

# ANÁLISE DAS RESERVAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQÜÍFERO SERRA GERAL EM LONDRINA: RECARGA E CONSUMO

Thiago Rossi Viana<sup>1</sup> & André Celligoi<sup>1</sup>

**Resumo:** O desenvolvimento econômico e populacional verificado na cidade de Londrina desencadeou uma demanda progressiva de água para o abastecimento. Assim, a determinação e o estudo das reservas das águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral, sobre o qual a cidade está inserida, se tornam de vital importância. Em virtude das características litológicas das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, o modo de ocorrência da água subterrânea fica restrito às descontinuidades da rocha, que são estruturas intrínsecas de derrames vulcânicos, bem como fraturamentos e falhamentos de origem tectônica. A reserva reguladora foi calculada em função da análise das curvas de recessão do ribeirão Cafezal na zona urbana de Londrina, observando-se o volume de água infiltrado e a vazão do rio nas longas estiagens. Foi realizada, também, uma análise cadastral que permitiu plotar os poços na zona urbana de Londrina. A partir de dados pluviométricos foi possível estabelecer o total das águas destinadas à recarga, de forma a calcular o volume hídrico sazonal acumulado no meio aquífero, ou seja, a reserva reguladora. Assim sendo, confrontando os números da quantidade da água subterrânea disponível à exploração com a vazão total dos poços cadastrados, pode-se obter a quantidade do volume da reserva reguladora explorado pelos poços cadastrados.

**Abstract:** During the last years Londrina town has suffered an economical and populational growth. So the study and determination of the groundwater reserves of Serra Geral aquifer became a very important matter. Londrina lies on the basaltic rocks of the Serra Geral formation. Due to the lithologic features of these rocks, the circulation and storage of the groundwater are confined to the discontinuities that are concerned to the aquifer zones. Such discontinuities are lithological and structural features of volcanic flows, such as horizontals and verticals fracturing, vesicular structures, and also fracturing or faulting as result of tectonic activities which affected this region. The regulator reserve estimated through the analyses of the recession curves of the Cafezal river means by the infiltrated water and the river discharge. A survey was carried out of yield data of tubular wells in order to confront the wells discharge and the groundwater availability.

---

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Londrina; Caixa Postal 6001; Fone: (43) 371-4316; Fax: (43) 371-4216; e-mail: [celligoi@uel.br](mailto:celligoi@uel.br).

**Palavras-chave:** Aquífero Serra Geral, Curva de recessão, Reserva reguladora.

**KEYWORDS:** Serra Geral aquifer, recession curve, regulator reserve.

## INTRODUÇÃO

A área urbano-industrial da cidade de Londrina localiza-se na porção sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná, região esta caracterizada litologicamente pelas rochas basálticas da Formação Serra Geral (**Figura 1**).

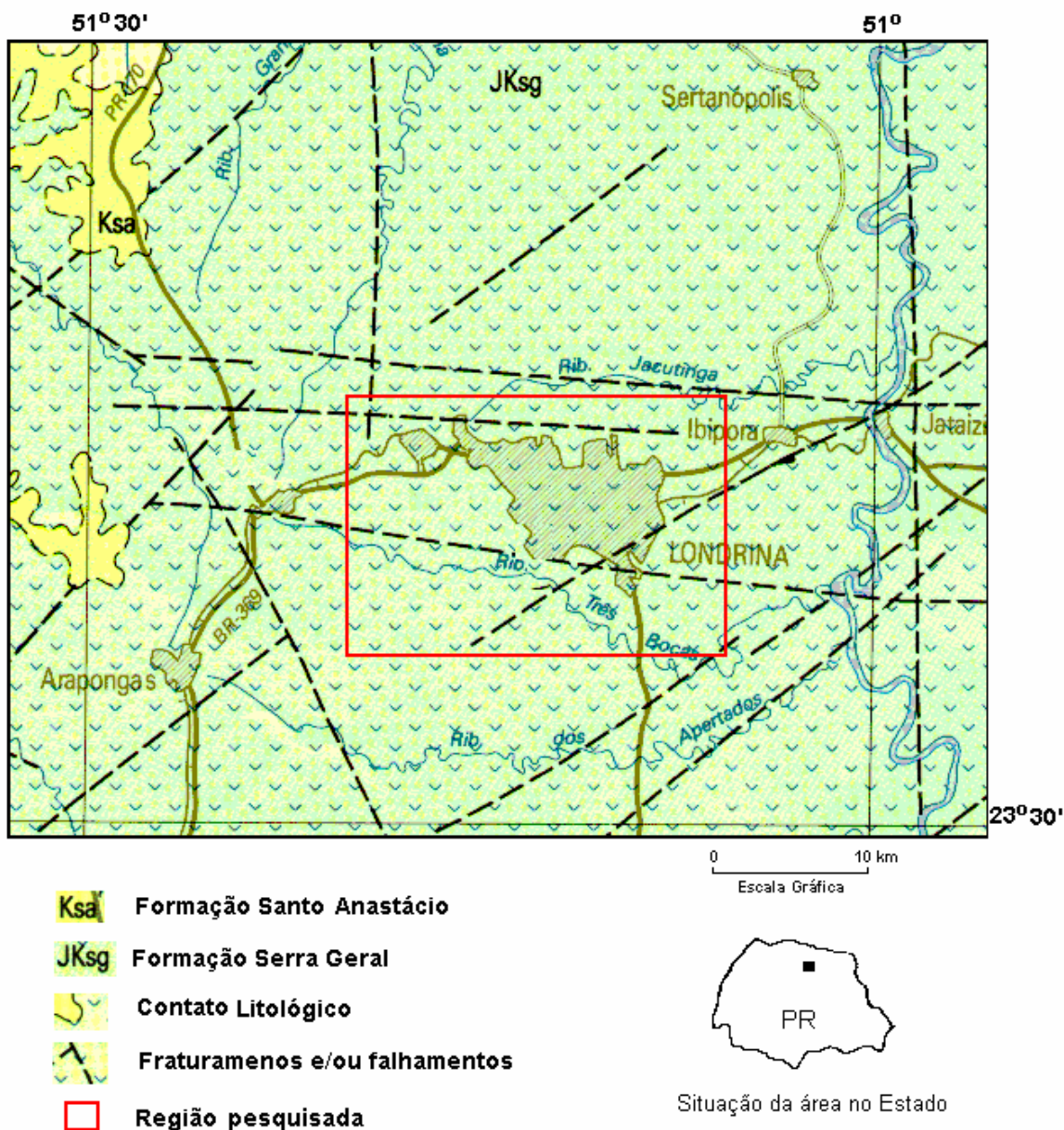


Figura 1 – Mapa geológico regional e de localização da área.

Em função dos aspectos litológicos da Formação Serra Geral, a presença das águas subterrâneas na área fica condicionada à duas formas de ocorrência: o aquífero freático, ou à zona saturada do solo e rochas alteradas e às zonas aquíferas da Formação Serra Geral.

O rio norteador da bacia hidrográfica da região, o rio Tibagi, localizado na porção central do estado do Paraná e de orientação sul – norte, recebe diversos cursos d'água que atravessam a área urbano-industrial de Londrina, como os Ribeirões Lindóia, Cambé, São Domingos, Quati e o parcialmente relacionado como base de dados para esta pesquisa, o Ribeirão Cafezal.

A exploração da água subterrânea do aquífero Serra Geral em Londrina, através da captação por poços tubulares, esta destinada ao abastecimento dos setores industriais, particulares e públicos. A exploração e distribuição de água para a cidade de Londrina são realizadas pela Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, que utiliza 18 poços responsáveis por uma vazão aproximada de 1072.6 m<sup>3</sup>/h, funcionando com regime de 18 horas por dia. A outra parcela dos poços destinam-se ao abastecimento das indústrias, comércio e condomínios residenciais da região, através de 152 unidades com vazão aproximada de 1317 m<sup>3</sup>/h.

A partir de um estudo mais aprofundado das características geológicas e hidrogeológicas, do regime dos rios, principalmente o Ribeirão Cafezal, e da exploração da água subterrânea via poços tubulares será possível estabelecer uma relação consumo e reserva, de modo a alertar, se for o caso, para uma possível escassez do recurso hídrico subterrâneo.

## **OBJETIVOS**

O presente trabalho tem por finalidade principal calcular a reserva de água subterrânea passível de ser explotada do sistema aquífero Serra Geral, dando ênfase na área urbano-industrial da cidade de Londrina – Pr. O cálculo desta reserva permitira avaliar a quantidade de água subterrânea utilizada no período de um ano, que no caso corresponde ao ano de 2001, cuja captação é efetuada através de poços tubulares. Estes poços tubulares estão voltados para o abastecimento dos seguintes setores, ordenados segundo o critério consumo: público, industrial e privado.

A partir da avaliação da reserva reguladora será possível estabelecer uma relação entre a reserva e o consumo, além de possibilitar uma previsão quanto à quantidade de água subterrânea disponível ao abastecimento da população. E ainda, esse levantamento fornecera subsídios para a adoção de uma política de conservação das áreas destinadas à recarga do aquífero local, de modo a assegurar o reabastecimento contínuo das reserva reguladora.

## **METODOLOGIA APLICADA**

Optou-se pela divisão em três distintas etapas sob a qual está fundamentado todo desenvolvimento deste presente trabalho, a seguir:

### **Levantamento da documentação**

Esta etapa consistiu no levantamento da bibliografia disponível sobre a geologia e hidrologia regional, na maior parte voltada para a cidade de Londrina e região. Em virtude do tema proposto por esta pesquisa, a ênfase maior coube à caracterização hidrogeológica da Formação Serra Geral.

Conjuntamente foram realizadas consultas junto à Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA, à Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR e à empresa particular de perfuração de poços tubulares – Água Limpa Poços Artesianos Ltda, a respeito dos índices de pluviometria verificados em Londrina e região, bem como dados cadastrais de poços tubulares.

A base cartográfica utilizada na delimitação da área em questão, assim como das cartas onde estão localizados os poços de captação de água subterrânea foram:

- Folha topográfica SF.22-Y-D-III-4 Londrina, escala 1:50.000.
- Folha topográfica SF.22-Y-D Londrina, escala 1:250.000.

O cadastramento dos poços tubulares relacionados neste trabalho partiu do princípio que necessitavam apresentar determinados dados técnicos, obrigatoriamente: localização geográfica (ou endereço completo), vazão, ano de perfuração e profundidade.

Os dados de pluviometria obtidos permitiram selecionar três períodos distintos, definidos cada um no espaço de tempo de um ano: o ano de maior pluviosidade, o ano de menor, e o ano em que os índices atingiram valores medianos se comparados aos dados extremos das medições. A partir dos anos selecionados foram elaboradas as curvas de recessão de um rio incidente na área em estudo e previamente escolhido, no caso o Ribeirão Cafezal. As curvas de recessão permitirão calcular a quantidade de água das chuvas destinadas a recarga local do sistema aquífero Serra Geral, de acordo com os períodos pré-selecionados.

O ano de 1996 foi o período em que se verificou a menor média pluviométrico e, conseqüentemente, foi o período em que o Ribeirão Cafezal recebeu uma baixa contribuição das águas subterrâneas. A queda da vazão do ribeirão demonstra com maior evidencia a relação da pluviosidade com a disponibilidade das águas subterrâneas, desde que as áreas responsáveis pela recarga do aquífero estejam desprovidas de impermeabilidade.

## **Trabalho de campo**

Basicamente, esta etapa constou da localização de uma parte dos poços cadastrados, via utilização do Sistema Global de Posicionamento (GPS), que em seguida foram plotados em um mapa cuja localização dos mesmos corresponde ao mais próximo da realidade.

## **Análise e interpretação dos dados**

A análise e interpretação dos dados correspondem à última etapa desta pesquisa. Constou na re-interpretação da bibliografia utilizada, dos números conclusivos finais, principalmente os relacionados à capacidade atual de armazenamento das águas do sistema aquífero em questão e à demanda parcial e estimada de água subterrânea para a cidade de Londrina. Por fim, a elaboração do texto final do presente trabalho.

## **CONTEXTO GEOLOGICO LOCAL**

### **Litologia**

As rochas basálticas da Formação Serra Geral, sobre a qual está localizada a cidade de Londrina, apresenta, em seu contexto geral, textura microcristalina, estrutura maciça e vesicular e/ou amigdaloidal, bem como intenso fraturamento. Esfoliações esferoidais são características encontradas no basalto, muito embora com maior frequência nos maciços, se comparados ao basalto vesículo – amigdaloidal. Na região, os sucessivos derrames atingem espessuras na ordem de 850 metros, segundo afirma *CELLIGOI* (1993).

Segundo *LEINZ* (1949) e *LEINZ et al.* (1966) na maior espessura da formação foi verificado um total de 39 derrames, com espessuras variando desde dessimétricas até cerca de 100 metros, sendo mais frequentes valores ao redor de 6 a 10 metros. No entanto, os autores ressaltam que o critério utilizado para determinação dos derrames de lava é ainda discutível, pelo fato de terem acontecidos derrames rápidos e sucessivos que, em seu conjunto, comportariam como um único derramamento. *PETRI & FULFARO* (1983) afirmam que os derrames devem ter sido intermitentes e assíncronos.

## **HIDROGEOLOGIA**

Em virtude das características litológicas locais, as águas subterrâneas de Londrina e região estão condicionadas à duas formas de ocorrência: o aquífero freático, ou à zona saturada do solo e rochas alteradas e às zonas aquíferas da Formação Serra Geral.

Neste trabalho serão consideradas somente as águas do aquífero Serra Geral, visto que o aquífero freático não ser explorado por nenhum dos poços relacionados na pesquisa.

O sistema Serra Geral caracteriza-se litologicamente de rochas cristalinas e vulcânicas que formam, em escala regional, a camada confinante do aquífero Botucatu.

Assim sendo, segundo *CELLIGOI* (1993), a ocorrência de água subterrânea na região fica restrita às zonas de descontinuidade das rochas, estando a vazão de cada poço tubular diretamente relacionada ao número e condição de abertura das fraturas atravessadas pelas perfurações.

## **ASPECTOS DA RECARGA**

A cidade de Londrina e região, que em virtude da atuação de um clima úmido e da presença de um espesso manto intemperizado, apresenta as áreas de recarga e descarga extremamente vinculadas à topografia, e especificamente a recarga que ocorre em locais topograficamente mais elevados.

Entretanto, *CELLIGOI* (1993) ressalta que somente as áreas desprovidas de impermeabilização e cobertas por vegetação terão capacidade efetiva de recarga, em razão de a cobertura vegetal ter como função básica a proteção contra o impacto das águas pluviais, facilitando a infiltração e minimizando o escoamento superficial.

## **DADOS DE PRODUÇÃO**

A análise dos 170 poços cadastrados revelou uma vazão média estimada de 14,4 m<sup>3</sup>/h. Na distribuição por frequência mostra que 62,7 % dos poços possuem vazões menores que 10 m<sup>3</sup>/h, e que apenas 7,2 % possuem vazões excepcionais, ou seja,  $Q \geq 50$  m<sup>3</sup>/h.

O consumo de água subterrânea na cidade de Londrina destina-se ao abastecimento dos setores industriais, públicos e privados que, respectivamente, exploram aproximadamente 694.7m<sup>3</sup>/h (29 %), 1101m<sup>3</sup>/h (46 %) e 593.2m<sup>3</sup>/h (25 %).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Como visto anteriormente, a área urbano-industrial da cidade de Londrina localiza-se na porção sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná, sobre a qual afloram as rochas basálticas da Formação Serra Geral.

A recarga do aquífero recoberto pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral se processa essencialmente pela infiltração das águas da chuva nas áreas destinadas a recarga do aquífero em questão. Em regiões em que o manto intemperizado apresenta grande espessura, a recarga fica condicionada à locais de elevadas altitudes topográficas. Entretanto, *CELLIGOI* (1993) ressalta que somente as áreas desprovidas de impermeabilização e cobertas por vegetação terão capacidade efetiva de recarga, em razão de a cobertura vegetal ter como função básica a proteção contra o impacto das águas pluviais e minimizar o escoamento superficial.



Assim que as águas pluviais atingem a superfície do terreno, uma parte volta-se ao escoamento superficial, uma outra retorna a atmosfera via evaporação e ainda uma outra parcela infiltra no solo, percolando as rochas até atingir as áreas topograficamente de menor altitude, contribuindo, desta forma, para a formação das drenagens. Segundo *DOMENICO & SCHWARTZ* (1990), o fluxo de base dos rios representa a retirada de água subterrânea do armazenamento, sendo conhecido como recessão de água subterrânea.

No presente trabalho, ficou condicionado como indicador de descarga as águas do Ribeirão Cafezal, localizado ao sul da área estudada (**Figura 2**). A delimitação da área da bacia contribuinte partiu da Estação Fluviométrica Cafezal, localizada próximo à drenagem, e seguiu englobando os afluentes do Ribeirão Cafezal. A localização do curso d' água na área pesquisada e a confiabilidade dos dados foram os critérios adotados na escolha do ribeirão como indicador de descarga.

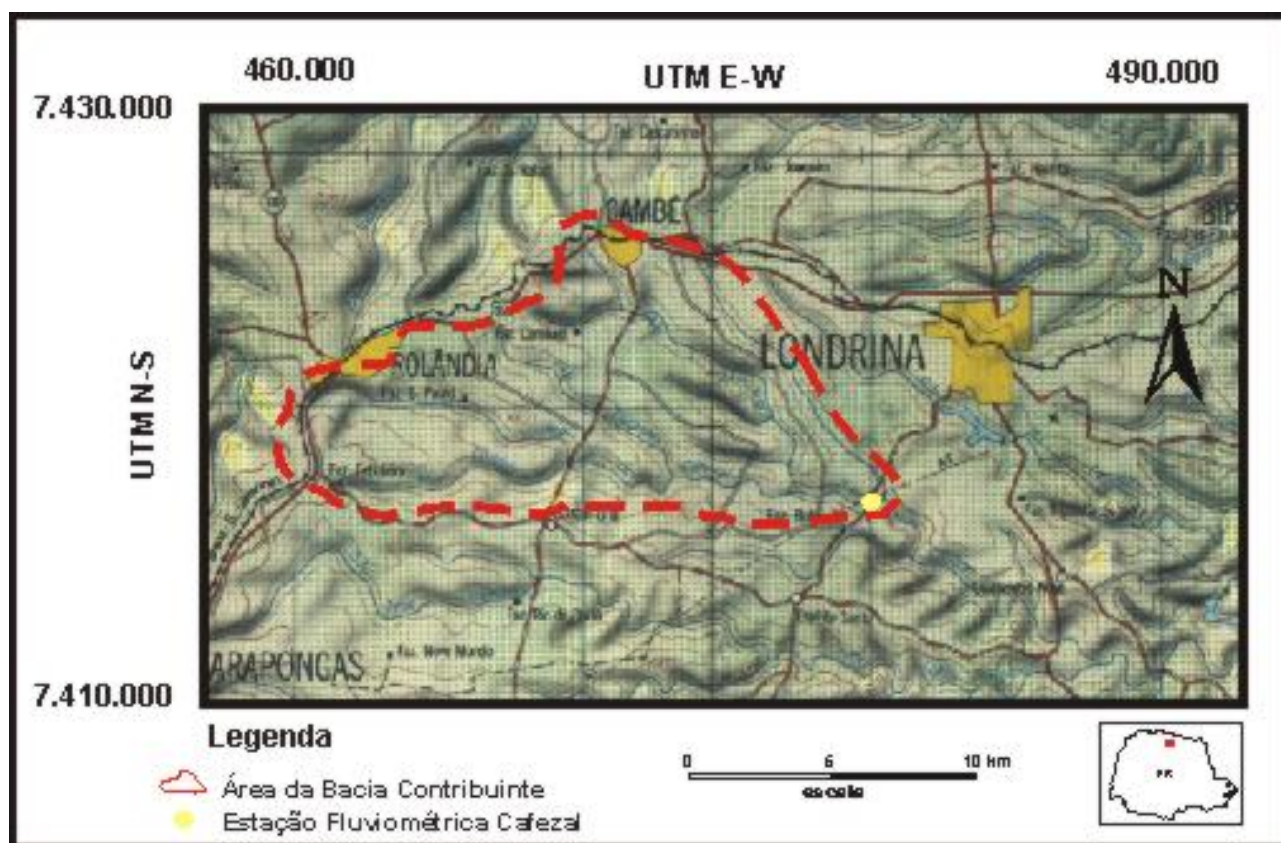


Figura 2 – Delimitação da bacia contribuinte.

Alem disso, o Ribeirão Cafezal fornece os dados para o cálculo da curva de recessão. Partindo da definição de *DOMENICO et al.* (1990), o termo recessão refere-se ao declínio da descarga natural de uma drenagem na ausência de entrada por precipitação e é assumida por leis de decaimento exponencial (**Figura 3**).

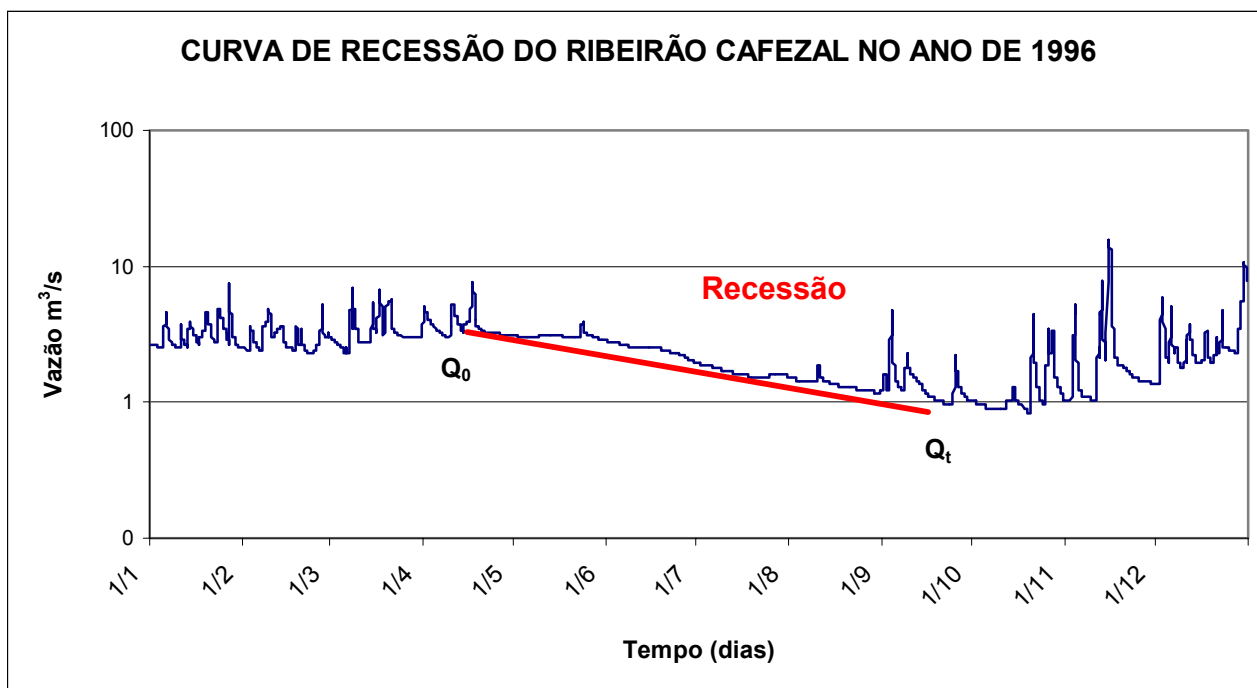


Figura 3 – Gráfico da vazão do ribeirão Cafezal evidenciando o período de recessão.

Desta forma, teremos duas equações:

$$Q = Q_0 e^{-kt}$$

$$V_0 = \frac{Q_0 \cdot 86400}{k}$$

Onde, segundo ROSA FILHO (1993),  $Q_0$  representa a descarga do Ribeirão Cafezal no início da recessão ( $m^3/s$ );  $Q$  = a descarga ( $m^3/s$ ) do Ribeirão Cafezal após um período  $t$  (dias);  $k$  = constante de recessão; e  $V_0$  o volume total infiltrado na área da bacia contribuinte do Ribeirão Cafezal.

A infiltração das águas pluviais nas áreas destinadas à recarga, e a descarga verificada na vazão do Ribeirão Cafezal indicam o balanço hídrico da área. Para estabelecer a quantidade de água destinada à recarga foi selecionado, entre 1990 e 1998, o período de um ano em que foram verificadas as menores médias pluviométricas, no caso, o ano de 1996. O ano de menor índice pluviométrico seria o melhor parâmetro para demonstrar o percentual de água subterrânea captada pelos poços tubulares. A escolha deste período partiu do princípio que cabe a este trabalho, dentro



das suas pequenas pretensões, alertar para a relação de dependência das águas subterrâneas passíveis de exploração com as águas de origem pluviais.

O volume total infiltrado na área,  $V_0$ , corresponde a  $28,992 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Sabendo que a área da bacia contribuinte do Ribeirão Cafezal atinge  $150 \times 10^6 \text{ m}^2$ , podemos, a partir daí, calcular a altura média da água destinada à recarga do sistema aquífero, a seguir:

$$H = \frac{V_0}{A}$$

Sendo assim, a altura média da água infiltrada é de aproximadamente 0,193 metros, ou 193 milímetros.

A partir dos dados referentes à área responsável pela recarga do aquífero e ao volume infiltrado torna-se possível o cálculo da reserva reguladora, que no presente trabalho delimita-se ao aquífero Serra Geral localizado sob a cidade de Londrina e áreas no entorno. A delimitação da área para o cálculo da reserva reguladora seguiu os divisores de água que, de uma certa forma, circundassem a maioria dos poços tubulares localizados na cidade de Londrina. Daí a presença na área, ou próximo dela, de algumas cidades vizinhas, como Cambé, Ibiporã e Rolândia. A utilização dos divisores de água como limites para a definição da área do aquífero local é explicada pela sua função de servir como delimitadores das áreas responsáveis pela recarga imediata do sistema aquífero local (**Figura 4**), uma vez que a recarga é direta, contribuindo para a formação das drenagens próximas, assim como para a constituição da reserva reguladora local.

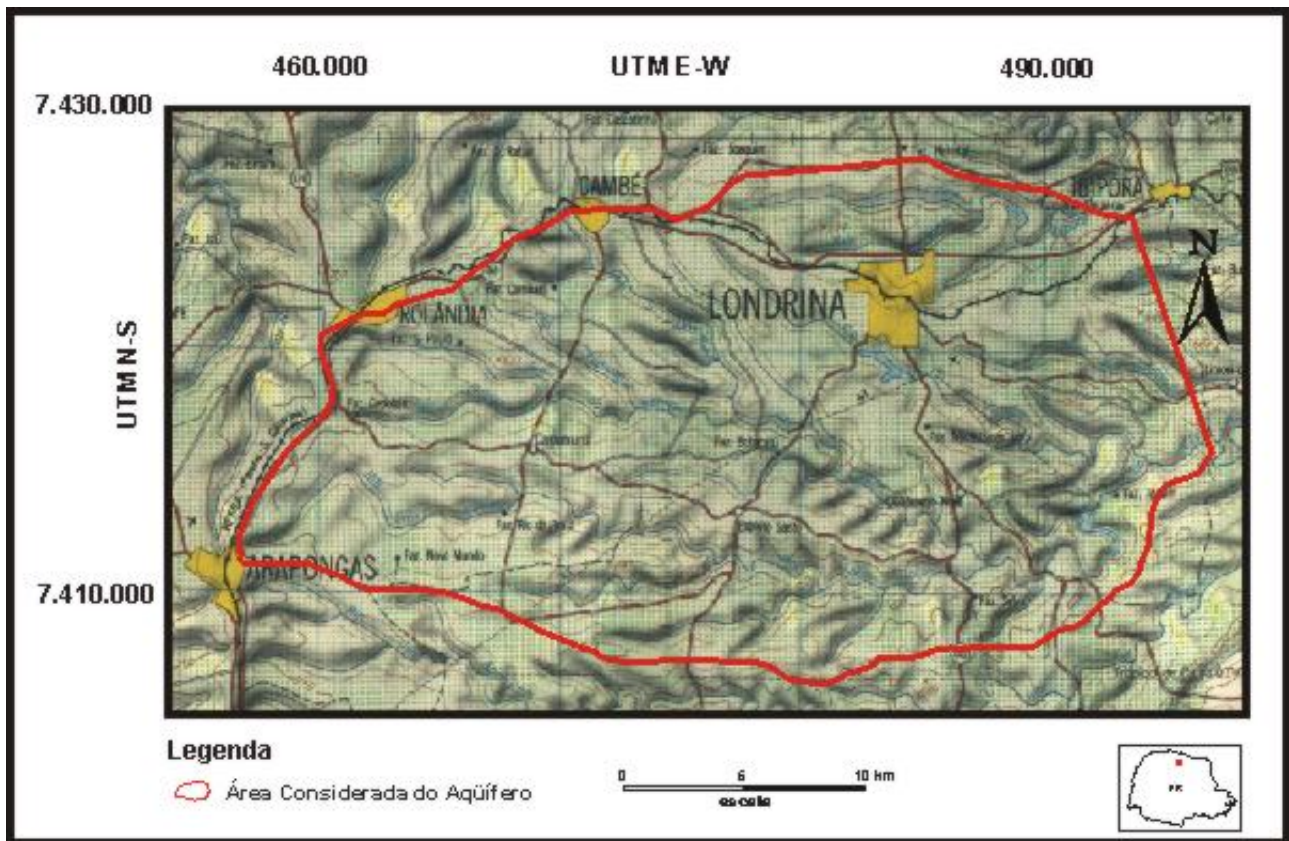


Figura 4 – Delimitação da área do aquífero considerada.

Por apresentar estas variações concatenadas das suas funções, a área demarcada apresentou-se como uma fonte de informações, que foram selecionadas e utilizadas como base de dados para este trabalho. A reserva reguladora pode ser definida segundo COSTA (1998), como o “*volume hídrico acumulado em meio aquífero, em função da porosidade eficaz ou do coeficiente de armazenamento e variável anualmente em decorrência dos suportes sazonais de água superficial, do escoamento subterrâneo e dos exutórios*”.

A reserva reguladora  $R_r$  pode ser calculada a partir da fórmula:

$$R_r = A_c \cdot H_m$$

Sendo  $A_c$  a área de ocorrência do aquífero na região de Londrina e  $H_m$  a restituição média referente à área do aquífero, temos que a reserva reguladora atinge um volume total aproximado passível de ser explorado por poços tubulares de  $66 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

A partir do cálculo da reserva de água subterrânea do sistema aquífero Serra Geral foi possível estabelecer a cota explorada pelos poços tubulares relacionados para esta pesquisa. Desta forma, os poços cadastrados na região estudada, que atingiram no ano de 2001 uma vazão total de  $15,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , captaram um volume aproximado de 14.8% do total da água subterrânea correspondente à reserva reguladora do sistema aquífero Serra Geral. Para o cálculo da vazão dos poços foi considerado como produção diária o período de 18 horas.

Cabe ressaltar que determinadas áreas estão sujeitas a uma utilização maior do volume da reserva reguladora, em virtude, principalmente, da maior concentração de poços na área e, conseqüentemente, do maior volume explotado pelos mesmos. Outro condicionante relevante está relacionado à intensa impermeabilização verificada na área, que, como já foi dito, impossibilita a percolação das águas pluviais destinadas à recarga do aquífero Serra Geral.

## CONCLUSÕES

A área urbano-industrial da cidade de Londrina localiza-se na porção sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná, onde localmente afloram as rochas basálticas da Formação Serra Geral. Em virtude de suas características litológicas, o modo de ocorrência das águas subterrâneas fica restrito às descontinuidades das rochas.

O cálculo da reserva reguladora é estabelecido a partir do volume hídrico acumulado em meio aquífero, decorrente da infiltração das águas pluviais. A exploração de água subterrânea por poços tubulares demonstrou que uma parcela considerável da reserva reguladora está sendo explorada, com a participação dos setores ordenados de acordo com o consumo, público, industrial, privado.

Este fato demonstra a necessidade de atentar para algumas medidas que propiciem a perpetuação da água subterrânea como fonte de abastecimento da população. A manutenção das áreas destinadas à recarga do sistema aquífero local, ou seja, áreas topograficamente elevadas desprovidas de impermeabilização e ocupadas por cobertura vegetal e, também, do uso racional da água subterrânea disponível, são algumas medidas que auxiliam as reservas reguladoras a prolongarem sua função como fonte de água subterrânea propicia ao abastecimento da população.

No entanto, cabe ressaltar que a infiltração das águas pluviais na área demarcada partiu do princípio que a mesma apresenta uma cobertura homogênea, permeável, que uniformiza a percolação das águas pluviais. Assim sendo, caberia para uma pesquisa futura a seleção das áreas segundo os critérios de uso e ocupação do solo, de modo a estabelecer quais os locais desprovidos de impermeabilização e, conseqüentemente, atuantes como áreas de recarga do aquífero local. Desta forma seria possível definir, com mais exatidão, o total das águas subterrâneas destinadas à constituir a reserva reguladora do sistema aquífero Serra Geral.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CELLIGOI, A.. **Recursos hídricos subterrâneos da formação Serra Geral na cidade de Londrina – Pr.** São Paulo, 1993. Dissertação (mestrado).
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANA – SANEPAR. **Cadastro geral de poços tubulares.**
- COSTA, W. D. **Avaliação de reservas, potencialidade e disponibilidade de aquíferos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, (10.: 1998: São Paulo), Anais... São Paulo, ABAS, 1998. CD-ROM.
- DOMENICO, P. A. & SCHWARTZ, F. W. **Physical and Chemical Hydrogeology.** John Wiley & Sons, Singapore, 1990. p. 824.
- LEINZ, V..\_ **Contribuição a geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil.** Bol. Fac. Filos. Ciências e Letras, USP (geol. 5), São Paulo, 1949.
- LEINZ, V.; BARTORELLI, G.; SADOWSKI, G. R. *Et al.* **Sobre o comportamento espacial do trapp basáltico da bacia do Paraná.** Bol. Sol. Bras. Geol. São Paulo, 1966. v. 15.
- PARANÁ (Estado). SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL - SUDERHSA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Paraná. **Cadastro geral de poços profundos.**
- PETRI, S. ; FÚLFARO, V. J.. **Geologia do Brasil.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1983, ed. 5.
- ROSA FILHO, E. F. Caracterização da depleção de um aquífero através do coeficiente de descarga,  $\alpha$ , de Maillet. **Boletim Paranaense de Geociências.** UFPR, 1993. v. 41, p. 125-144.