos hidrogeológicos auxiliando na urgência da implantação de uma política de gestão de recursos hídricos e ambientais (SANTOS, 2009).

O termo hidrogeologia foi utilizado pela primeira vez por Jean-Baptista de Lamarck em seu livro *Hydrogéologie*, com a finalidade de descrever a morfologia da água na crosta terrestre, mas permaneceu em desuso por décadas. Já no século XX, vários trabalhos foram realizados no contexto da hidrologia das águas subterrâneas, destacando-se os pesquisadores Theim em 1906 e Meinzer em 1923 (FEITOSA, 2008).

O desenvolvimento econômico do Brasil nas últimas décadas, permitiu um rápido crescimento e desenvolvimento, agrícola, industrial e urbano, inclusive para região norte do estado do Paraná. Esse fenômeno ocasionou aumento da demanda por água, concomitantemente a poluição dos mananciais. Assim, como forma de suprir a demanda por água, a busca por recursos hídricos subterrâneos foram incrementadas.

Devido a grande preocupação em relação ao gerenciamento dos recursos hídricos (quantidade e qualidade adequada), novos processos de gestão e políticas ambientais estão sendo criados e implantados no país, mas ainda insuficientes, devido, principalmente, a uma grande deficiência nos conhecimentos referentes à hidrogeologia regional. Mesmo apresentando muitas dificuldades, os aquíferos continuam a ser explorados, acarretando muitas vezes, numa grande problemática para a gestão desse recurso.

Tendo em vista este crescente uso das águas subterrâneas e que atualmente na região metropolitana de Londrina há 631 poços cadastrados no SIAGAS (2016), é evidente a necessidade de pesquisas e estudos sobre a maneira com que os recursos hídricos devem ser utilizados, para que se possa gerencia-los com ferramentas como o SIG, tornando-o mais sustentável.

As cidades são abastecidas por águas fluviais, que já não apresentam a mesma capacidade de suprir todas as demandas, principalmente nas estiagens prolongadas, confirmando assim, a necessidade de obtenção de meios alternativos, como a exploração das águas subterrâneas, para suprir a crescente demanda (ALIEVI, 2012).

Londrina-PR está inserida em uma região constituída por rochas efusivas vulcânicas pertencentes à Formação Serra Geral, a qual serve de camada confinante do Sistema Aquífero Guarani (SAG). A Formação Serra Geral, possui traços litológicos de rochas cristalinas, assim, o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) forma um aquífero com características hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas (REBOUÇAS, 1978). Sendo que nesses tipos de aquíferos, as águas subterrâneas são armazenadas e transmitidas nas zonas de descontinuidade das rochas, com isso as vazões de cada poço são diretamente relacionadas com o número e as condições hidráulicas de circulação das fraturas que a perfuração atravessar.

Para auxiliar na obtenção deste conhecimento e sanar esta deficiência, este trabalho foi proposto com o intuito de contribuir para um conhecimento hidrogeológico da bacia do Ribeirão Cambé, localizada na região metropolitana de Londrina-PR e inserida no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). Assim, a caracterização hidrogeológica do local pode fornecer informações importantes para o melhoramento das técnicas de prospecção e de avaliação das reservas de águas subterrâneas em sistemas aquíferos fissurais nessa região.

2 – OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar a produtividade dos poços tubulares profundos inseridos na bacia do Ribeirão Cambé, localizado na região metropolitana de Londrina-PR, para fins de avaliação do potencial hidrogeológico para exploração do SASG.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Contudo, para atingir o objetivo principal da pesquisa, diversos levantamentos e estudos serão realizados, destacando-se:

- Levantamento de dados relacionados a poços tubulares profundos cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS);
- Caracterização hidrogeológica do SASG com base nos dados de poços tubulares profundos cadastrados no SIAGAS;
- Integrar os dados hidrogeológicos, com uso de análises estatísticas;
- Utilizar o SIG como ferramenta de geoprocessamento dos dados relacionados a pesquisas sobre águas subterrâneas.

3 – REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONCEITOS

De toda água que o planeta dispõe cerca de 97,5% (1.351 milhões de metros cúbicos) formam os oceanos, portanto havendo uma pobreza de água doce, de acordo com dados da UNESCO/PHI de 2003. O Brasil apresenta mais de 90% dos seus rios que nunca secam, indicando a importância da infiltração das chuvas. Sendo que no Nordeste brasileiro por haver formações cristalinas subafloradas, as quais são praticamente impermeáveis nas bacias hidrográficas, têm-se rios com fluxos temporários (FEITOSA, 2008).

Nesse contexto torna-se fundamental o estudo das águas subterrâneas, como fonte de captação para o meio urbano. Assim, temos que aquíferos são meios porosos com capacidade de armazenar e transmitir água por meio de espaços vazios no solo, sedimentos inconsolidados e/ou rochas sedimentares. Estas águas podem também ser armazenadas em fraturas das rochas, as quais foram formadas por rompimentos devido ao resfriamento do magma em rochas ígneas, à movimentação da crosta terrestre e ação do processo de intemperismo químico e físico (IRITANI e EZAKI, 2008).

Concomitantemente, desde 1970, as novas técnicas de perfuração de poços, aperfeiçoamento das bombas e expansão da energia elétrica, facilitou o acesso há águas subterrâneas. Entretanto, o uso inadequado e sem limites das águas subterrâneas brasileiras vem causando sérios impactos nos sistemas de fluxos naturais subterrâneos e problemas de rebaixo do nível d'água no subsolo (FEITOSA, 2008).

Segundo Custodio e Llamas (1996), o clima influencia a produtividade dos aquíferos, interferindo na profundidade e na natureza do material que sofreu intemperismo, além de regular a recarga, assim como a intensidade da precipitação interfere o nível freático, a qualidade e a quantidade da água.

3.2 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Até a década de 60, no Brasil e no mundo, a água era utilizada de acordo com sua oferta. No entanto, a 30 anos, com o início da operação do Sistema Cantareira em São Paulo, sendo o maior do mundo para abastecimento urbano, mudou a forma de medir a captação de água de l/s para m³/s. Inaugurou-se a consideração dos usos múltiplos, garantido o abastecimento urbano (FEITOSA, 2008).

Na primeira Conferência das Nações Unidas para Desenvolvimento e Ambiente, em 1972 na cidade de Estocolmo, as nações que participaram tomaram conhecimento de que o ambiente não poderia mais continuar suportando os impactos humanos.

A partir da segunda Conferência das Nações Unidas, Rio-92 (que ocorreu no Rio de Janeiro em 1992), aprovou-se a Agenda 21. A qual pregou um instrumento de como construir sociedades sustentáveis, em bases geográficas distintas, conciliando métodos de proteção ambiental, eficiência econômica e justiça social.

Na Constituição de 1988, desde o Código das Águas de 1934, a legislação passou a ter grande importância. Pois, a partir desta data todo corpo d'água brasileiro passou a ser de domínio público, da União ou das Unidades da Federação, ou seja, as águas brasileiras já não podem mais ser utilizadas livremente pelos cidadãos.

3.2.1 Legislação Relevante aos Recursos Hídricos

De acordo com a Lei Federal 9.433/97, que trata sobre a Política e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a água é um bem público finito e que apresenta valor monetário na cobrança ao ser utilizada, para que possa ser preservado (BRASIL, 1997). Os objetivos deste plano estão presentes no Art. 2º da Lei 9.433/97:

I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 1997).

Em seu Art. 5º tem-se alguns instrumentos, dentre eles os Planos de Recursos Hídricos e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

I - os Planos de Recursos Hídricos;
II - o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
III - a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
IV - a cobrança pelo uso de recursos hídricos;
V - a compensação a municípios;
VI - o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

De acordo com o Art. 3º do CONAMA nº 396/08, tem-se a Classificação e Diretrizes Ambientais para o Enquadramento das Águas Subterrâneas, sendo estas divididas em cinco classes, descritas abaixo:

I - Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;
II - Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
III - Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
IV - Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas Características hidrogeoquímicas naturais;
V - Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e

VI - Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso (CONAMA nº 396/2008).

3.2.2 Poço Versus Buraco

Levando em consideração os aspectos de poluição, um poço mal construído, ou seja, um buraco é uma forma de acesso às águas subterrâneas e uma fonte direta de contaminação.

Por este e outros motivos de uso desordenado das águas subterrâneas, no Brasil, poços de captação de águas devem seguir atendendo especificações de engenharia geológica, engenharia hidráulica e engenharia sanitária.

Sendo assim, um poço tubular é considerado uma obra de engenharia realizada por meio de projeto, visando explorar água subterrânea. Este é construído com uso de máquinas perfuratrizes, com diâmetro superior a 60 centímetros normalmente, na posição vertical, variando as profundidades de acordo com a demanda e fatores geológicos, chegando até 2.600m, sendo ou não revestidos na sua totalidade (variando com as condições geológicas do local) (FEITOSA, 2008). Para o projeto de construção de poços tubulares tem se as seguintes normativas da ABNT: NB 588 (projeto de poço para captação de água subterrânea) e NB 1290 (construção de poço para captação de água subterrânea).

3.2.3 Gestão Integrada dos Aquíferos

Segundo a Unesco/PHI (2003), existe no mundo 261 bacias hidrográficas contidas e compartilhadas por 145 nações, sendo a gestão integrada da água fundamental.

No entanto os aquíferos, mesmo apresentando gigantescos volumes de água, não apresentam a mesma gestão que as águas superficiais. Portanto alguns países

desenvolvidos utilizam de um tipo de classificação dos aquíferos para melhor gerenciá-los, de acordo com diversas funções:

- Função Produção: consiste na perfuração de poços para extrair água;
- Função Transporte: é a utilização dos aquíferos para transportar água de regiões de recarga para compensar outros locais onde há exploração elevada;
- Função Estratégica: trata-se de proteger a água, em algumas regiões, de diversos fatores como evaporação e poluição;
- Função Filtro: as águas de aquífero quando usadas para captação apresentam custos reduzido referente a algumas formas de tratamento, por se tratar de uma água que passou por diversas camadas de sedimentos que apresentam função de filtro;
- Função Energética: aquíferos com água quente podem ser utilizados para geração de energia elétrica. Outra forma de utilização pode se ver na Rússia, utilizando o do aquífero para aquecer água por meio de injetar água fria em um ponto e captar mais quente em outro ponto;
- Função Estocagem-Regularização: utilizada em regiões áridas, para injetar água em quando há excedente em épocas de cheia.

3.3 HIDROGEOLOGIA

Neste contexto temos que a sequência de derrames de lavas basálticas ocorridas no Terceiro Planalto Paranaense denomina-se formação Serra Geral, a qual é caracterizada litologicamente de rochas cristalinas e vulcânicas, formando a região confinante do aquífero Botucatu. Portanto, de acordo com CELLIGOI (1993), a água subterrânea contida no local é limitada às zonas de descontinuidade das rochas, portanto a vazão de cada um dos poços tubulares esta relacionada ao número e condição de abertura das fraturas transversais às perfurações.

Cerca de 16%, do abastecimento hídrico do Paraná, é feita por meio das águas de aquíferos segundo a SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental).

Sendo que em Londrina duas fontes de águas subterrâneas são encontradas: o SASG e o SAG (SANTOS, 2009).

3.3.1 Hidrogeologia e Potencialidade Hídrica na Bacia Hidrográfica

De acordo com Guidicini e Campos (1968), os mananciais hídricos podem ser seccionados de acordo com a forma de ocorrência:

- Mananciais hídricos superficiais: sendo estes os corpos d'água que afloram;
- Mananciais hídricos subsuperficiais: podem ser divididos em de acordo com a posição e interação das águas com o meio: aquífero freático; aquífero subterrâneo.

Segundo Guidicini e Campos (1968), em uma escala regional, as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral constituem-se na camada que confina o Aquífero Botucatu, ou seja, onde acumula as águas de chuva que atingem a formação.

Portanto, o SASG, de acordo com suas formações litológicas forma um ambiente hidrogeológico anisotrópico. Dessa forma, restringindo à ocorrência das águas subterrâneas as zonas de descontinuidade das rochas, relacionando a vazão dos poços tubulares as condições e números de fraturas que a perfuração atinja.

De acordo com estudos realizados por Guidicini e Campos (1968), sobre os derrames basálticos da Formação Serra Gral, é possível propor um modelo de mudança de estruturas e textura do derrame, seccionado em três partes: “região central do derrame: região onde a rocha é maciça e apresenta texturas afaníticas a microcristalinas, possuindo diaclasamento principalmente vertical devido ao resfriamento lento da lava; região inferior do derrame: zona com ocorrência principal de diaclasamentos horizontais, com rochas normalmente vítreas, com a soleira do derrame resfriada rapidamente por meio do contato com o embasamento. Podendo apresentar brechas e sobrepor sedimentos arenosos intertrapianos”.

Guidicini e Campos (1968) identificaram que nas regiões superiores e inferiores os fluxos de água eram, principalmente, no sentido areal horizontal, no entanto nas regiões centrais os fluxos eram verticais descendentes. A ocorrência de intemperismo nas regiões superiores facilita a infiltração d'água, permitindo armazenar e transmitir águas pluviais para as regiões fraturadas, promover o surgimento de nascentes (afloramento das águas subterrâneas) e manter alimentadas às áreas de drenagem.

Nas proximidades da região pesquisada, vários estudos já ocorrem e mostraram que normalmente pequenas fontes são encontradas em áreas onde a cobertura vegetal é mais densa. Como no estudo da bacia do Ribeirão Jacutinga realizada por Leinz (1949) apud CELLIGOI (1993), que correlacionam estas áreas com a faixa de diáclases horizontais e de textura amigdalóide, as quais apresentam maior contenção de águas de percolação. De acordo com Celligoi (1993) a decomposição eletiva e a erosão do material rochoso frequentes na região de estudo forma "soleiras" com degraus sucessivos.

Também em toda região Norte do Estado do Paraná, ocorrem altas temperaturas na maior parte do ano e elevado índice pluviométrico. De acordo com estes dois fatores tem-se, na região, um intenso intemperismo químico formando perfis de solos profundos, comum em áreas tropicais. Em regiões onde o relevo é mais íngreme, tem-se um afloramento de rochas, formando um solo pedregoso, o qual é impróprio para agricultura.

Já as águas subterrâneas demonstram-se, segundo Celligoi (1993), um recurso estratégico para atividades econômicas e domésticas, devido às potencialidades hídricas subterrâneas demonstrarem-se promissoras para exploração.

Na pesquisa realizada por Celligoi (1993) no município de Londrina, mostrou-se que a impermeabilização causada pela construção da cidade que indicou um crescimento radial nas vazões d'água, do centro para as periferias.

3.4 TIPOS DE POÇOS

Os tipos de poços variam de acordo com a profundidade do aquífero, com a vazão pretendida e com a tecnologia disponível e empregada na perfuração. De acordo

com o método de perfuração o poço pode ser classificado em: escavados manualmente, coletores com drenos horizontais simples ou radiais, tubulares e galerias filtrantes (FEITOSA, 2008).

3.4.1 Poços Tubulares Profundos

São os poços perfurados com intuito de captar água subterrânea, que após a perfuração recebe um revestimento de tubos, metálicos ou plásticos, e ou podem receber esta denominação os poços sem revestimentos, mas que sejam perfurados em áreas com alto grau de litificação dos arenitos (FEITOSA, 2008).

3.4.2 Métodos de Perfuração e Testes de Bombeamento

A perfuração de poços é muito antiga, sendo que se têm indícios de perfurações há mais de 4000 anos, na China, com poços atingindo profundidades impressionantes de 900 metros (DRISCOLL, 1987). Atualmente vários métodos são empregados na construção de poços tubulares, destacando-se: percussão, rotativo e rotopneumático (FEITOSA, 2008).

Neste contexto os testes de bombeamento são essenciais e utilizados para determinar os parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos, sua viabilidade de captação e vazão. Sendo classificados em: testes de produção e teste de aquífero (FEITOSA, 2008).

3.5 GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Estas águas precisam ter utilizações adequadas para que a disponibilidade supra a demanda e não haja confusões quanto ao seu uso. Mas não deve esquecer-se do solo, que também deve apresentar uma gestão adequada mesmo que estes recursos ambientais sejam de difícil administração (AGUINAGA, 2007).

No Brasil, a utilização das águas subterrâneas acontece desde a época colonial até hoje. Segundo o IBGE (2000) apud VILLAR (2010, p. 7), 62% dos 8.656 distritos que têm abastecimento de água do país utilizam águas subterrâneas, dos quais 86% fazem uso de poços profundos e 14% poços rasos ou escavados. Sendo que 47% destes distritos utilizam apenas água subterrânea como fonte de abastecimento. No entanto 1.192 distritos que não apresentam este tipo de abastecimento no país, ou seja, não utilizam águas subterrâneas.

Para melhor gerenciar o uso desse recurso, existe o sistema de informações de água subterrânea. Seu objetivo é gerar dados, contendo atualizações dos mesmos sobre demanda e disponibilidade de recursos hídricos. Assim fornecendo-os para que se possa elaborar Planos de Recursos Hídricos.

3.6 GEOLOGIA REGIONAL

3.6.1 Formação Piramboia

A formação Piramboia é datada entre o período Triássico e Jurássica, aflorando no Estado de São Paulo, nas proximidades da borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná, abrangendo áreas desde Ribeirão Preto, passando por Araraquara, Boa Esperança do Sul e chegando até as proximidades da divisa com o Estado do Paraná (FERNANDES, 2010).

Segundo Soares (1973 apud SOUZA, 2004), a Formação Piramboia é constituída quase na totalidade por camadas arenosas, friáveis, ocorrendo também clásticos finos. Encontrada em um aglomerado de no máximo 20 metros de espessura e praticamente não são encontrados afloramentos. Podendo ser observada na Figura 1.

Figura 1 - Formação Piramboia.



Fonte: Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani, 2009.

3.6.2 Formação Botucatu

Segundo Fernandes (2010) a Formação Botucatu é constituída por arenitos quartzosos finos a grossos. Esta formação apresenta espessura inferior a 150 metros, podendo variar neste intervalo. Esta variação é decorrente da distribuição das regiões de dunas e o recobrimento a partir dos derramamentos basálticos da Formação Serra Geral (SANTOS, 2009). De acordo com Petri e Fúlfaro (1983 apud SOUZA, 2004), esta formação é datada entre o período Neotriássico e o Neojurássico, devido às primeiras manifestações vulcânicas serem do período Neojurássico e conter fósseis Neotriássicos nos sedimentos do Grupo Rosário do Sul.

De acordo com Sousa (2004) a Formação Botucatu tem como característica presença de estratificação de grande porte, assim como na Figura 2, o que corresponde em um empilhamento de corpos prismáticos ou cuneiformes, achatados, que em alguns casos pode chegar a espessuras de 20 metros.

Figura 2 - Afloramento de arenito da Formação Botucatu, destacando algumas estratificações cruzadas e as fraturas.



3.6.3 Formação Serra Geral

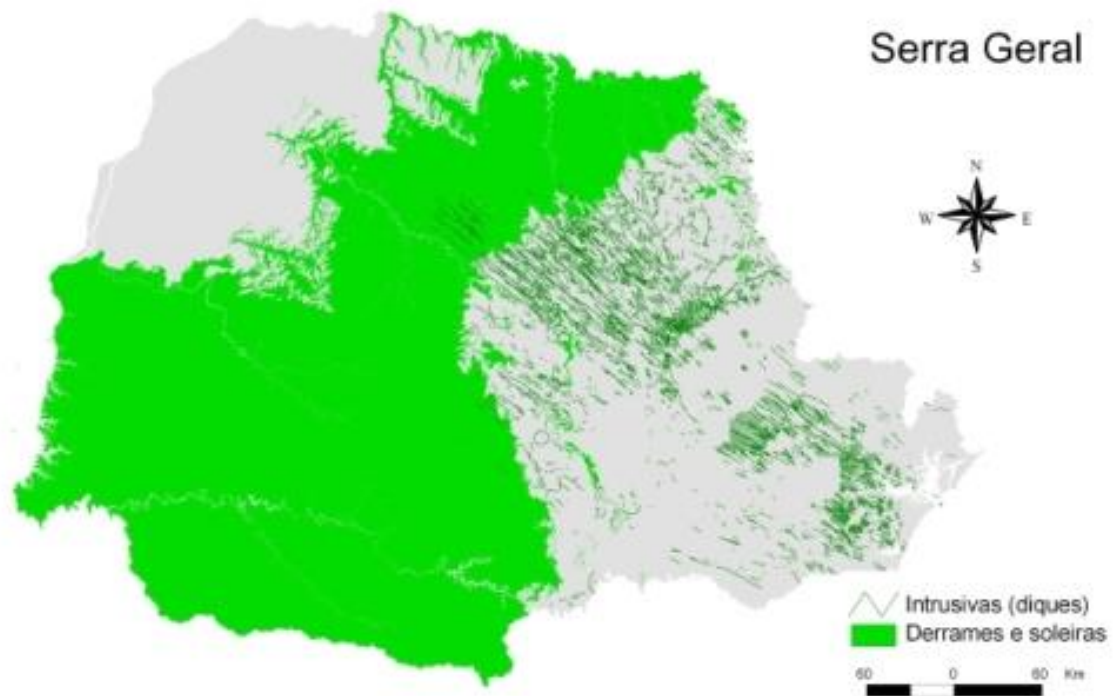
De acordo com Manasses (2007), a Formação Serra Geral é constituída por rochas ígneas vulcânicas, principalmente basaltos toleíticos máficos. Esta formação é utilizada para denominar os derramamentos basálticos ocorridos no Terceiro Planalto

Paranaense. Esta área é constituída por aproximadamente 109.000 Km² (MANASSES, 2007).

Em relação a geoquímica, encontram-se rochas denominados baixo titânio (BTi, TiO₂< 2%) e alto titânio (ATi, TiO₂> 2%), as quais são quimicamente diferentes. Sendo as rochas de alto titânio ricas em Ba, K₂O, U, Sr, La, Ce, Ta, P₂O₅, Hf, Zr, TiO₂, e pobres em Cs e Rb, comparadas ao outro grupo (MACHADO, 2009). Posteriormente houve uma nova classificação, esta considerando os conteúdos e as relações entre Sr, Ti, Y e Zr, resultando em seis tipos magmáticos: Paranapanema e Ribeira (Ti intermediário), Urubici e Pitanga (alto Ti), Gramado e Esmeralda (baixo Ti), segundo (BITTENCOURT, 2008).

A Formação Serra Geral, pode ser visualizada na Figura 3, dando ênfase a ocorrência de diques intrusivos relacionados ao Arco de Ponta Grossa desde o litoral.

Figura 3 - Formação Serra Geral.



Fonte: MINEROPAR, 2013.

3.6.4 Geomorfologia

A cidade de Londrina encontra-se na unidade morfoescultural do Terceiro Planalto Paranaense, com grande parte na subunidade morfoescultural do Planalto de Londrina e apresentando um relevo com vertentes, vales, topos alongados e dissecação média. Outra parte está contida na subunidade do Planalto de Maringá, formada por dissecação baixa, topos alongados e aplainados, vertentes convexas e vales em “V”, e na porção sudoeste a subunidade morfoescultural do Planalto da Foz do Areia encontra-se dissecação alta, topos alongados, vertentes retilíneas e côncavas e vales em degraus (MINEROPAR, 2006).

As altitudes vão de 350 a 860 metros, encontrando as áreas mais baixas na calha do rio Tibagi. As regiões mais planas localizam-se ao norte da cidade, com declividades

menores que 10%, no entanto a sudeste tem-se declividades maiores que 30% e a região central varia de 15 a 30% (MINEROPAR, 2006).

De acordo com Feitosa (2008), a área de estudo encontra-se situada em uma região geomorfológica denominada de Terceiro Planalto Paranaense, o qual foi subdividido em quatro regiões, de acordo com as calhas dos rios principais da região:

- Planalto de Apucarana: ao norte, constitui o divisor de águas entre os rios Paranapanema e Ivaí;
- Planalto de Campo Mourão: representa o divisor entre os rios Piquiri e Ivaí;
- Planalto de Guarapuava: ao sul, constitui o divisor entre os rios Piquiri e Iguaçu;
- Planalto de Palmas: é formado pela porção norte do divisor dos rios Iguaçu e Uruguai.

As mesetas apresentam caráter estrutural característico do Terceiro Planalto, com estruturas tabulares devido aos derrames vulcânicos, formando degraus, por meio das camadas sucessivas de lavas (SALVI, 2002).

3.6.5 Pedologia

De acordo com a nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, os solos e as unidades pedológicas de Londrina apresentam os seguintes tipos: Gleissolos Háplicos; Latossolos Vermelhos distroféricos; Latossolos Vermelhos eutroféricos; Neossolos Litólicos eutróficos; Nitossolos Vermelhos eutroféricos e Nitossolos Vermelhos distroféricos (EMBRAPA, 1999).

Em Londrina, o grupo presente é o Gleissolo Háplico, apresenta solos que ocupam 0,07% do território da cidade, encontrados no extremo sul do município (EMBRAPA, 1999). Já os grupos de Latossolos Vermelhos são encontrados de duas formas: os distroféricos, que ocupam 9,26 % do território do município e aparecem na região sul e na sede urbana; e os eutroféricos, ocupando 12,37 % do território e estão espalhados (EMBRAPA, 1999).

Os Neossolos Litólicos eutróficos, representam 22,42 % da área, distribuídos em manchas situadas na parte central do município (EMBRAPA, 1999). Por fim, o Nitossolo é encontrado de dois tipos: Nitossolos Vermelhos eutroféricos, que ocupa 54,26 % do município e é encontrado em todo o município; e o Nitossolos Vermelhos distroféricos, que corresponde a 1,62 % do território do município e situa-se na porção sul de Londrina (EMBRAPA, 1999).

3.6.6 Vegetação

O Paraná, até o século XIX, apresentava 90% de sua área coberta por uma formação florestal composta pela Floresta Pluvial Tropical e Subtropical dos Planaltos do Interior, entretanto, posteriormente houve um intenso desmatamento (DEAN, 1996).

Os acentuados processos de ocupação do solo veem gerando amplas superfícies impermeabilizadas gigantescas, nos centros urbanos. Já nas áreas rurais, as grandes extensões de solo exposto estão suscetíveis a fenômenos meteorológicos, alterando assim os processos físicos. Dessa forma, essa falta de cobertura vegetal tem gerado anomalias, refletidas no clima da região, causando o aparecimento de Ilhas de Calor e Ilhas de Frescor, baixa umidade relativa do ar e desconforto térmico.

3.6.7 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)

O SASG é formado por rochas ígneas, encontrado no Paraná (3° Planalto), apresenta uma área de 110.000 km² e profundidade máxima de 1.400 metros (região do Alto Piquiri) (SOUZA, 2004).

Apresenta condutividade hidráulica extremamente variável e muito complexa, apresentando descontinuidades físicas, ficando melhores após os 90 m, graças a

compressão das fraturas resultante da pressão do maciço sobreposto (MANASSES, 2007).

Em relação à produtividade do aquífero, existem duas divisões: a Unidade Serra Geral Norte com vazão média de 18 m³/hora e a Unidade Serra Geral Sul com 10 m³/hora (MOURÃO, 2009).

Referente ao monitoramento da exploração dos aquíferos existe 10 pontos de monitoramento, 40 parâmetros físicos, químicos e biológicos, analisados, e substâncias tóxicas presente nas águas. Em relação à captação por meio de poços encontram-se 2500 cadastrados no Paraná no Banco de Dados Hidrogeológicos da SUDERHSA na Unidade Serra Geral Norte e 550 poços na Unidade Sul. Já no banco de dados do SIAGAS-CPRM tem-se cerca de 21.000 cadastrados nesse aquífero (MOURÃO, 2009).

3.6.8 Sistema Aquífero Guarani (SAG)

Este sistema localiza-se no centro-leste da América do Sul, com 1,2 milhões de quilômetros quadrados. Em território brasileiro, temos: Mato Grosso do Sul (213.200 km²), Rio Grande do Sul (157.600 km²), São Paulo (155.800 km²), Paraná (131.300 km²), Goiás (55.000 km²), Minas Gerais (51.300 km²), Santa Catarina (49.200 km²) e Mato Grosso (26.400 km²), (FEITOSA, 2008).

O SAG é muito importante como fonte hídrica, sendo um dos maiores reservatórios de água do planeta, sendo que em poços profundos pode gerar cerca de 780.000 L/h, como em Ibiporã (no Paraná) (FEITOSA, 2008).

As águas do SAG, no Brasil, apresentam as seguintes utilizações: 70% para abastecimento humano; 25% no setor industrial; 5% na irrigação e lazer (FEITOSA, 2008).

Neste contexto observa-se, que em 2001, foram perfurados dois poços para captação do SASG por meio do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (Samae), de Ibiporã – PR. De acordo com os resultados a Companhia de Saneamento do Paraná

(SANEPAR) perfurou dois poços em 2002, no mesmo sistema de aquíferos, na região leste da cidade de Londrina-PR, e outro no ano de 2003 ao norte (AMANTHEA, 2004).

3.7 POTENCIALIDADES HIDROGEOLÓGICOS DE LONDRINA

O município de Londrina-PR encontra-se inserido sobre rochas vulcânicas basálticas da Formação Serra Geral, na qual, as águas subterrâneas se restringem regiões com ocorrência de descontinuidades das rochas, relacionados a fatores lito-estruturais. A percolação das águas nessas rochas têm-se algumas feições litológicas intrínsecas, como horizontes vesiculados e migdaloidais, diaclases horizontais e verticais (CELLIGOI, 1993). As conjunturas de recarga da região são favoráveis, pois se observou áreas elevadas desprovidas de pavimentação e recobertas por vegetação (CELLIGOI, 1993).

Os poços com cadastro, os quais são utilizados para estudos hidrogeológicos e localizados junto a lineamentos estruturais, apresentam características de produção que os cabe destacar que os poços localizados junto aos lineamentos E-W, possuem vazões e capacidades específicas muito superiores aos demais (CELLIGOI, 1993).

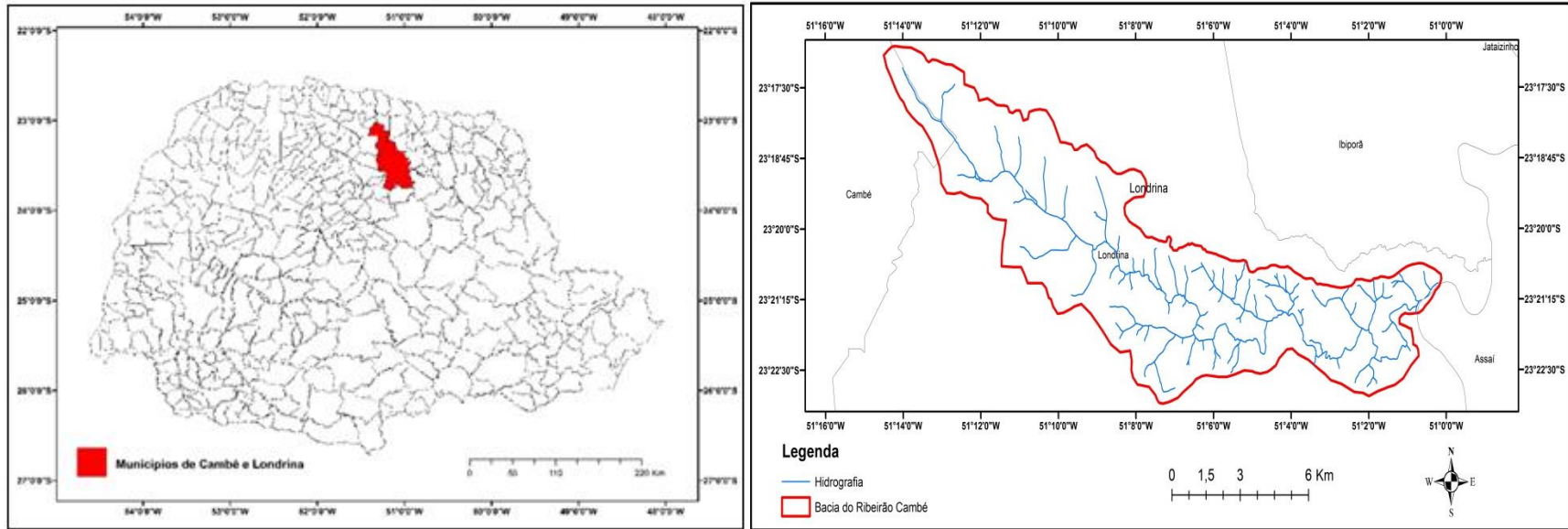
4 – ÁREA DE ESTUDOS

A cidade de Londrina - PR se encontra a 585 metros de altitude, a 23°18'37" de latitude Sul, 51°09'46" de longitude Oeste, e apresenta 1.656,606 km² de área territorial. Contendo nessa área a micro bacia hidrográfica do ribeirão Cambé (Figura 5), a qual também ocupa parte do território do município de Cambé, apresentando área aproximada de 75 Km², curso aproximado de 26Km, com nascentes próximas a BR 369 (no município de Cambé-PR) e desembocadura no ribeirão Três Bocas (no município de Londrina-PR) (IPARDES, 2012).

O município de Londrina apresenta clima Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfa), com verão quente e chuvoso (MAACK, 1968). A temperatura média anual é de 21°C, com a média máxima chegando à casa dos 27,3°C e a média mínima de 16°C e a umidade relativa média do ar é de 70,4%. A faixa de precipitação anual varia de 1.400 a 1.600 mm, sendo junho, julho e agosto os meses menos chuvosos (variando de 225 a 250 mm), e os meses de dezembro, janeiro e fevereiro mais chuvosos (variando de 500 a 600 mm). Os ventos predominantes são de leste e nordeste, com velocidade média de 2,6 m/s e máxima ultrapassando os 45 m/s (IAPAR, 2009).

Londrina encontra-se situada na Bacia Sedimentar do Paraná, a sudeste. Assenta-se geologicamente sobre afloramentos da Formação Serra Geral, com ocorrência restrita de arenitos das formações Pirambóia e Botucatu, argilitos do Rio do Rastro e sedimentos continentais cenozóicos inconsolidados (MINEROPAR, 2006).

Figura 4 - Localização da área de estudo, com o mapa de situação do estado do Paraná em destaque com os municípios de Cambé e Londrina e mapa de detalhe com a delimitação da Bacia do Ribeirão Cambé.



Encontram-se também, no município, algumas áreas com sedimentos inconsolidados oriundos de processos erosivos e de deposição formados por processos hidráulicos. Além desse processo existem fraturas nos sentidos nordeste-sudoeste e nordeste-sudeste, preferencialmente. Entretanto, o rio Tibagi tem seu curso no sentido norte-sul fugindo da regra.

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICA DA BACIA DO RIBEIRÃO CAMBÉ

4.1.1 Geologia

Geologia de uma área refere-se ao conjunto de suas rochas, seu arranjo no espaço e associação entre elas, formando sua composição mineralógica, sua gênese, o corpo rochoso e as características estruturais. Hoje expostas, esta base geológica, encontra-se sobre ação do intemperismo, constituindo a base física da área (ARAUJO, 2004).

4.1.2 Solos

Em Londrina, os solos apresentam origem basáltica, variando a fertilidade de acordo com a estrutura geológica e a topografia. O solo tem profundidade variada, de menos de um metro, próximo aos ribeirões onde as águas fluem sobre o basalto compactado, a dezenas de metros nos espigões (ARAUJO, 2004).

De acordo com Rocha (1986), a área de estudo apresenta um solo com granulometria extremamente fina, onde 81 % é argila e 12 % de silte.

Na bacia do ribeirão Cambé encontra-se os seguintes tipos de solo, de acordo com Araujo (2004, pg. 77):

No topo solos do tipo LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico A moderado, na media até a baixa vertente, LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado e NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado em profundidades próxima ao ribeirão e na parte inferior da bacia solos do tipo Associação NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico em declividades acentuadas com profundidade de até 30 cm, LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado em profundidades maiores que 90 cm com declividades que variam até 20 %.

4.1.3 Hidrografia

Em Londrina a drenagem natural ocorre através dos vales, com córregos perenes bem distribuídos pela área. A cidade encontra-se na bacia do rio Tibagi (FEITOSA, 2008).

Existem 16 sub-bacias principais que apresentam seus cursos de maior ordem correndo de oeste para leste, além de diversos pequenos cursos hídricos que desembocam no rio Tibagi, constituindo a rede de drenagem natural londrinense (FEITOSA, 2008).

Das bacias hidrográficas constituintes do município apenas a do Ribeirão Remansinho, Água do Gaviãozinho, Ribeirão das Marrecas e Ribeirão Barra Funda estão totalmente inseridas no município, além das que formam os pequenos tributários diretos do rio Tibagi (FEITOSA, 2008).

Sendo os principais cursos hídricos que passam por Londrina já nascem comprometidos quanto a qualidade ambiental, pois nascem em áreas urbanas. Além do escoamento superficial, os cursos d'água recebem lançamentos de águas pluviais, poluição das ruas, efluentes líquidos domésticos, comerciais e industriais (FEITOSA, 2008).

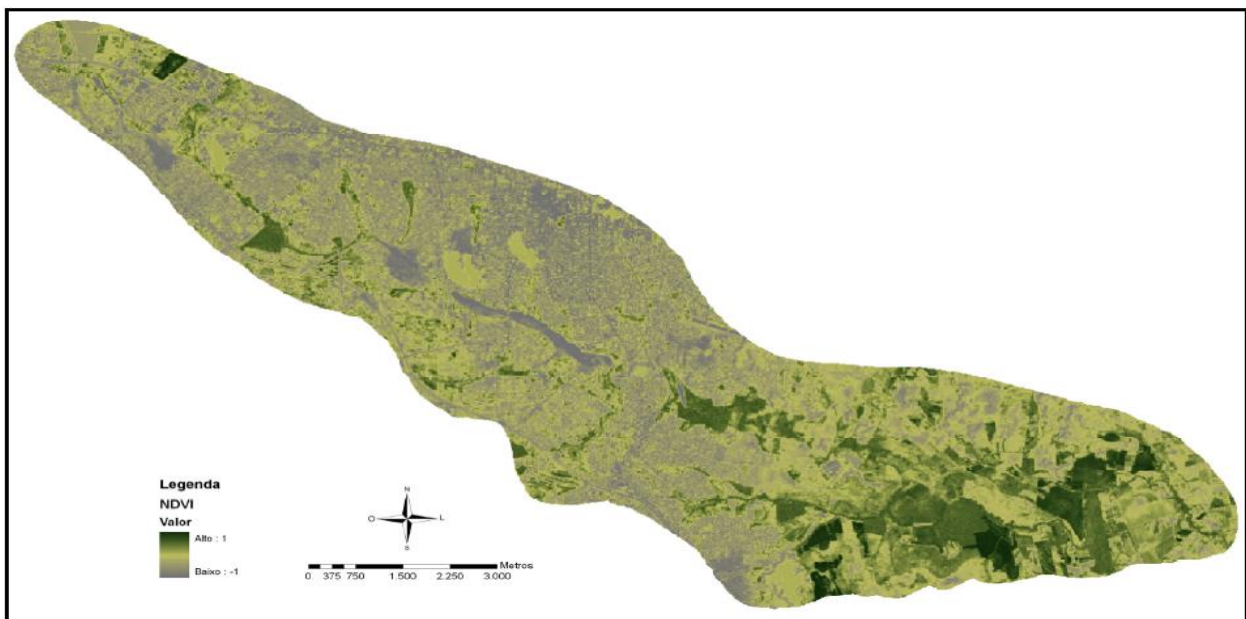
O sistema de drenagem natural das águas apresenta uma importância fundamental em uma bacia hidrográfica, sendo que está controla escoamento superficial e evita enchentes e erosões.

A bacia hidrográfica do ribeirão Cambé é constituída por diversos afluentes, listados a seguir: Córrego da Mata; Córrego Colina Verde; Córrego Capivara; Córrego Tucanos; Córrego da Piza; Córrego do Monjolo; Córrego Bem-Te-Vi; Córrego Roseira; Córrego São Lourenço; Córrego Cristal; Córrego Araripé; Córrego "Sem Nome"; Córrego Cacique; Córrego Baroré; Córrego Rubi; Córrego Água Fresca; Córrego do Leme; Córrego Guarujá; Córrego das Pombas; Córrego Carambeí; Córrego Pica-Pau; Córrego Tico-Tico; Córrego do Inhambu; Córrego da Chapada; Córrego dos PiriQUITOS; e Córrego Pampa.

4.1.4 Vegetação

A vegetação do local de estudos pode ser representada na imagem a seguir. Onde é possível observar a parte urbana com menos vegetação.

Figura 5 – Cobertura vegetal Bacia do Ribeirão Cambé.



Fonte: Rafael Silva de Araújo, 2004.

4.1.5 Clima

A área de estudos apresenta um tipo de climático definido como Cfa, caracterizado como clima subtropical úmido com verão quente e ausência de estação seca. Os meses mais quentes são encontrados no verão, em dezembro, janeiro e fevereiro e os meses mais frios são junho e julho (ARAUJO, 2004).

A região foi classificada como Zona Climática Tropical-Subtropical, com temperatura média anual de 20,6 °C, onde o mês mais seco é julho com 56,5 mm e temperatura de 16,8 °C. O índice pluviométrico de Londrina varia de 1500 a 1700 mm (ARAUJO, 2004).

5 – MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do referido trabalho foram utilizados alguns tipos de materiais e métodos os quais foram descritos a seguir.

5.1 MATERIAIS

Como material cartográfico e de sensoriamento remoto, utilizou-se a base cartográfica do ITCG (Instituto de Terras, Cartografia e Geociências). Os mapas temáticos contidos no corpo do trabalho, representados no Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000 (UTM, zona 22 S).

Na busca por digitalizar os mapas e realizar o tratamento digital dos dados, utilizaram-se os seguintes programas computacionais: ArcGIS® Professional for the desktop – versão 10.3, para processamento digital e Microsoft® Excel 2010, para organização da informação (planilhas, tabelas, gráficos e etc.) e análises estatísticas.

Foram consultados materiais para o levantamento de dados referentes ao sistema de abastecimento de água na bacia hidrográfica de estudo, por meio da consulta ao SIAGAS.

5.2 ETAPAS DE EXECUÇÃO DO PROJETO

Neste item, apresenta-se uma sequência de procedimentos realizados no desenvolvimento do projeto.

- Levantamento de dados: forma coletados materiais bibliográficos e os dados geológicos, estruturais e hidrogeológicos relevantes para o desenvolvimento do trabalho;

- Levantamento de poços tubulares profundos: os quais devem ser encontrados no site do SIAGAS, o qual apresenta uma ferramenta de pesquisa com informações divididas em categorias, como: dados gerais; dados construtivos; dados geológicos; dados hidrogeológicos; dados sobre teste de bombeamento; e análises químicas.
- Confecção de mapas temáticos e geológicos: utilizando de uma compilação dos mapas preexistentes;
- Tratamento dos dados.

5.2.1 Banco de Dados

A partir dos dados disponibilizados no SIAGAS criou-se um banco de dados, contendo 141 poços, que apresenta um nível de confiabilidade muito significativo e essencial para o desenvolvimento do trabalho. A inexistência de algumas informações em diversos poços (42 poços) cadastrados no sistema e pertencentes a área de estudos, fez com que a utilização dos mesmos não fosse possível. Assim os mesmos foram descartados e apenas utilizados os que apresentavam dados completos, ou seja, 99 poços.

Os poços tubulares profundos utilizados, apresentam as seguintes variáveis: identificação do poço (código SIAGAS), cota da boca do poço (m), profundidade do poço (m), coordenadas geográficas (UTM), vazão (m^3/h), vazão específica (m^3/h), nível estático (m), nível dinâmico (m), localização, localidade (endereço), proprietário, uso da água, situação do poço, data de construção e fonte dos dados.

5.2.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Para que se possa realizar o tratamento dos dados procedeu-se utilizando os dados da hidrogeologia da área de estudo.

Dispondo de dados dos poços tubulares profundos que estão cadastrados no SIAGAS, será possível retratar a evolução do número (de perfurações) no decorrer dos anos e a predominância de quais tipos de uso da água subterrânea na bacia hidrográfica. A caracterização dos sistemas aquíferos deverá ser feita utilizando de métodos descritos a seguir.

O tratamento estatístico descritivo dos parâmetros hidrogeológicos será feito com auxílio do programa Microsoft® Excel 2010. Desenvolvendo uma série de gráficos, mostrando a evolução do número de poços perfurados, utilizando os parâmetros pertinentes dos poços, como: ano da construção, uso da água, vazão, nível estático, nível dinâmico, profundidade e vazão específica.

Para as análises estatísticas dos gráficos, utilizou-se: média (equação (1)); mediana (equação (2)); valor mínimo; valor máximo; desvio padrão (equação (3)); variância (equação (4)); coeficiente de determinação (R^2), que é um ajuste de um modelo estatístico o qual varia de 0 a 1, onde os valores mais próximos de 1 apresentam um melhor ajuste da regressão linear à amostra. Utilizando das seguintes equações, para calcular os parâmetros estatísticos:

$$x_{(média)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

$$x_{(mediana)} = \frac{n+1}{2} \quad (2)$$

$$S_{(desvio\ padrão)} = \sqrt{\left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{(média)})^2 \right]} \quad (3)$$

$$S_{(variância)} = S_{(desvio\ padrão)}^2 \quad (4)$$

Embasado em conceitos básicos da Estatística Descritiva e Análise de Correlação (FEITOSA, 2008).

5.3 SIG

De acordo com Laundon (1999), um Sistema de Informação (SI) é um conjunto de elementos relacionados entre si com intuito de processar informações e facilitar seu planejamento, controle e análise.

Portanto o Sistema de Informação Geográfica (SIG) é definido por Burrough (1998) como “um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais do mundo real”.

O SIG é uma tecnologia aplicada ao geoprocessamento de dados relacionados a pesquisas sobre águas subterrâneas. O qual compete diversas funções, como: armazenamento, aquisição, tratamento, interpretação, análise e manipulação de dados geográficos bancos de dados georreferenciados que apresentam representações da realidade geográfica. Sendo, portanto, a tecnologia motora do geoprocessamento (CÂMARA et al, 1996).

Essa tecnologia funciona como uma forma de armazenar informações geográficas em camadas que se relacionam entre si por meio de referências espaciais.

5.3.1 Componentes do SIG

Um SIG é constituído por cinco partes inter-relacionadas e descritas abaixo:

- Pessoas: desempenham as principais funções no sistema e deve ser profissionais e especialistas das áreas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e análises de dados por meio de *softwares*;
- Suporte à Decisão: são as regras, conceitos e decisões a serem seguidas;
- Dados: estes devem ser obtidos, armazenados e classificados de acordo com suas características, sendo a etapa, de obtenção dos dados, a mais onerosa;
- Métodos: deve seguir etapas de planejamento, execução, verificação e ou correção;

- Programas Computacionais: estes apresentam diversas ferramentas e funções de geoprocessamento, que estão cada vez mais rápidos, eficazes e ligados à internet.

5.3.2 Estruturas Lógica

Para infraestrutura lógica do SIG será utilizado o modelo proposto por Eastman (1997), o qual demonstra as componentes de *software* de um SIG, funções e relacionamentos. Tendo como parte fundamental do sistema a base de dados geográficos, divididos em: espacial (armazena a forma e posição do objeto) e atributos alfanuméricos.

A estrutura que Eastman (1997) propõe é apresentada nos seguintes subsistemas:

- Visualização Cartográfica;
- Digitalização de Mapas;
- Gerenciamento da Base de Dados Relacional;
- Análise Geográfica;
- Processamento Digital de Imagens;
- Análise Estatística/Geoestatística;

5.3.3 Tipos de Dados em um SIG

Os dados geográficos podem ser classificados de duas formas, e estas subsequentemente divididas em outras varias.

- Componente Espacial: modelo Vetorial (elementos gráficos são pontos, linhas e polígonos) e o modelo Matricial (as células da matriz são unidades básicas de representação);

- Atributos: descrevem as propriedades de um objeto ou fenômeno demonstrado em um SIG, sendo classificado em quatro níveis de medições (Escala Nominal, Escala Ordinal, Escala Intervalar e Escala de Razão), idealizado por Stevens (STEVENS, 1946).

5.3.4 Software

Atualmente diversos *softwares* estão sendo empregados no SIG, sendo alguns comerciais (gratuitos) e outros comercializados (são pagos para serem utilizados).

Dentre eles destaca-se o ArcGis, que é um software, da empresa ESRI, para Sistema de Informações Geográficas (SIG) com ferramentas formidáveis para análises e gerenciamento de dados, e funciona na plataforma Windows. Este instrumento auxilia, primeiramente, na geração, utilização, integração e análise de informações georreferenciadas da área estudada e, em seguida, na representação cartográfica dos resultados obtidos.

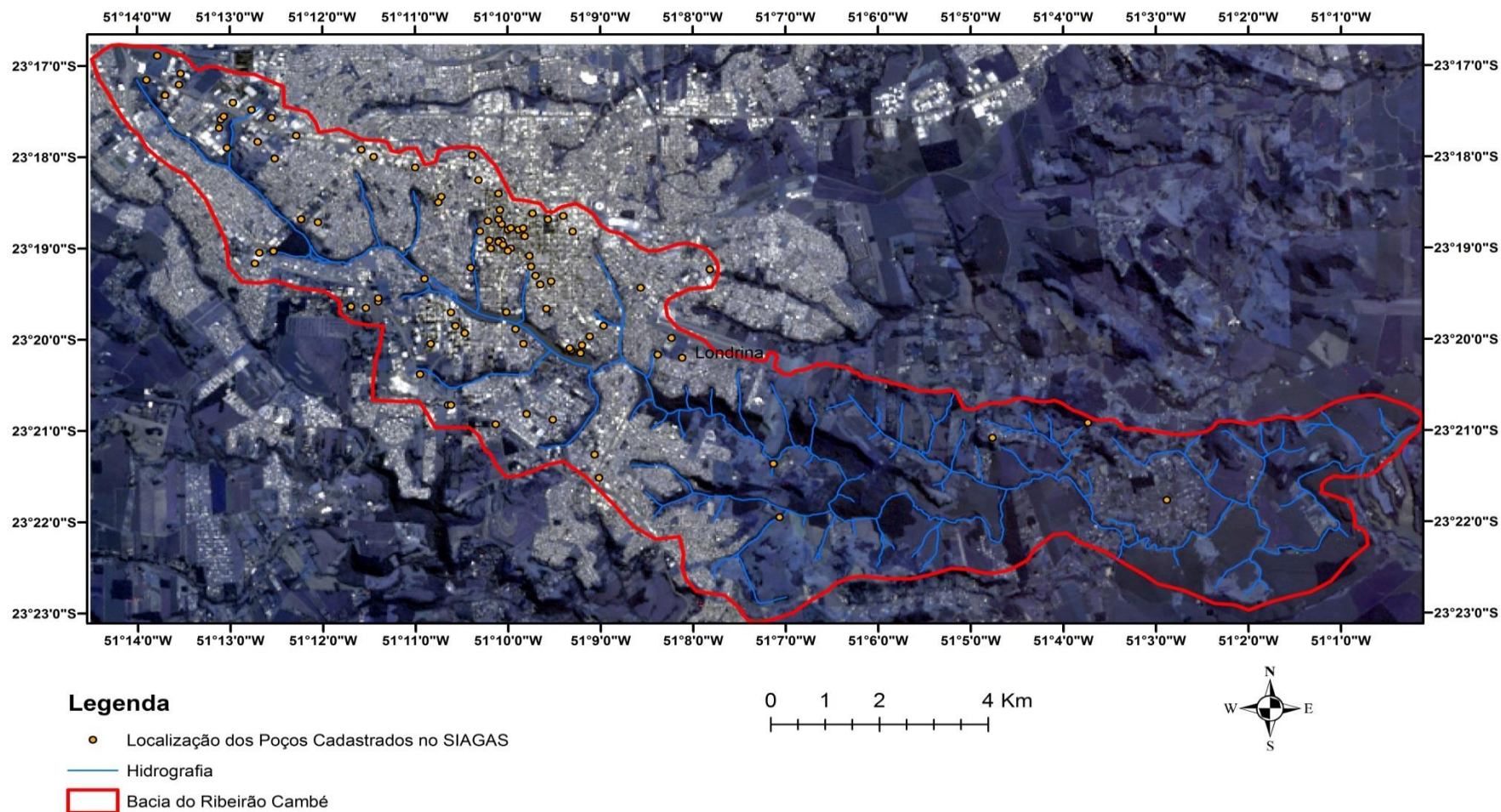
6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS POÇOS

Os municípios de Londrina e Cambé estão localizados no norte do estado do Paraná, inseridos no terceiro planalto. A bacia em estudo nasce a oeste do município de Londrina-PR, já nos limites da cidade de Cambé, apresenta uma área de 77,20 Km² e delimitação de 48 Km, sendo que o curso principal d'água possui 25 Km.

A região e principalmente o ribeirão Cambé vêm sofrendo diversas ações antrópicas. Ao longo do tempo vem sendo alterado, tornando seu estudo importante por apresentar características como interface dos sistemas rural e urbano. A distribuição dos poços na bacia hidrográfica é concentrada na região central, onde se encontra o centro urbano de Londrina, representado na Figura 6.

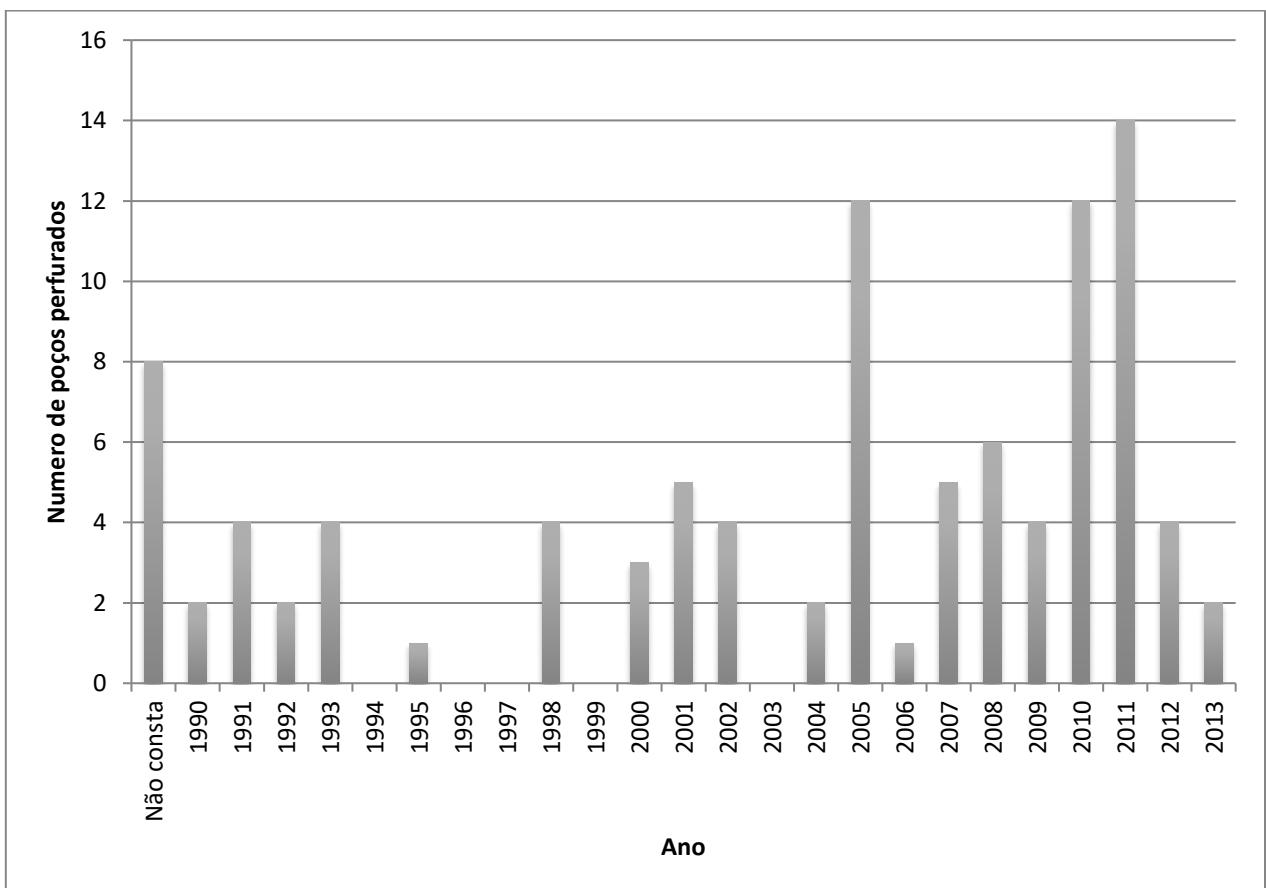
Figura 6- Bacia do Ribeirão Cambé, Londrina-PR. Destacando a delimitação da bacia e a localização dos poços cadastrados no SIAGAS.



6.2 EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE POÇOS CADASTRADOS E USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Na década de noventa iniciou-se as perfurações na bacia do ribeirão Cambé. Utilizando os dados dos poços cadastrados no SIAGAS, armazenou-se no banco de dados apenas os poços que apresentavam os dados referentes à data de perfuração, nesta análise. Assim pode-se construir o gráfico da Figura 7.

Figura 7 – Evolução histórica do total de poços perfurados por ano na bacia do ribeirão Cambé, de acordo com o banco de dados compilado.



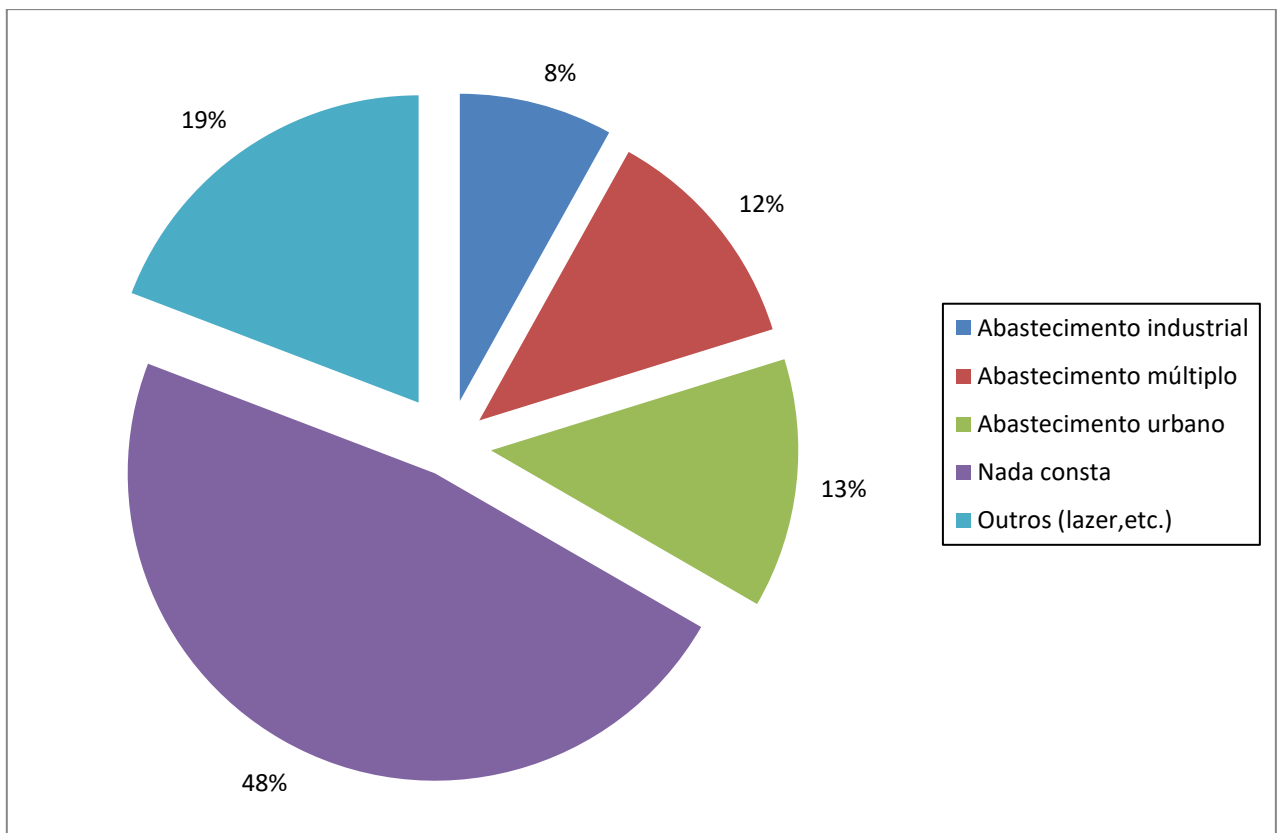
De acordo com a figura 7, o poço mais antigo perfurado na região de estudo, registrado no SIAGAS, é datado de 1990, seguindo por uma constância de perfurações até 1993, e praticamente não houve registros de perfurações até 1997. De 2000 a 2003

houve um numero constante de perfurações, 2005 apresenta um grande pico nas perfurações e no ano seguinte apenas um poço foi perfurado. Nos anos seguintes houve uma subida no número de perfurações até 2010 e 2011, sendo o ano com maior número de perfurações, e posteriormente uma nova queda. O poço datado mais recente é de 2013, devido ao tempo que os trâmites legais de outorga levam e para o banco de dados do SIAGAS ser atualizado.

As oscilações no número de perfurações podem ser relacionadas a evolução do PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro, que apresentou uma curva semelhante segundo dados disponibilizados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Em seguida, uma avaliação interessante é sobre o uso destes poços perfurados, ou seja, o uso das águas. Assim, construiu-se o gráfico da Figura 8.

Figura 8 – Gráfico com o uso das águas subterrâneas na bacia do ribeirão Cambé.



Na Figura 8, observa-se o uso preponderante das águas subterrâneas cujos poços se apresentam no cadastro. Portanto, é possível avaliar que 52 % apresentam informações quanto ao uso da água subterrânea no local de estudo. A maior parte (48 %) não constam dados sobre seu uso; 19 % são utilizados para usos diversos, como lazer; 13 % são destinados para o abastecimento público; 12 % para usos múltiplos; e 8 % para abastecimento industrial.

De acordo com a Figura 6, sabe-se que a maioria dos poços encontram-se na área urbana de Londrina, justificando assim a maior porcentagem do uso das águas para: lazer, abastecimento público e usos múltiplos (em condomínios, por exemplo).

6.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE AQUÍFERO DE ACORDO COM A BASE DE DADOS

Neste item analisam-se os dados de vazão, vazão específica, níveis d'água e profundidade dos 99 poços tubulares profundos que exploram o SASG na área de estudo.

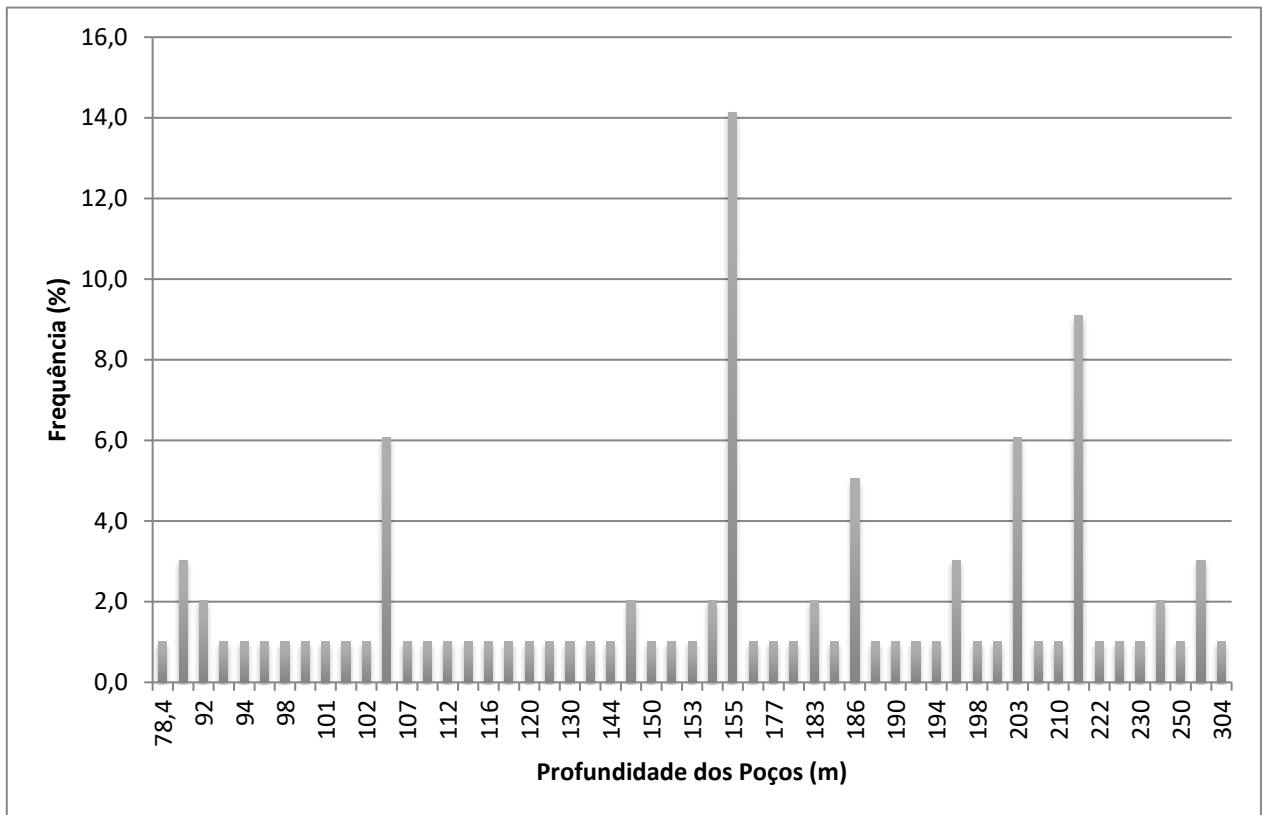
6.3.1 SASG

Como mencionado anteriormente, o banco de dados utilizado para o presente trabalho apresenta 99 poços, os quais exploram o SASG na bacia do ribeirão Cambé em Londrina-PR.

Dentre estes poços, a profundidade não é constante. Isto devido a diversos fatores, como: o perfurador, as necessidades do solicitante e o uso da água pretendido para o mesmo. Além disso, pode-se haver um avanço na perfuração de um poço sem que haja a possibilidade de se melhorar a produtividade, nessas profundidades maiores. Claramente, esses fatores interferem nos parâmetros estatísticos aqui apresentados. Mesmo com estas interferências a distribuição da profundidade dos poços no SASG é de

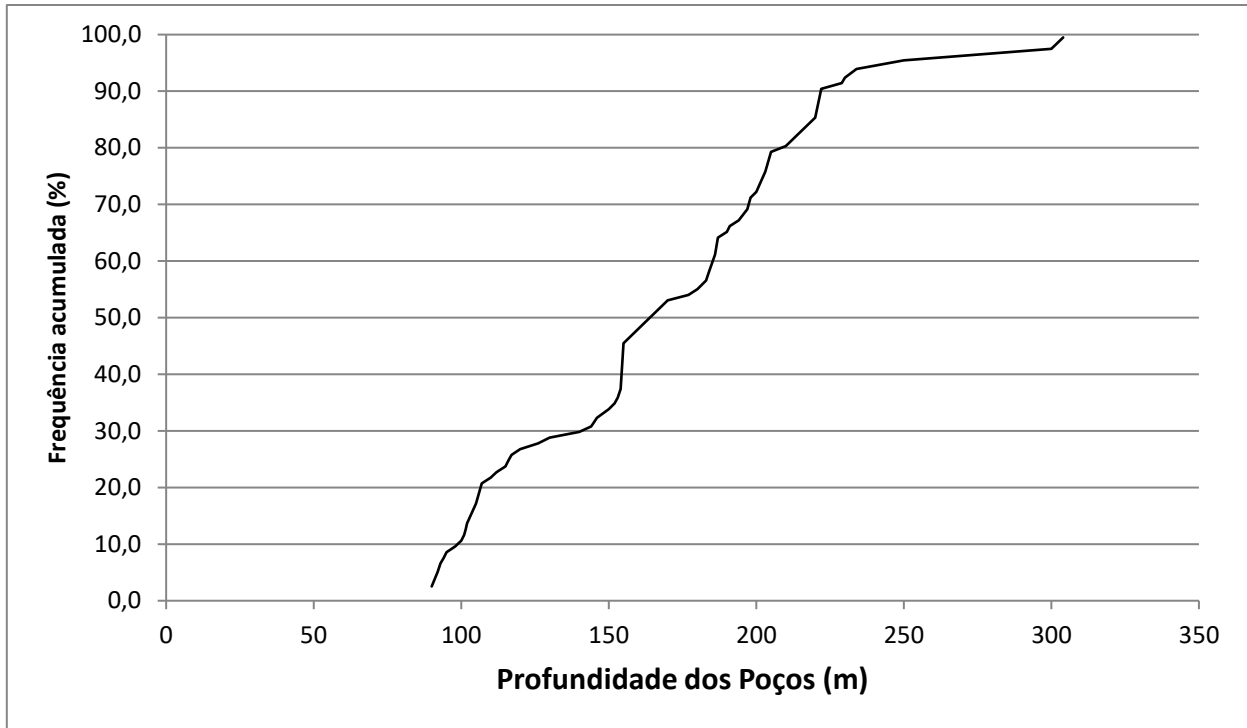
grande importância para compreendermos a relação entre a profundidade e a produtividade, visualizado nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Diagrama de frequência da profundidade dos poços que exploram o SASG.



Os poços que exploram este aquífero apresentam praticamente três picos de profundidade, ou seja, as profundidades mais exploradas encontram-se em torno de 105, 155 e 220 metros. As quais representam cerca de 29 % da exploração total do aquífero com profundidade mais explorada de 155 metros, ou seja, 14 % do total dos poços explora essa profundidade. Este fato pode ser observado na Figura 10, a qual apresenta um salto acentuado no intervalo de 150 a 200 metros de profundidade, comprovando assim que estas duas regiões são as mais exploradas.

Figura 10 - Diagrama de frequência acumulada da profundidade dos poços que exploram o SASG.



A vazão de um poço é obtida em um teste de vazão realizado no mesmo quando este é construído. Este procedimento consiste em realizar um bombeamento no poço em um determinado intervalo, geralmente por 24 horas, obtendo assim a vazão (que é a relação do volume de água por unidade de tempo).

Dos poços que utilizam o SASG na região de estudo, a vazão apresenta distribuição exponencial observada nas figuras 11 e 12. Observou-se assim, uma grande quantidade de valores baixos, sendo que 79 % dos poços apresentam vazão menor que 10 m³/h, apresentando pequena quantidade de valores altos, ou seja, apenas 7% dos poços ultrapassa 28 m³/h, como é típico nos aquíferos fraturados (NEVES, 2005).

A vazão média é de 9,25 m³/h e a vazão mediana, a qual é mais significativa em relação à média neste tipo de distribuição, é de 6,00 m³/h. O valor mínimo encontrado é 1,00 m³/h e o valor máximo é de 56,50 m³/h. O desvio padrão é de 10,73 m³/h, com coeficiente de variação de 115%.

Figura 11 - Diagrama de frequência da vazão dos poços que exploram o SASG.

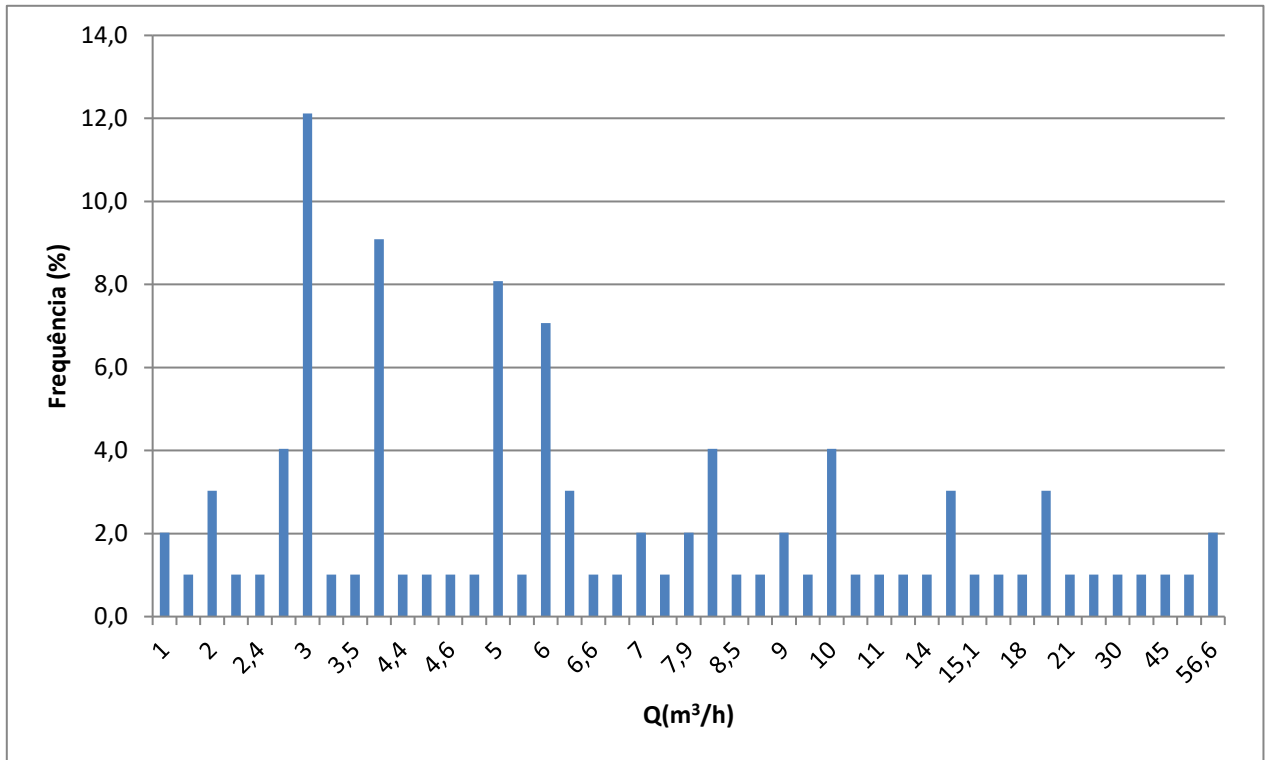
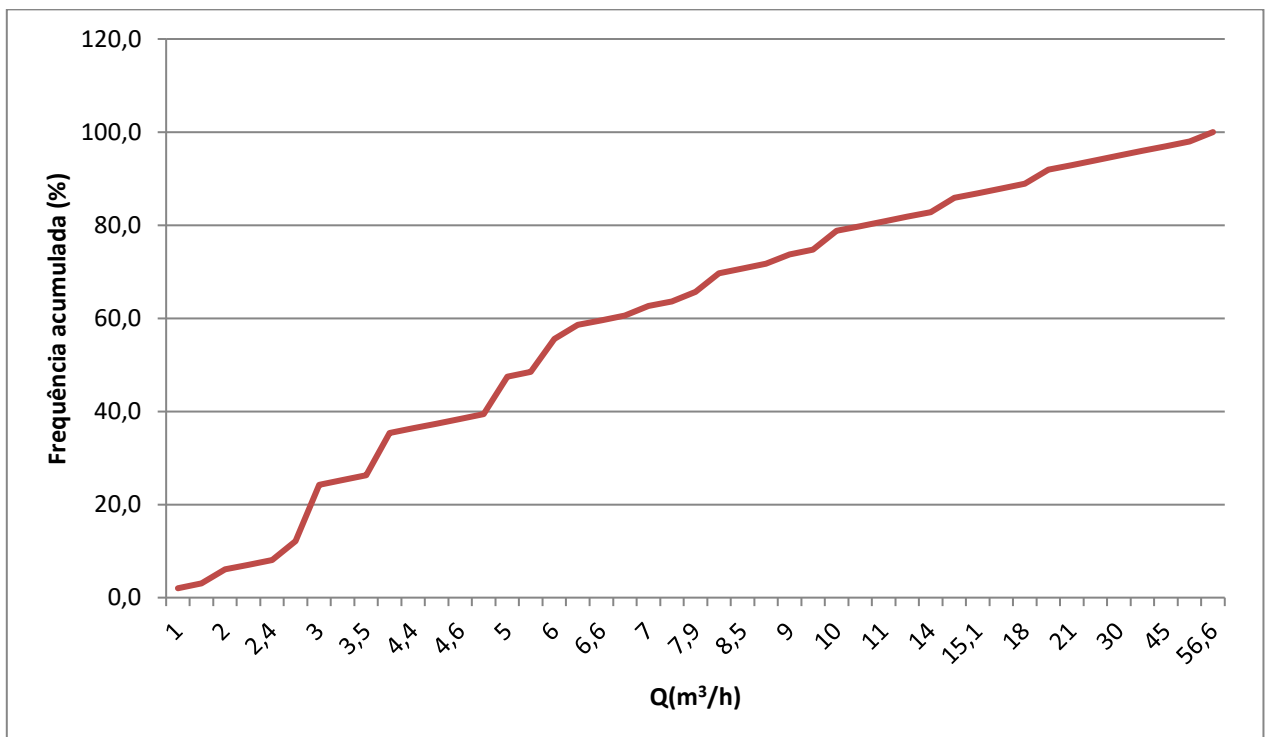


Figura 12 - Diagrama de frequência acumulada da vazão dos poços do SASG.



A capacidade específica é a relação entre a vazão que se extraí de um poço e o respectivo rebaixamento que ocorre no aquífero. Em meios fraturados, apresenta deficiências como indicador de produtividade. Sendo que, as entradas de água são essencialmente pontuais. Alterando assim, pouco a vazão dos poços quando o nível d'água ultrapassa a ultima entrada de água. Apesar disso é o parâmetro mais indicado para avaliar a produtividade (CELLIGOI, 1993).

Sendo assim, criou-se os gráficos das Figuras 13 e 14, que apresentam a frequência e a frequência acumulada, deste parâmetro.

Figura 13 - Diagrama de frequência da capacidade específica dos poços que exploram o SASG.

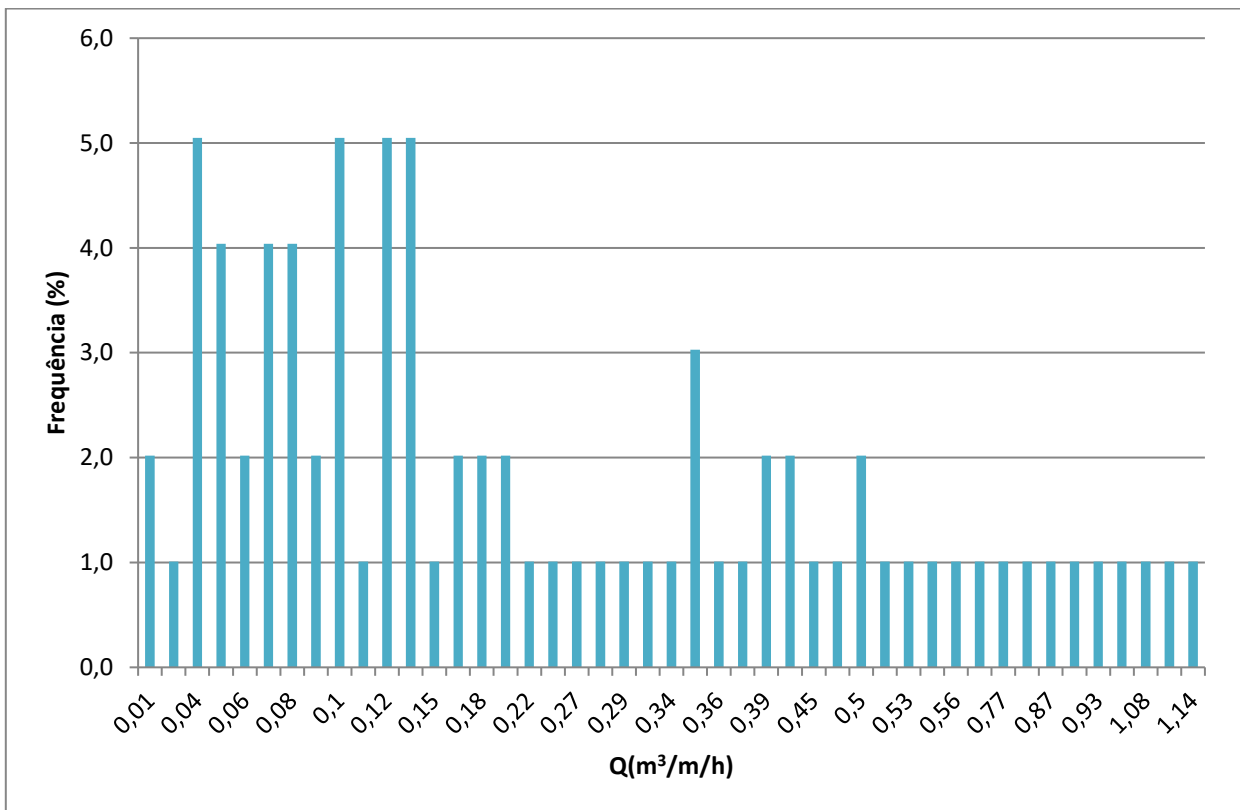
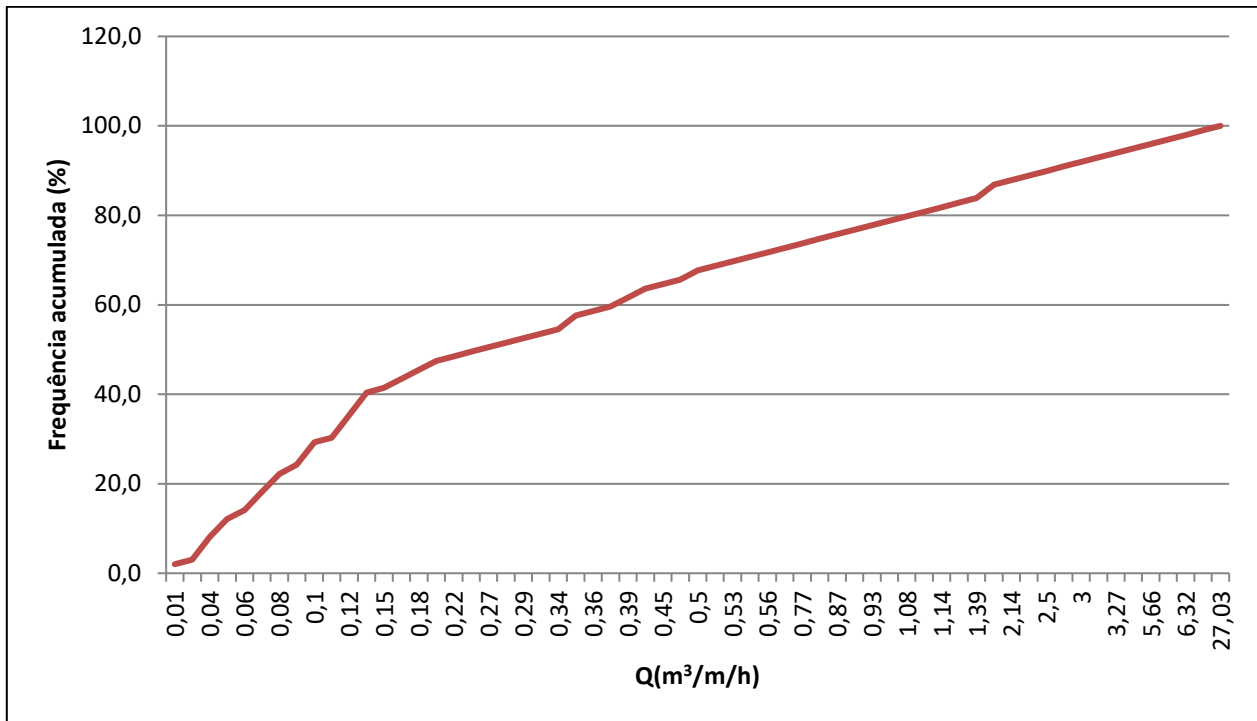


Figura 14 - Diagrama de frequência acumulada da capacidade específica dos poços que exploram o SASG.



A distribuição contida nos gráficos das Figuras 13 e 14, pode ser, também, consequência da existência de muitos valores baixos, cerca de 78 % dos poços apresentam vazão específica abaixo de 1,00 m³/h/m, e de poucos valores altos, 1% acima de 10 m³/h/m. A vazão específica média é de 1,1 m³/h/m, no entanto a mediana é de apenas 0,27 m³/h/m. O valor mínimo é 0,01 m³/h/m e o máximo é de 27,03 m³/h/m. O desvio padrão calculado é de 3,02 m³/h/m e o coeficiente de variação chega apenas a 9,15 %.

O nível estático (NE) é a distância da superfície do terreno até o nível onde a água encontra-se dentro do poço, ou seja, é a altura que a água se encontra dentro do poço quando não há influencia por bombeamento.

A distribuição dos níveis estáticos dos poços que exploram o SASG é extremamente distinta, pois não há uma concentração de utilização das profundidades, observado nas Figuras 15 e 16. A profundidade média do NE é de 49,2 metros e a mediana é de 36,63 metros, com valor mínimo de 2,00 e máximo de 152,13 metros; o desvio padrão é de 33,70 metros.

Figura 15 - Diagrama de frequência da profundidade do nível estático (NE) dos poços que exploram o SASG.

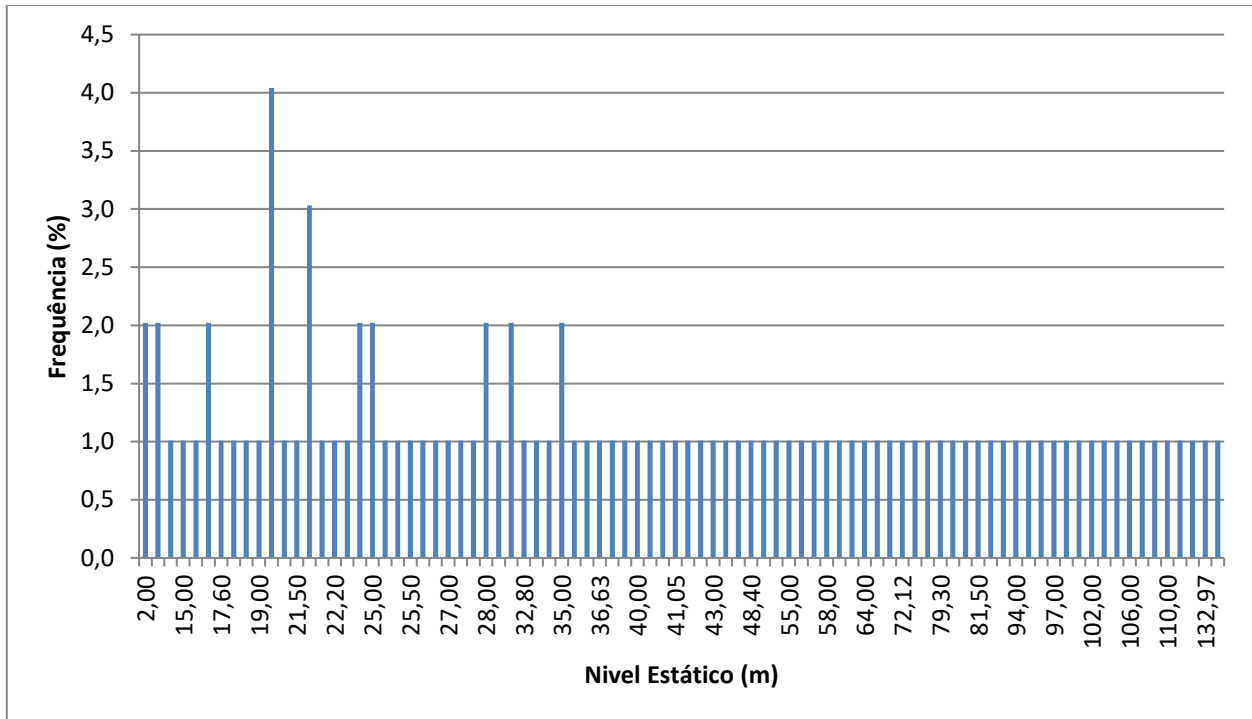
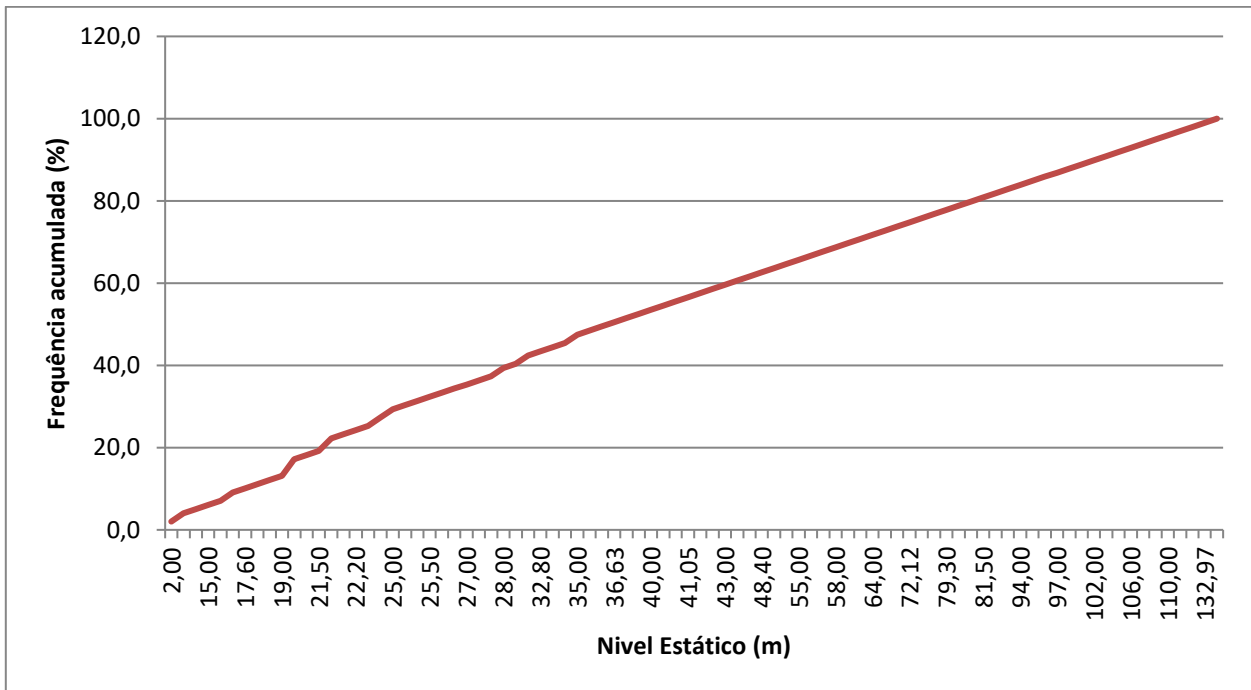


Figura 16 - Diagrama de frequência acumulada da profundidade do nível estático (NE) dos poços que exploram o SASG.



O nível estático (ND) é a altura em que a água se encontra após a ação de um bombeamento em um poço, ou seja, é a distância da superfície do terreno até o nível da água dentro do poço após um bombeamento.

As distribuições da profundidade do nível dinâmico dos poços que exploram o SASG são distintas, pois graficamente apresenta uma variação do NE semelhante a um gráfico senoidal (Figuras 17 e 18). A profundidade média do ND é de 67,81 metros e a mediana é de 61,82 metros, com valor mínimo de 2,00 e máximo de 188 metros; o desvio padrão é de 39,52 metros.

Figura 17 - Diagramas de frequência da profundidade do nível dinâmico (ND) dos poços que exploram o SASG.

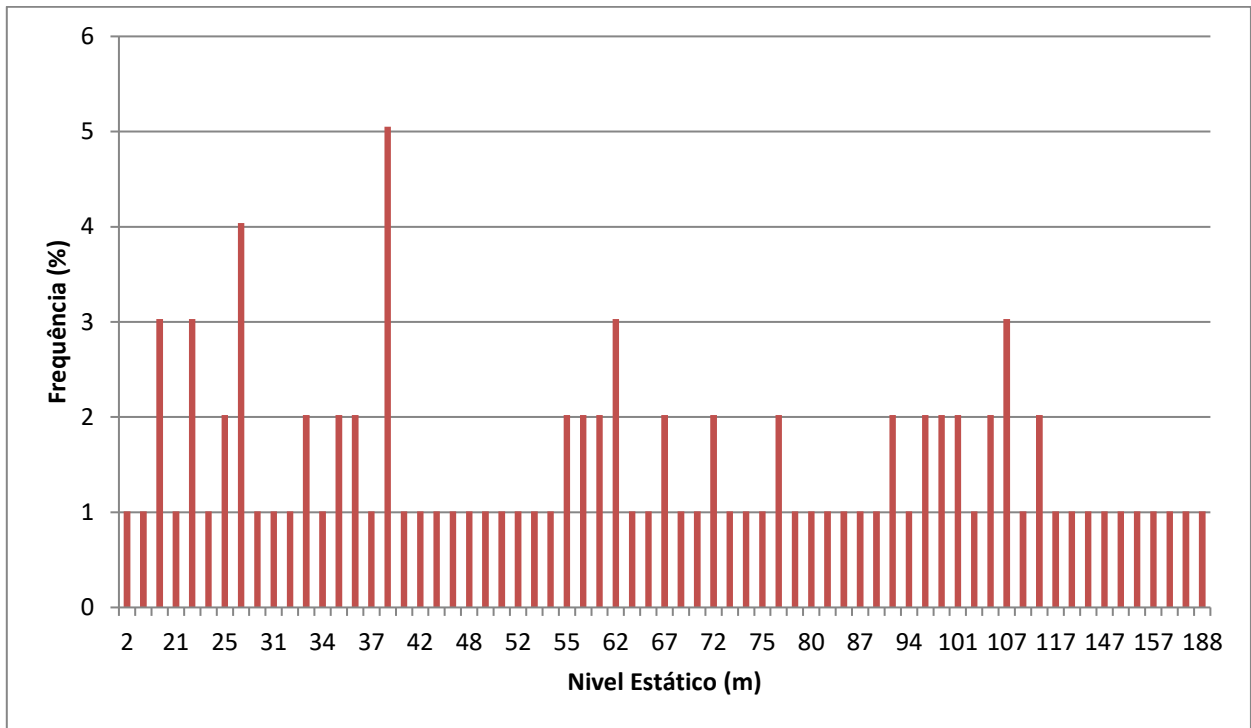
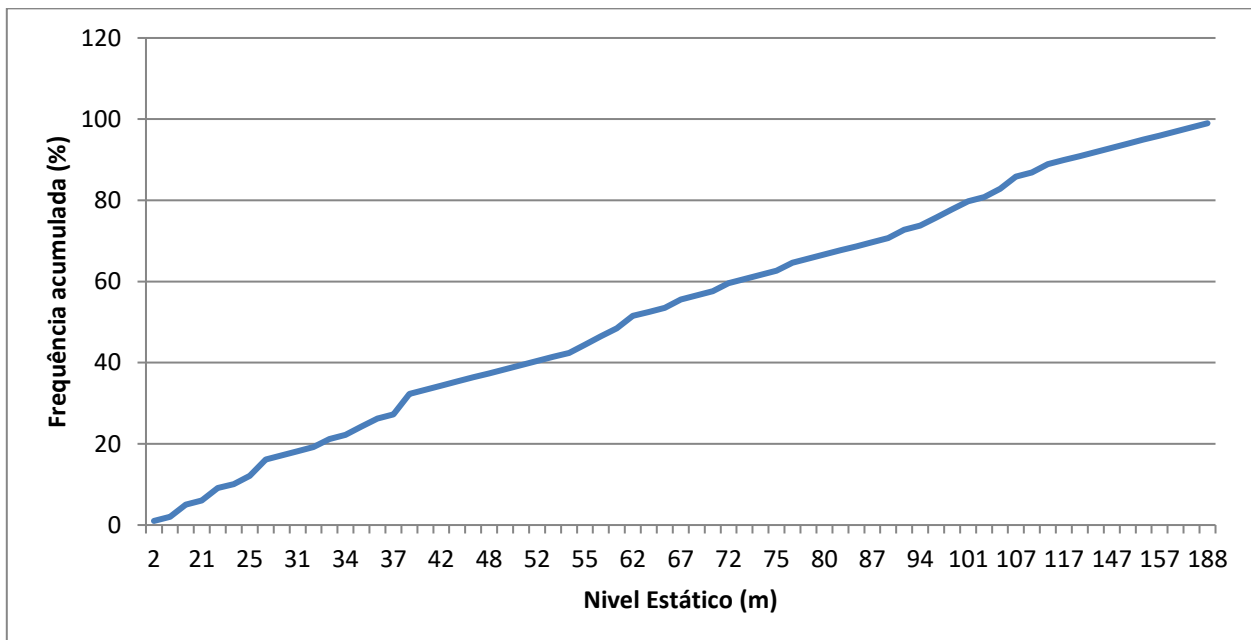


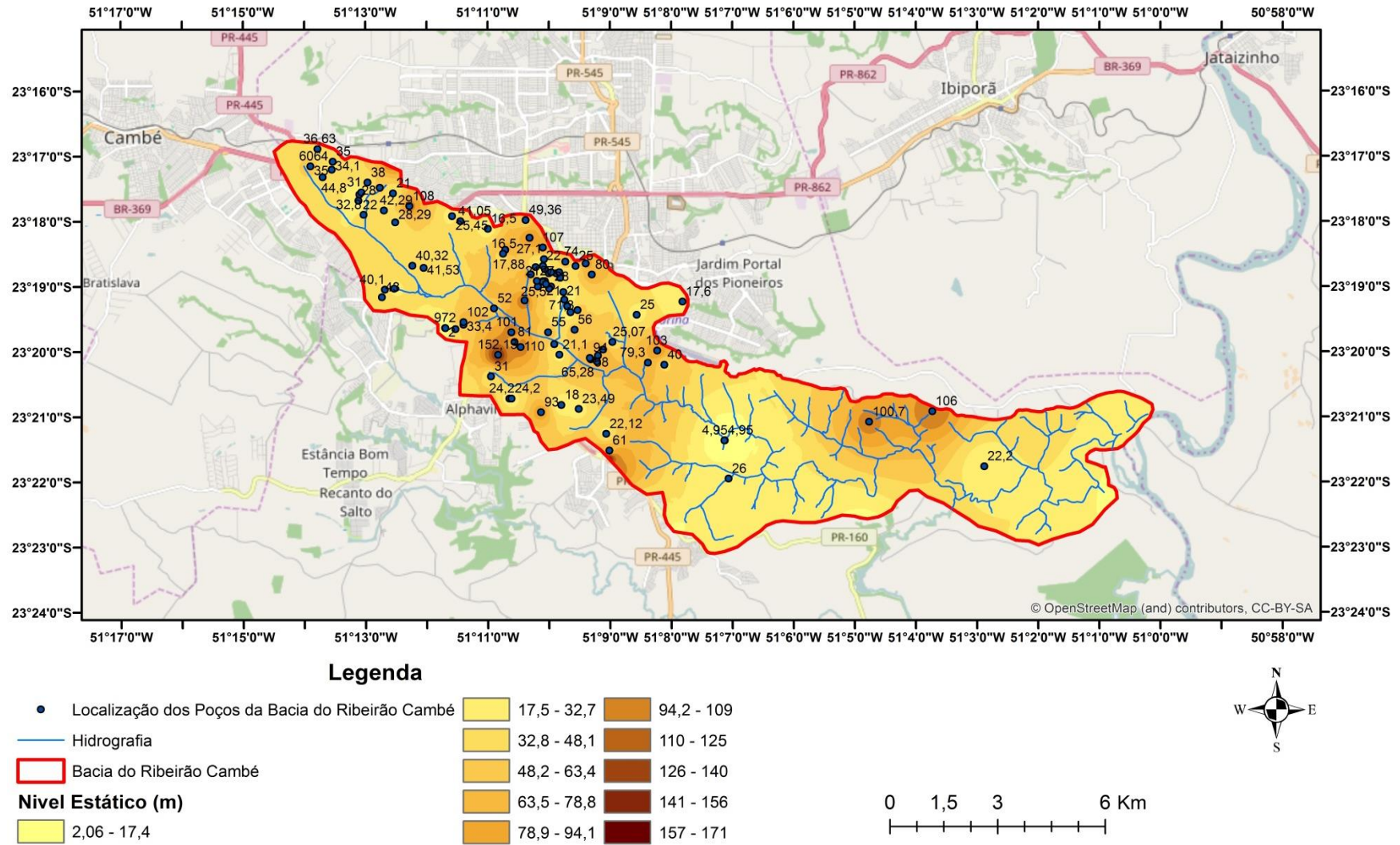
Figura 18 - Diagramas de frequência acumulada da profundidade do nível dinâmico (ND) dos poços que exploram o SASG.



6.3.2 Profundidade do NE no SASG

Na elaboração do mapa profundidade do NE no SASG (Figura 19) foram utilizadas as cotas do nível estático e o programa *ArcGis*, com a base de dados. O mapa representado é referente aos poços que exploram a bacia do ribeirão Cambé. Sendo que na vertente direita da bacia encontram-se poços com o NE bem profundos. No entanto, na vertente esquerda ocorrem poços com NE mais rasos, além de ser o local mais próximo a região central de Londrina e concentrar o maior número de poços.

Figura 19 - Mapa da profundidade do NE no Sistema Aquífero Serra Geral na bacia do ribeirão Cambé com base nos dados de poços tubulares profundos contidos no banco de dados do SIAGAS.



6.3.3 Variação da produtividade com a profundidade no SASG

Para analisar a variação da produtividade com o aumento da profundidade dos poços no SASG, (Figuras 20 e 21), os quais relacionam os valores de vazão específica, nível dinâmico e profundidade dos poços.

Pode-se observar que com o aumento da profundidade há uma tendência de diminuição da produtividade dos poços. No entanto, a relação da vazão específica com o nível dinâmico dos poços é melhor em relação à profundidade, constatado pelo valor do R^2 em ambos os casos, ou seja, a relação entre vazão específica e nível dinâmico apresenta um valor de R^2 mais próximo de 1 e assim um melhor ajuste entre os parâmetros (uma melhor relação). Podendo, assim, ser consequência de que a profundidade dos poços nem sempre pode estar relacionada a uma melhor produtividade. Pois, diversos fatores podem influenciar: com a escolha do perfurador, as questões contratuais e a possibilidade de o cliente aceitar uma obra mais dispendiosa.

Já o nível dinâmico, será tanto mais profundo quanto menor for a vazão do aquífero naquele ponto. Levando em consideração que há valores de transmissividade, o uso da vazão específica como parâmetro avaliador da produtividade é mais confiável.

Figura 20 - Gráfico de correlação da vazão específica com a profundidade dos poços que exploram o SASG.

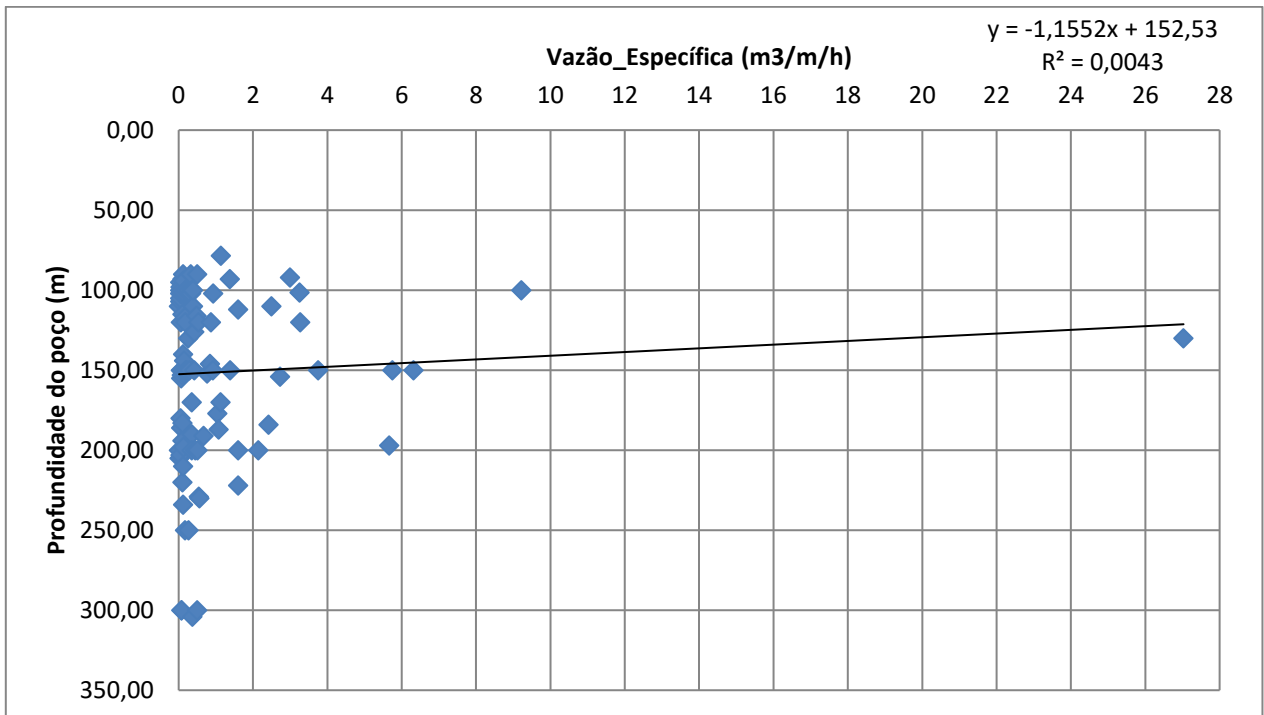
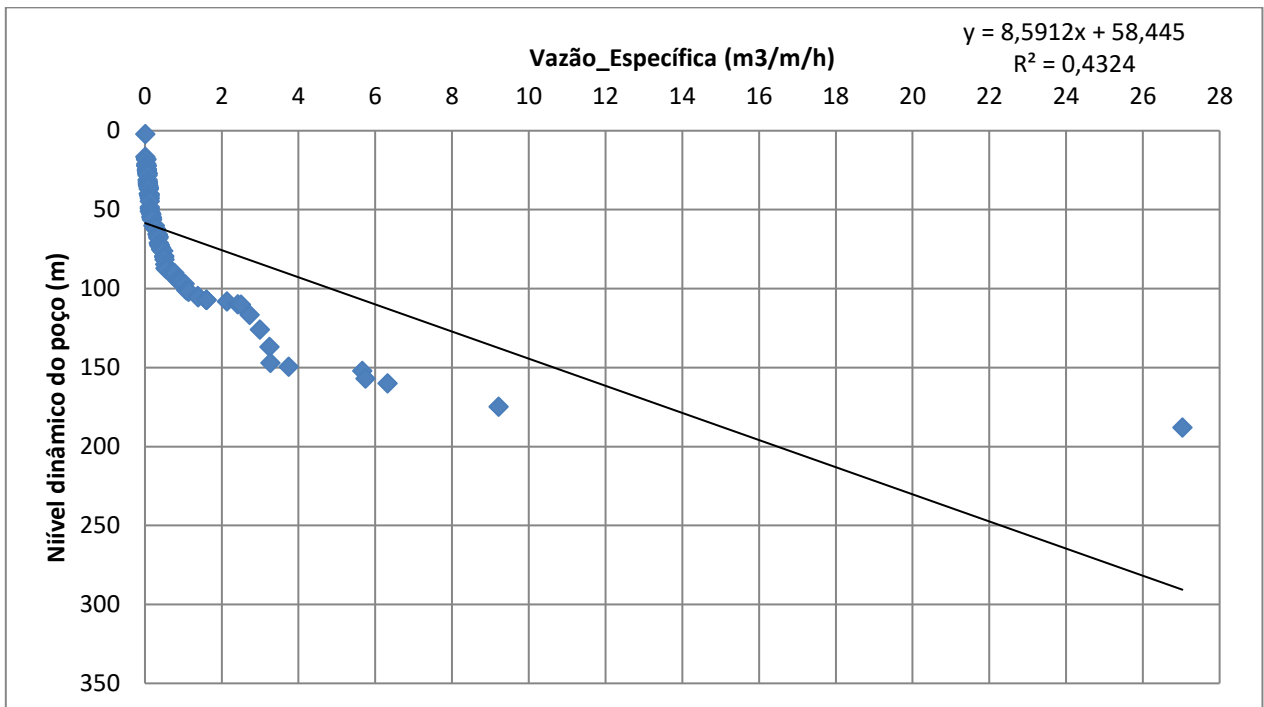


Figura 21 - Gráfico de correlação da profundidade com o nível dinâmico dos poços que exploram o SASG.



6.4 VARIAÇÃO DO NE, ND E PROFUNDIDADE DOS POÇOS NO SASG AO LONGO DO TEMPO

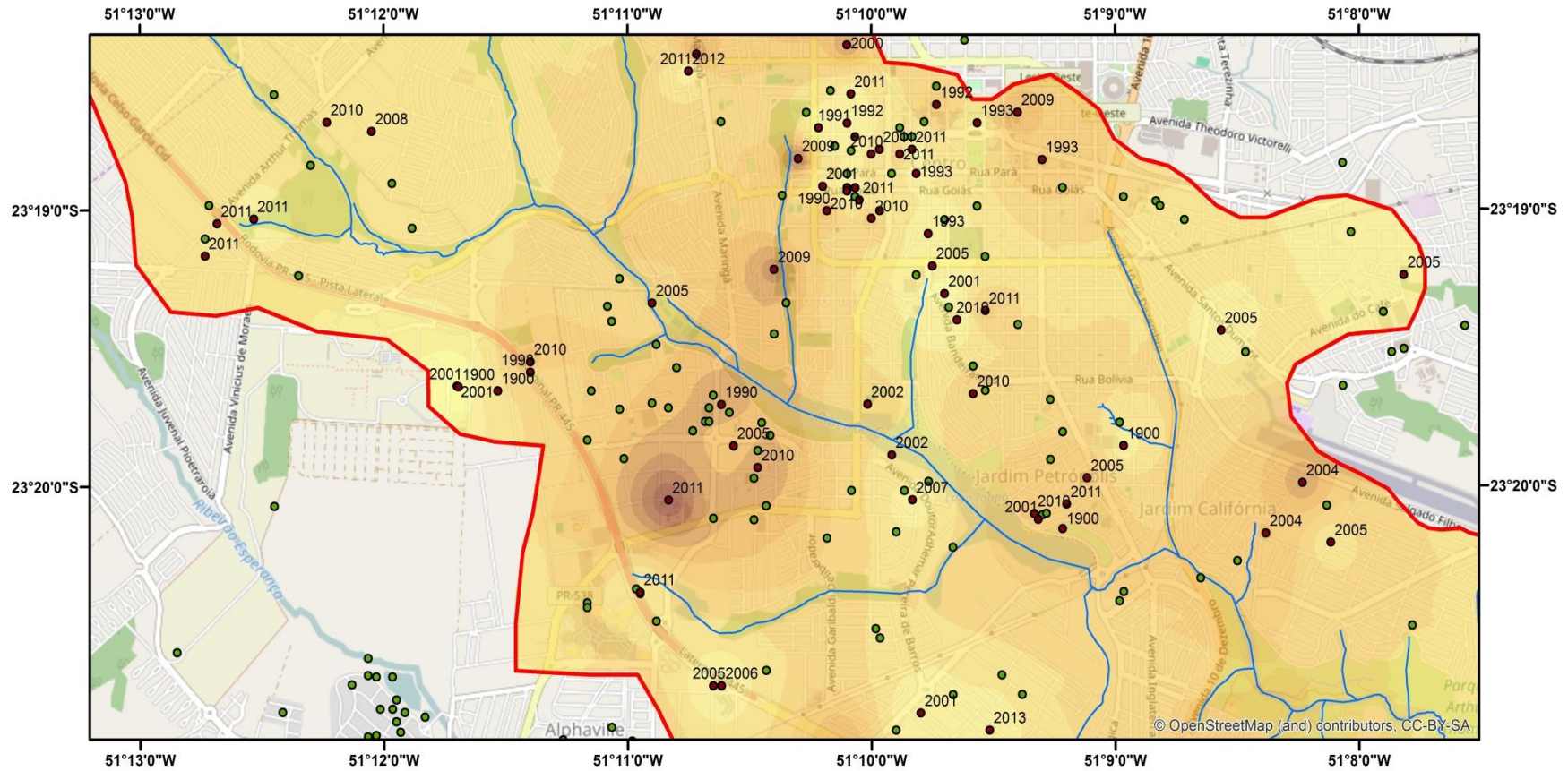
Por meio da utilização dos dados de poços tubulares profundos que apresentam registro no SIAGAS de 1990 a 2013, possibilitou a avaliação temporal de alguns parâmetros hidrogeológicos ao longo das últimas décadas. Para facilitar a compreensão considerou-se três intervalos de tempo: antes de 1999, de 2000 a 2009 e depois de 2010.

6.4.1 Variação do Nível Estático (NE)

Para que se possa observar melhor a distribuição dos poços na bacia hidrográfica e identificar os anos em que foram construídos, relacionando com o NE, criou-se o mapa da Figura 22.

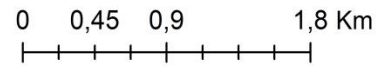
Neste mapa observou-se que na região nordeste da figura, ou seja, na vertente esquerda da bacia, tem-se uma zona de menor profundidade do NE. Isso relacionado por controle geológico e não por interferência entre os poços. No entanto, a zona sudeste (vertente direita da bacia) apresenta influência entre os poços, mostrando que os poços mais recentes são mais profundos que mais os antigos, devido ao cone de rebaixamento do NE causado pelos poços.

Figura 22 – Interferências entre os poços em relação ao ano de construção.



Legenda

●	Datas de construção dos poços	17,5 - 32,7	94,2 - 109
—	Hidrografia	32,8 - 48,1	110 - 125
▭	Bacia do Ribeirão Cambé	48,2 - 63,4	126 - 140
Nível Estático (m)		63,5 - 78,8	141 - 156
▭		78,9 - 94,1	157 - 171
▭	2,06 - 17,4		



O gráfico da Figura 23 apresenta a variação da mediana da profundidade do NE em três intervalos de tempo. Desse modo, a mediana da profundidade do NE para o período “antes de 1999” é de 27,00 metros, para o período “de 2000 à 2009” é de 43,16 metros e para o período “depois de 2010” é de 38,05 metros. Ou seja, utilizando o diagrama de frequência acumulada (Figura 24), observa-se a tendência de aumento da profundidade do NE.

Figura 23 - Variação da profundidade mediana do NE ao longo dos anos.

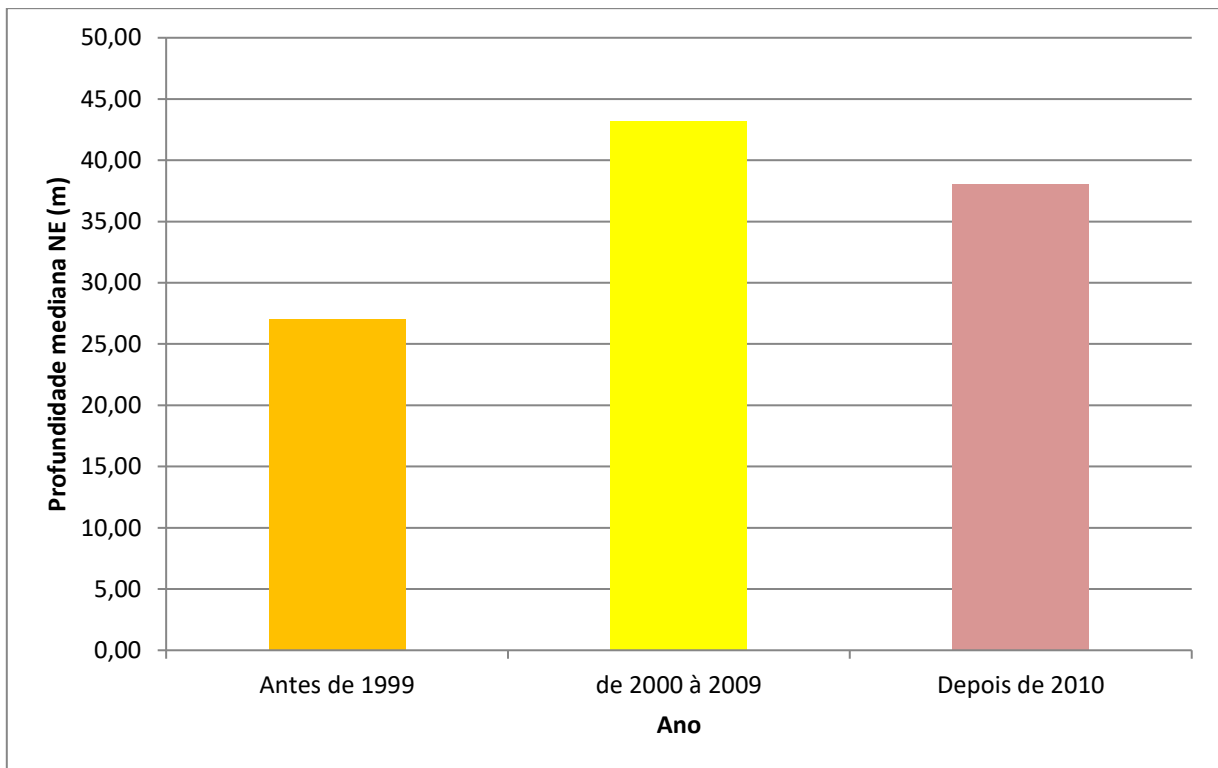
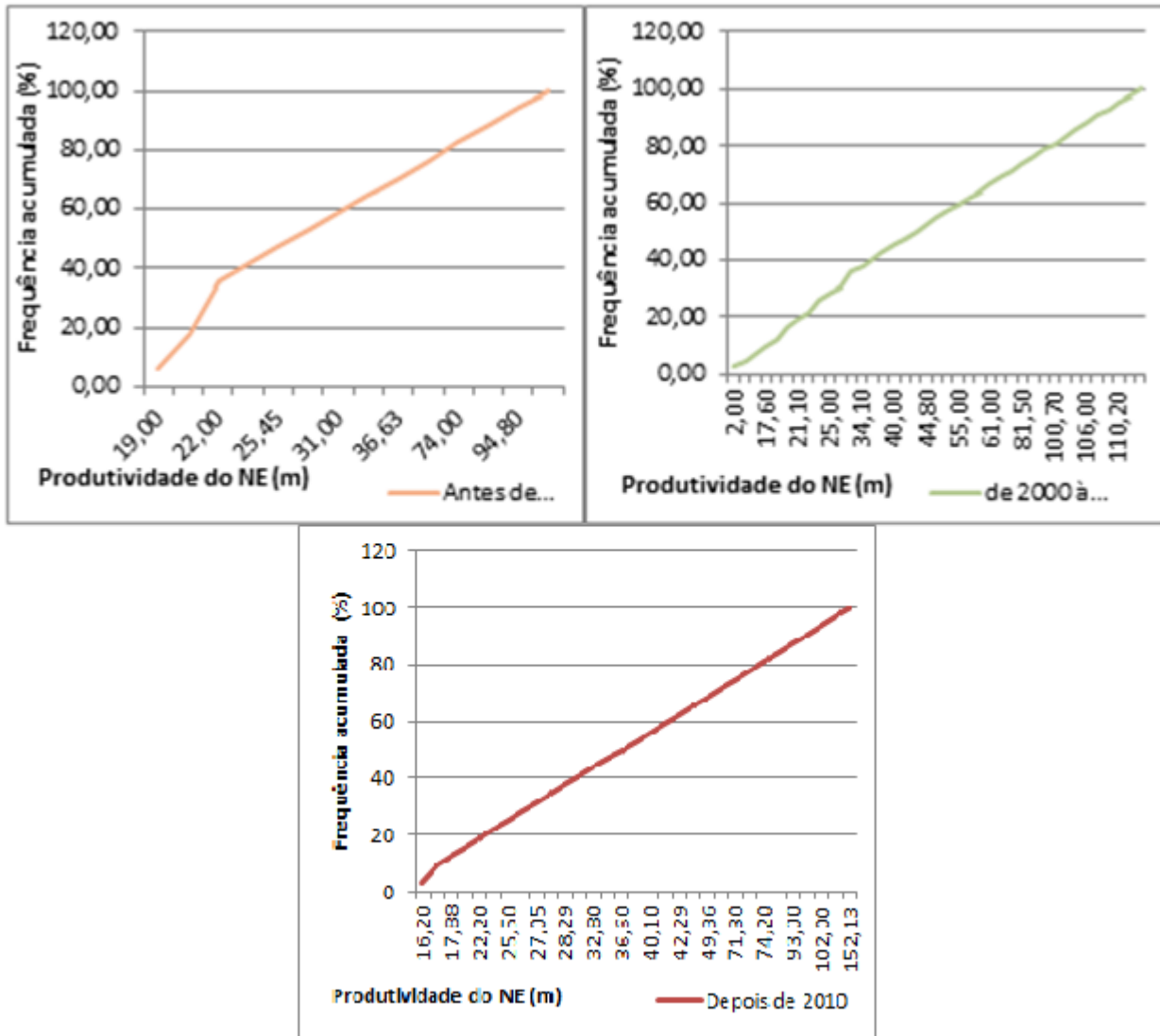


Figura 24 – Diagrama de frequência acumulada do NE, ao longo dos anos.



6.4.2 Variação do Nível Dinâmico (ND)

Os gráficos referentes à profundidade mediana do ND ao longo dos anos, apresentado na Figura 25. A mediana da profundidade varia de 68,00 metros no período “antes de 1999”, para 64,00 metros no período “de 2000 à 2009” e chega a 58,39 metros em “depois de 2010”. Ou seja, utilizando o diagrama de frequência acumulada (Figura

26), observa-se a tendência de aumento da profundidade do ND. Indicando que deve-se haver interferência entre os poços.

Figura 25 – Variação da profundidade mediana do ND.

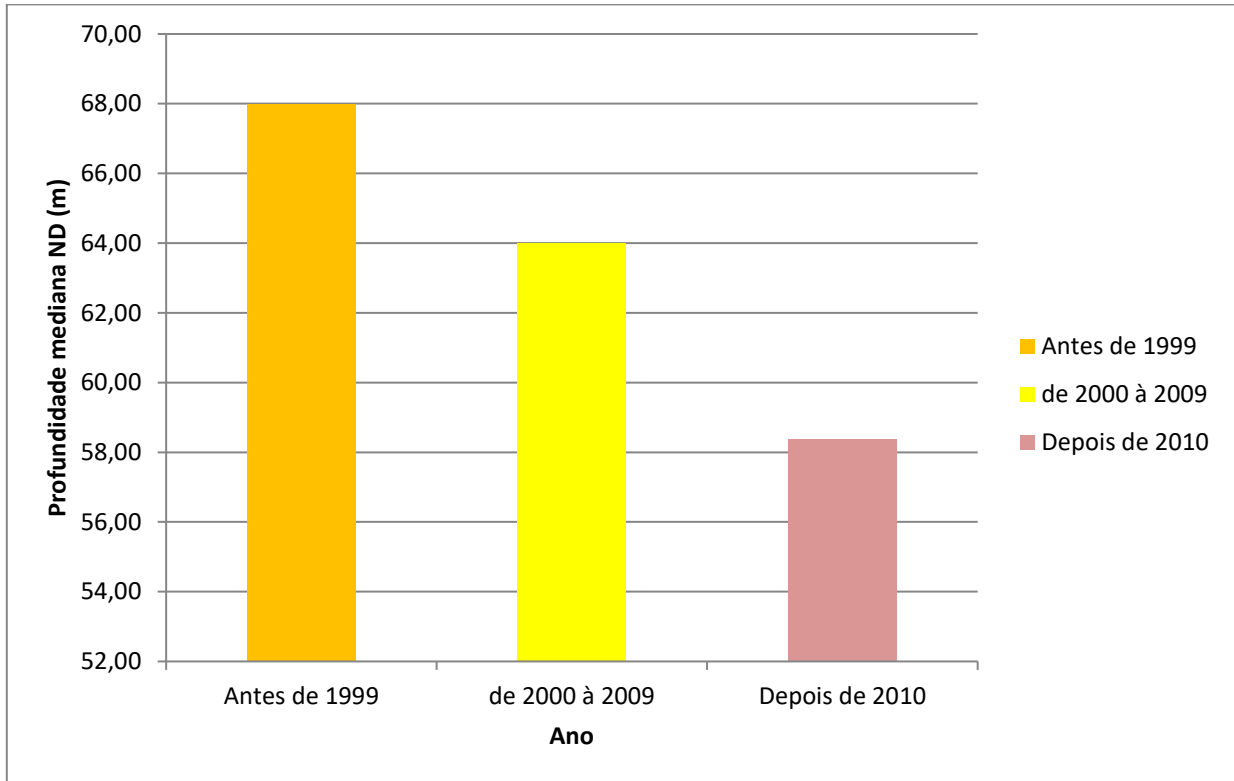
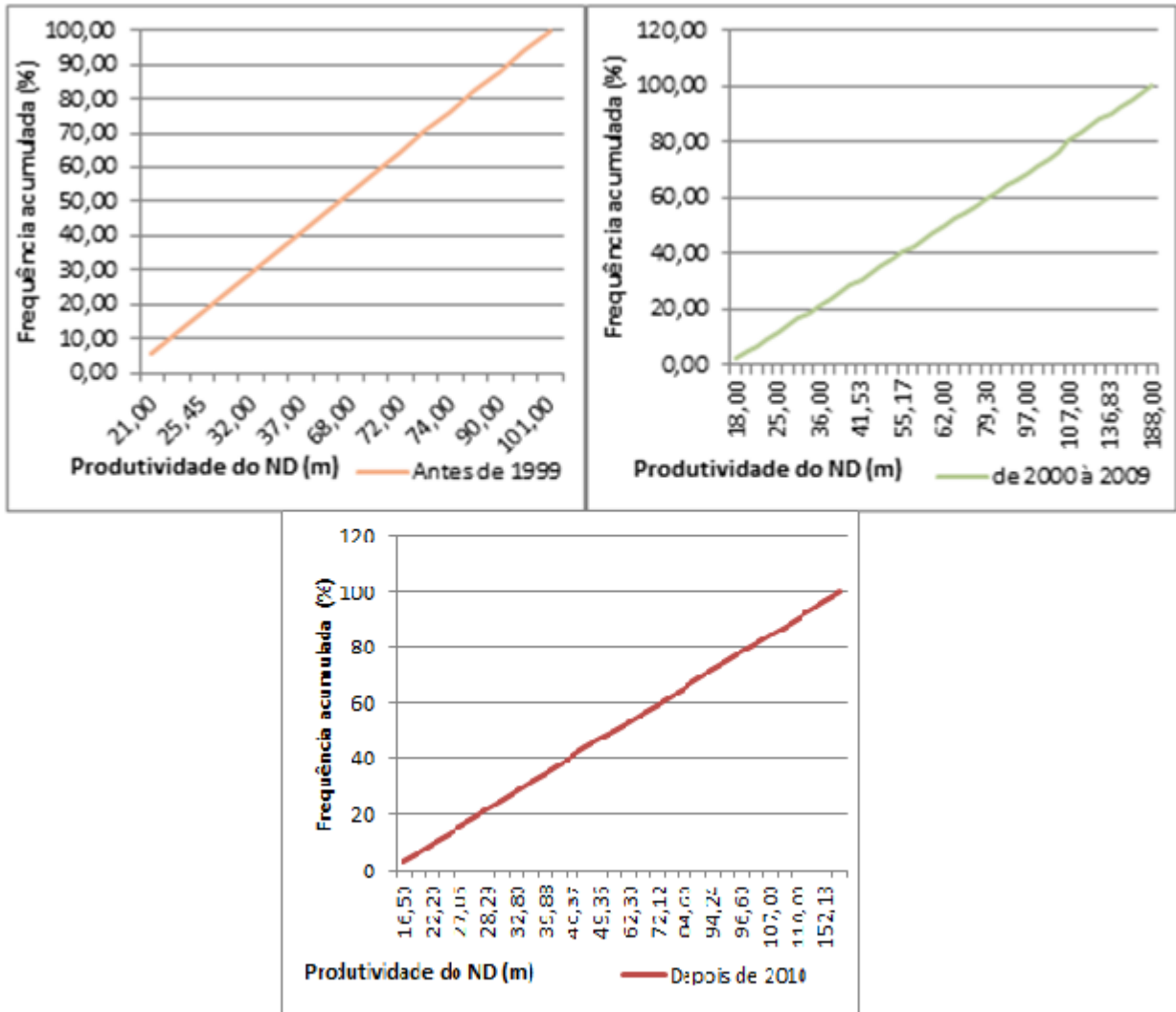


Figura 26 – Diagramas de frequência acumulada do ND, para cada período.



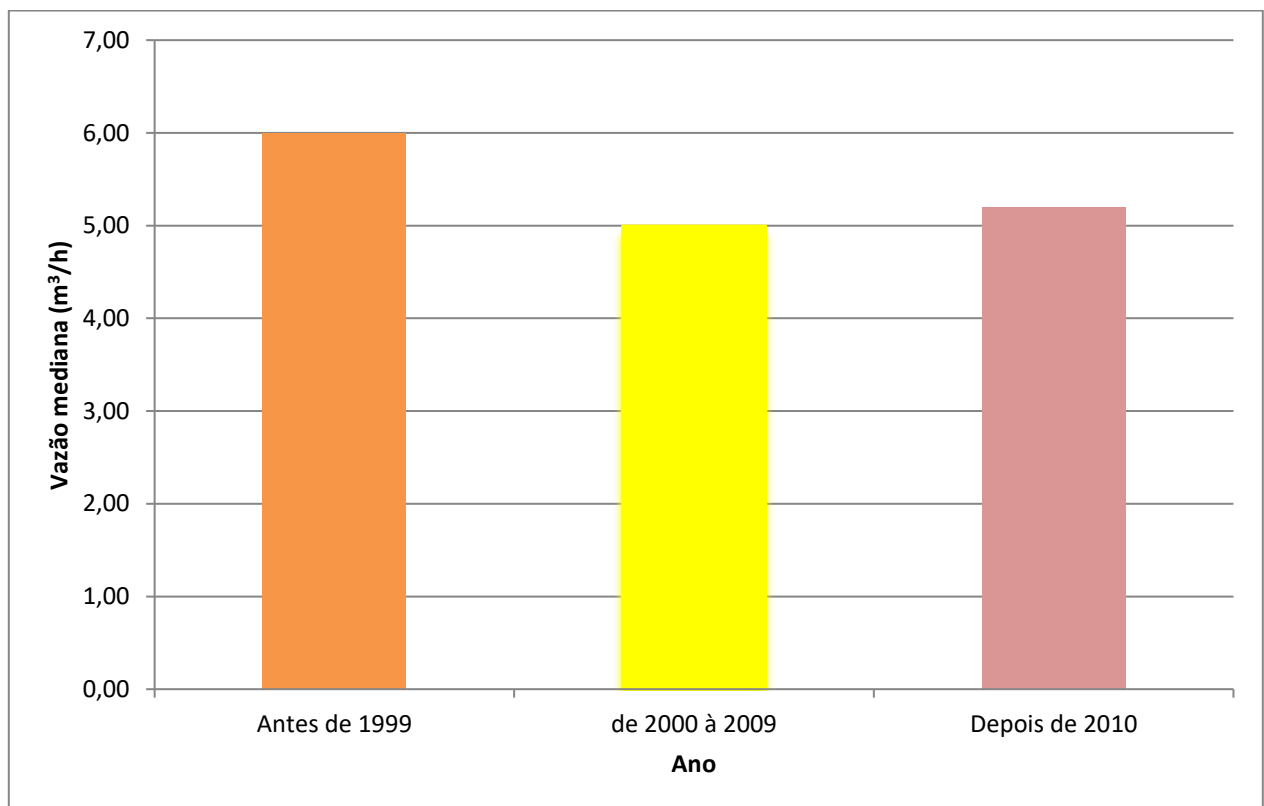
6.4.3 Variação da Vazão

Estão disponíveis 99 medidas de vazão, as quais foram obtidas por testes de bombeamento e datadas, na construção dos poços. O gráfico da Figura 27 mostra que a vazão permanece praticamente constante, apresentando uma ligeira queda nos dois últimos períodos de tempo. Considerando o tipo de distribuição de dados, a pequena queda visualizada no gráfico da Figura 27 não apresenta significado estatístico.

Implicando, assim, que as vazões utilizadas nestes testes de bombeamento são da mesma ordem de grandeza ao longo de todo o período pesquisado.

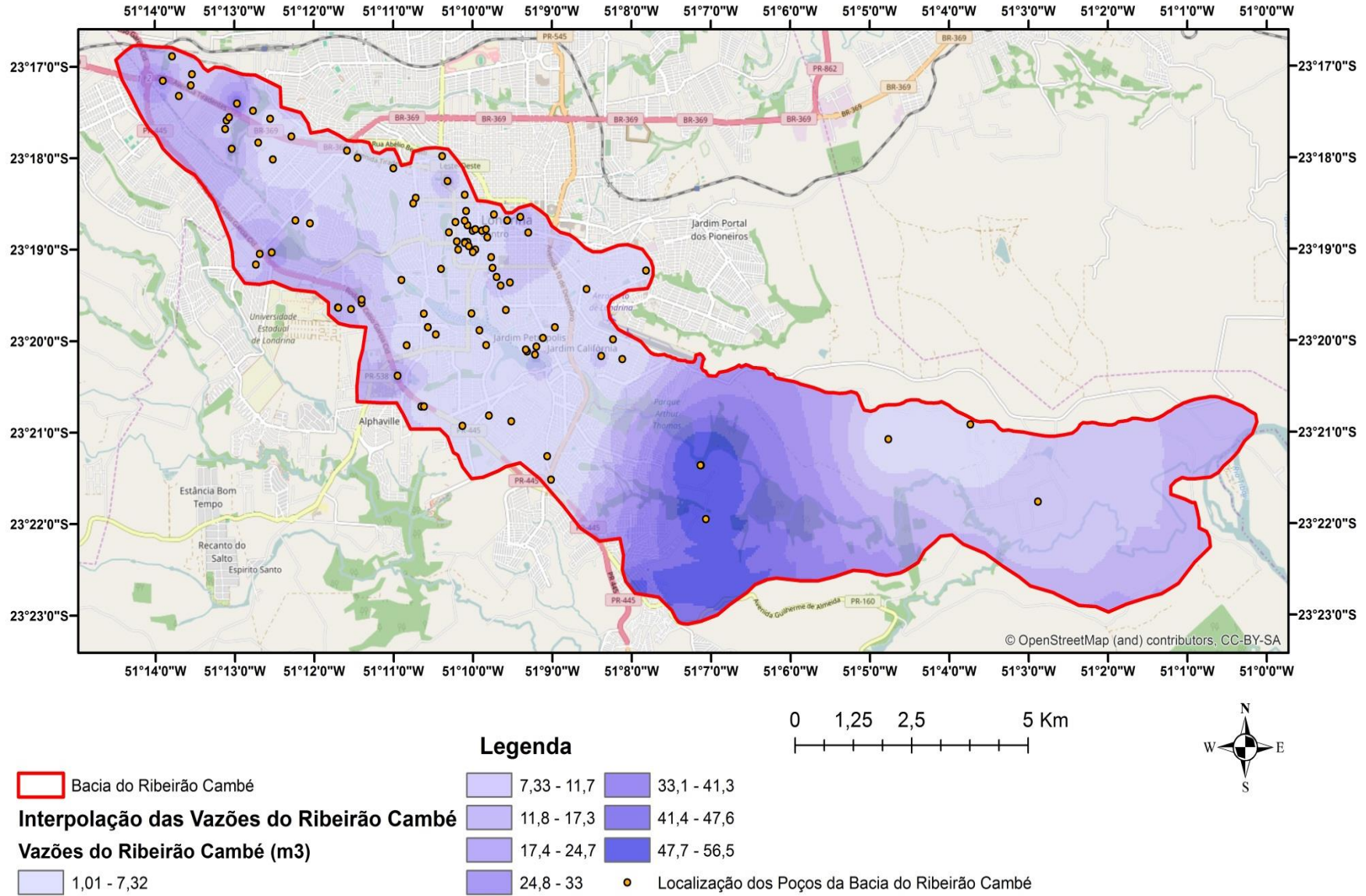
Mesmo estando ligada ao potencial do aquífero, a vazão é um parâmetro muito influenciado pelas necessidades do usuário, pois a demanda é dimensionada de acordo com a bomba utilizada. Em muitos casos, existe um excelente potencial de produtividade do aquífero e utiliza-se uma bomba pouco potente, sendo que o inverso ocorre também. Assim, a utilização do conceito de vazão específica, é mais confiável, para avaliar as variações na produtividade.

Figura 27 – Variação das vazões medianas utilizadas nos testes de bombeamento ao longo dos intervalos de tempo.



Outra forma de avaliar a variação da vazão dos poços é realizando a interpolação destes dados, visualizada na Figura 28, realizada utilizando o programa ArcGis por meio da metodologia de pontos pela ponderação do inverso da distância (IDW) e criou-se uma imagem (*raster*).

Figura 28 – Interpolação da vazão dos poços da bacia do ribeirão Cambé. Destacando a localização dos poços.

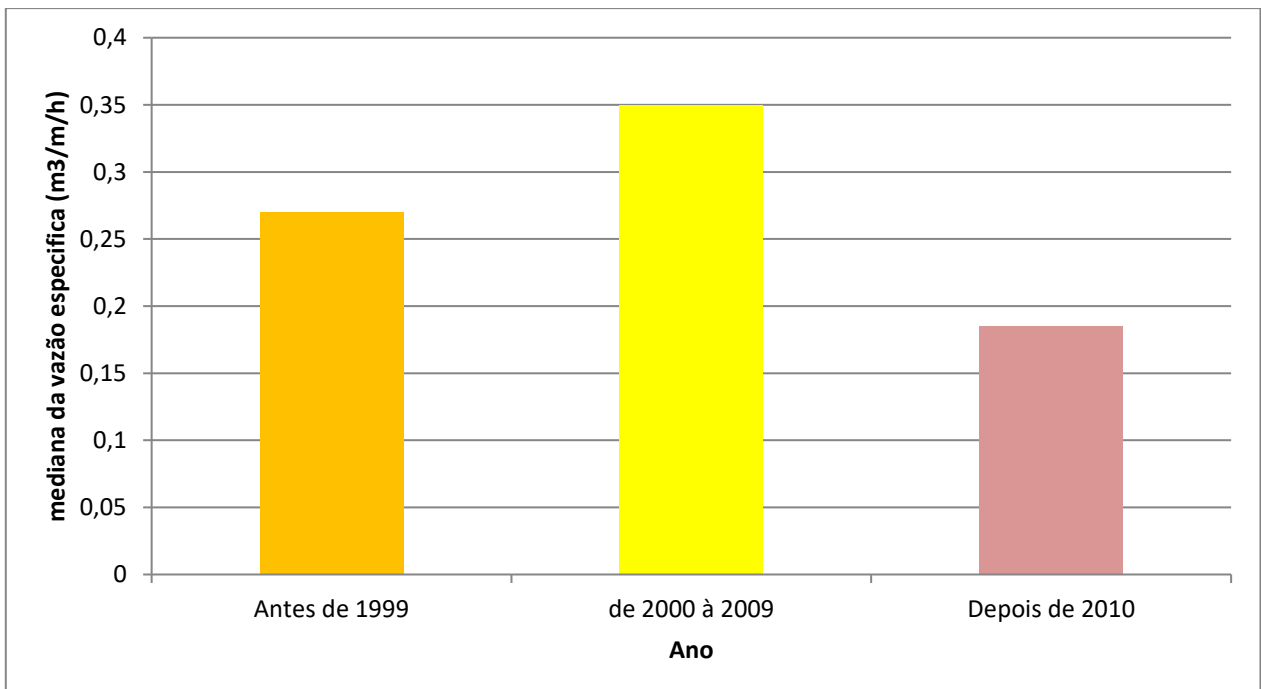


Assim, é possível observar que as maiores vazões são encontradas nas proximidades do parque Arthur Thomas, além deste fato o local é um dos que apresenta menor exploração das águas subterrâneas. Também, a área urbana apresenta o maior número de poços e as menores vazões da bacia. Evidenciando a interferência entre os poços.

6.4.3 Variação da Vazão Específica

O gráfico de variação da vazão específica ao longo do tempo (Figura 29) mostra: elevação acentuada na produtividade mediana dos poços do período “antes de 1999” para “de 2000 à 2009”; e queda acentuada do período “de 2000 à 2009” para “depois de 2010”. A vazão específica mediana obtida no período “antes de 1999” é de $0,27 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, no período “2000 à 2009” eleva para $0,35 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e no intervalo “depois de 2010” decai para $0,19 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$.

Figura 29 – Variação da vazão específica mediana nos três períodos estudados.



Em relação a vazão específica, quando ocorre um pequeno aumento na profundidade mediana do nível estático e um aumento acentuado na profundidade mediana do nível dinâmico ao longo de cada período pesquisado, obviamente a vazão específica mediana também sofre uma queda. Destacando que a vazão, mostrada no item anterior, se mantém quase constante.

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa possibilitou a partir dos dados referentes aos poços tubulares profundos, disponibilizados no SIAGAS, criar um banco de dados essencial para a realização da mesma e com uma boa confiabilidade.

Por meio do programa ArcGIS®, utilizando como ferramenta de geoprocessamento o SIG, foi possível sistematizar e agrupar os dados. Gerando mapas que delimitam a área de estudos, que localiza os poços estudados e possibilitou analisar a potenciometria local. Na parte estatística, utilizou-se o programa Microsoft® Excel 2010, para o desenvolvimento de diversos gráficos e assim pode-se analisa-los.

Verificou-se que o poço mais registrado mais antigo é datado de 1990 e o mais recente de 2013. Ouve um crescimento na construção dos poços cadastrados principalmente em 2005 e 2010/11, isso pode ser relacionado com a variação do PIB. Em relação ao uso das águas a maior parte dos poços cadastrados, que apresentam este dado, são utilizados para usos diversos, como laser.

Caracterizou-se o sistema de aquíferos utilizando os dados de 99 poços tubulares profundos que exploram o SASG na área de estudo. Em relação a profundidade dos poços não há uma constância, sendo que as regiões mais exploradas são: 105, 155 e 220 metros. Já a vazão média dos poços é de 9,25 m³/h, onde 79 % dos poços apresentam vazão menor que 10 m³/h e apenas 7 % dos poços ultrapassando os 28 m³/h, como é típico nos aquíferos fraturados. No entanto a vazão específica é mais relevante que apenas a vazão, apresentando que 78 % dos poços têm vazão específica abaixo de 1,00 m³/h/m e 1% de valores altos acima de 10 m³/h/m, no caso obteve-se a mesma relação. Em relação ao nível estático dos poços não é possível estabelecer uma constância, pois há uma variação de 2,00 a 152,13 metros, com média de 49,2 metros. Já o nível dinâmico dos poços varia como um gráfico senoidal, onde a média é de 67,81 metros e varia de 2,00 há 188 metros.

Com os mapas, foi possível observar que as maiores vazões estão no parque Arthur Thomas, o qual se encontra uma das menores concentrações de exploração das águas subterrâneas e é um local de mata, já na área urbana tem-se o maior número de

poços e as menores vazões da bacia. A profundidade do nível estático no SASG dos poços observou-se que vertente direita da bacia se encontra os poços com o nível estático mais profundos e na vertente esquerda mais rasos. Para variação da produtividade em relação à profundidade, observou-se que com o aumento da profundidade há uma diminuição da produtividade dos poços. Podendo esses fatos serem explicados com estudos geológicos e que não foram realizados neste trabalho.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUINAGA, Karyn F. S. **Análise Jurídica da Gestão das Águas Subterrâneas no Município de Manaus**. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Direito Ambiental, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus. 141 p. 2007.

ALIEVI, Alan A. PINESE, José Paulo P. CELLIGOI, André. **Inventário das Áreas de Concentração de Poços Tubulares na Zona Urbana de Londrina - PR e Implicações Ambientais**. ACTA Geográfica, Boa Vista, v.6, n.13, p.77-92, set./dez. 2012.

ARAUJO, R. S. **Micro Bacia do Ribeirão Cambé-Londrina-PR: Levantamento Ambiental Utilizando Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. Dissertação – Programa de Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 140 p. 2004.

BRASIL. - Lei Federal 9.433 de 8 de Janeiro de 1997. **Política e Sistema Nacional de Recursos Hídricos – “Lei das águas”**. MMA/SRH – Movimento de Cidadania pelas Águas. Brasília, 1997.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford: Oxisford University Press. New York, 333 p. 1998.

CÂMARA, Gilberto et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Rio de Janeiro, 1996.

CELLIGOI, A. **Recursos hídricos subterrâneos da Formação Serra Geral em Londrina-PR**. Dissertação (mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP. 83 p. 1993.

CETESB – **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. Disponível em:
<http://solo.cetesb.sp.gov.br/solo/valores-orientadores-para-solo-e-agua-subterranea/>.
Acesso em: 10 out. 2016.

CONAMA (2008) Resolução Conselho nº 396. **Conselho Nacional do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente**. Brasil. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562f>>. Acesso em: 18 ago. 2016.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. **Hidrología Subterránea**. 2. ed. Barcelona: Omega, 1996. 2v.

DEAN, W. . **A Ferro e Fogo, A História e a Devastação da Mata Atlântica Brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

DRISCOLL, F. G. **Groundwater and wells**. 2. Ed. Minnesota, 1987. 1.089 p.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows: User's guide: version 2.0: Jan. 1997**. Worcester, MA: IDRISI Production / Clark University, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **Brasília : Embrapa Produção de informação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FEITOSA, Fernando A. C.. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3ª edição revisada e ampliada. Rio de Janeiro, 2008. 812 p.

FERNANDES, Amélia J. et al. **Estratigrafia dos Derrames de Basaltos da Formação Serra Geral (Ribeirão Preto – SP) Baseada na Geologia Física, Petrografia e Geoquímica**. Revista do Instituto de Geociências– USP. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 10, n. 2, p. 73-99, julho 2010.

Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 4ª ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, FUNASA. 2006.

GUIDICINI, G.; CAMPOS, J. de O. **Notas sobre a morfogênese dos derrames basálticos**. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, v.17, n.1, 1968.

IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **O mercado de orgânicos no Paraná caracterização e tendências**. Disponível em: [http://](http://http://www.iapar.br/arquivos)
<http://www.iapar.br/arquivos>. Acesso em: 10 out. 2016.

IPARDES - INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Informações sobre Censos Demográficos de 1980; 1991; 2000 e 2010; PIB a Preços Correntes (1000R\$) 2010; PIB Per Capita (1,00R\$) de 2002; 2005 e 2010; População Estimada (IBGE) 2012**; Disponível em:
<<http://www.ipardes.pr.gov.br/imp/index.php>>. Acesso em Ago. de 2016. IBGE, 2013.

IRITANI M. A., Ezaki S. **As Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, Caderno de Educação Ambiental**, Instituto Geológico, 2008. 104 p.

LAMARCK, J. B. **Hydrogéologie**. Paris: musée d' Histoire Naturelle (Jardin des Plantes), 1802. 268 p.

LAUDON, K. C.; LAUNDON, J. P. **Sistema de Informação: com internet**. Rio de Janeiro, 1999. 389 p.

MAACK, R. **Breves Notícias Sobre a Geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina**. Arquivos de Biologia e Tecnologia, Curitiba, v.2, 1947.

MANASSES, Fábio; FILHO, Ernani F. R.; BITTENCOURT, André V. L. **Estudo Hidrogeoquímico da Formação Serra Geral na Região Sudoeste do Estado do Paraná**. Águas Subterrâneas, v.21, n.02, p.49-58, 2007.

MELLO, Marcia P. M. **Qualidade da água subterrânea em poços do assentamento Nova Amazônia (RR): influência dos agentes impactantes**. 2009. 63 f. Monografia (Especialização) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista. 2009.

MEDEIROS, G. A.; VENDRAME, I. F.; Bressan, M. **Estudo da poluição de águas subterrâneas em nível local**. São José dos Campos. 2003.

MINEROPAR. **Minerais do Paraná: Atlas Geomorfológico**. Curitiba-PR. 2006.

MOURÃO, Maria Antonieta A. **Implantação de Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas**. 2009. Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/publique/media/proposta_monitoramento_CPRM_2009.pdf>.

Acesso em: 23 out. 2016.

NEVES, Mirna Aparecida. **ANÁLISE INTEGRADA APLICADA À EXPLORAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA BACIA DO RIO JUNDIAÍ (SP)**. 2005. 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia Regional, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE, Universidade Estadual Paulista - Unesp, Rio Claro, 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LONDRINA - PR. **Dados Geográficos**. Disponível:

<http://www.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=40&Itemid=58>. Acesso em: 12 out. 2016.

REBOUÇAS, A. C. **Potencialidade hidrogeológicas dos basaltos da bacia do Paraná no Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA (30: 1978). Anais... v.6, 1978. p. 2.963-2.976.

REBOUÇAS, A.C., BENEDITO, B. TUNDISI, J.G. **Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo : Ed. Escrituras, 1999.

ROCHA, G. C. O solo da bacia do Ribeirão Cambé. **Departamento de Geociência**, Londrina, n. 09, 56 s/d. 1986.

SALVII, R. F.; ARCHELA, E.; ARCHELA, R. S. **Breve descrição da formação do território paranaense**. in: Fresca, T. M.; Salvi, R. F.; Archela, R. S. (org.) Dimensões do espaço paranaense. Londrina: EDUEL, 2002, p.193-210.

SANTOS, Maurício M. CHANG, Maria Rita C. KIANG, Chang H. **Utilização de SIG na Avaliação do Uso da Água do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo**. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, São Luís. 2010.

SANTOS, Maurício M. **Gerenciamento de recursos hídricos Subterrâneos: uso atual e potencial do sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo (SP)**. 2009. 224 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2009.

SIAGAS, **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php>>. Acesso em: 14 ago. 2016.

SOARES, P. C. **O Mesozóico gondwânico no Estado de São Paulo**. Tese (doutorado em geologia). Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro – SP, 1973.

SOUZA, Adalberto A. **Caracterização da Bacia do Rio Iguaçu, a Jusante do Município de Reserva do Iguaçu, como Área de descarga do Aquífero Guarani**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. 2004.

STEVENS, S. S. **On the theory of scales of measurement**. *Science*, 1946.

TUNDISI, José G. **Limnologia no século XXI: perspectivas e desafios**. Instituto Internacional de Limnologia, São Carlos, SP, 24 p., 1999.

VILLAR, Pilar Carolina. **Gestão das águas subterrâneas e o Aquífero Guarani: desafios e avanços**. In: V ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, Florianópolis, 2010. Anais...Florianópolis, 2010. 13 p. P 1-13.

WALTON, W. **Groundwater Resource Evaluation**. New York: McGraw Hill, 1970. 664p.