

CONOTAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DOS LINEAMENTOS ESTRUTURAIS E-W NA REGIÃO DE LONDRINA - PR

André Celligoi¹ e Uriel Duarte²

RESUMO

Devido às características litológicas das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, sobre as quais a cidade de Londrina se localiza, a circulação e armazenamento da água subterrânea ficam restritos às descontinuidades das rochas, que se constituem nas zonas aquíferas. Foi realizada uma análise cadastral, na qual poços tubulares e seus dados de produção foram plotados em um mapa, a fim de obter-se um quadro geral da disposição dos mesmos e avaliação da tendência para as vazões e capacidades específicas na área. A distribuição de poços e seus respectivos parâmetros de produção indicou que diversos destes, quando locados junto aos grandes lineamentos estruturais, possuem vazões de até 140 m³/h, enquanto que a média por poço nessa região é de 17,5 m³/h. Evidenciou-se, assim, que os poços locados mediante estudos e critérios hidrogeológicos podem possuir características de produção mais efetivas do que os demais. Mediante os resultados obtidos, foi possível o estabelecimento de áreas apropriadas para a locação de poços tubulares profundos nas rochas da Formação Serra Geral em Londrina.

I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Londrina - PR localiza-se geologicamente sobre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, abrangendo diversos distritos e formando o maior centro urbano e industrial do norte do Estado do Paraná. O desenvolvimento econômico e populacional desencadeou uma demanda progressiva de água para o consumo doméstico e industrial, já insuficiente atualmente, em termos de quantidade. Dessa forma, o aproveitamento da água subterrânea na cidade de Londrina, durante os últimos anos, tem sido cada vez maior como fonte complementar no sistema de abastecimento, tanto pelo setor industrial, quanto por particulares, incluindo entre outros, condomínios residenciais e atividades ligadas ao comércio.

Os poços tubulares na cidade de Londrina, que são explorados pela companhia distribuidora, contribuem com cerca de 17% do volume de água distribuída para a cidade, através de 16 unidades responsáveis por uma vazão aproximada de 937 m³/h, funcionando com regime de 20 hs. por dia. Nestes números não estão inclusos os poços de particulares, os quais abastecem a maior parte das indústrias, comércio e condomínios residenciais da região. Estimando-se este valor em 923 m³/h, através de 91 poços tubulares profundos.

É objetivo deste trabalho uma avaliação da locação dos poços produtivos de abastecimento no sistema aquífero Serra Geral na região urbana de Londrina e zona de expansão. Portanto, essa avaliação resultará na delimitação das zonas principais de fluxo subterrâneo e definição na metodologia na locação de poços, com base nos levantamentos de dados e bibliografia disponível.

Foi realizado um cadastramento, que compreendeu a localização de poços tubulares, tendo por finalidade a obtenção dos dados técnico-construtivos de cada obra, principalmente os de localização geográfica, profundidade, vazão, níveis d'água, ano de perfuração, entradas d'água, perfil geológico, entre outros.

Fotointerpretações foram feitas com base nas análises de fotografias aéreas da região de Londrina, enfocando-se os tipos fotolitológicos presentes gerados por possíveis feições

¹ Prof. do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina - PR

² Prof. do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

geomorfológicas distinguíveis na escala, bem como alinhamentos de relevo e de drenagens, estas evidenciando possíveis traços de fraturas e/ou falhamentos, bem como o levantamento das estruturas em campo.

II - QUADRO GEOLÓGICO

A cidade de Londrina localiza-se, em sua totalidade, sobre as rochas basálticas da Formação Serra Geral (FIGURA 1). Tais rochas apresentam, via de regra, textura microcristalina, estrutura maciça e vesicular e/ou amigdaloidal, bem como intenso fraturamento. Esfoliações esferoidais são características marcantes dos basaltos, tanto maciços, quanto vesico-amigdaloidais, embora sejam mais raras nestes últimos. São observadas disjunções colunares em algumas localidades, geralmente nos termos maciços. Na região a espessura da unidade situa-se em torno de 850 m representados pelos sucessivos derrames.

Estruturalmente destacam-se a presença de fraturas e/ou falhamentos regionalizados com direções predominantes NE-SW e NW-SE, principalmente, as quais podem constituir falhas simples ou extensas zonas de falhas. Segundo ZALÁN *et al.* (1987), estes dois grupos de elementos tectônicos são zonas de fraqueza antigas que foram recorrentemente ativas durante a evolução da Bacia. O mesmo autor confirma, também, a existência de um importante 3º grupo de lineamentos, com orientação E-W.

Através de observações de campo como diaclasamentos, estruturas vesiculares e amigdaloidais, bem como brechas vulcânicas e intercalações de arenitos, LEINZ *et al.* (1966) deduziram o número de derrames e a extensão lateral dos mesmos, tendo aqueles espessuras variando desde decimétricas até cerca de 100 m, sendo mais frequentes valores ao redor de 6 a 10 m, num total de até 39 derrames na maior espessura da Formação.

Todavia, os mesmos autores ressaltam que os derrames não são contínuos e o critério até então adotado para a determinação do número dos derrames de lava é ainda discutível, principalmente pelo fato de poderem acontecer derrames rápidos e sucessivos que se comportariam, eventualmente em seu conjunto, como uma única corrida de lava.

Segundo MELFI *et al.* (1988), as suites vulcânicas são essencialmente subhorizontais, com uma inclinação média de cerca de 5° em direção ao interior da Bacia. Entretanto, os fluxos basais podem mostrar inclinações excepcionalmente altas relacionadas à topografia irregular do embasamento.

O processamento e contagem dos pólos dos planos de fratura revelou 4 famílias de juntas, todas subverticais, com atitudes predominantes: N-S, N45°W, N50°E e N83°E. Esta última, para fins de interpretação geotectônica, será considerada como tendo direção E-W. As 3 últimas coincidem com os padrões tectônicos regionais descritos por ZALÁN *et al.* (1987).

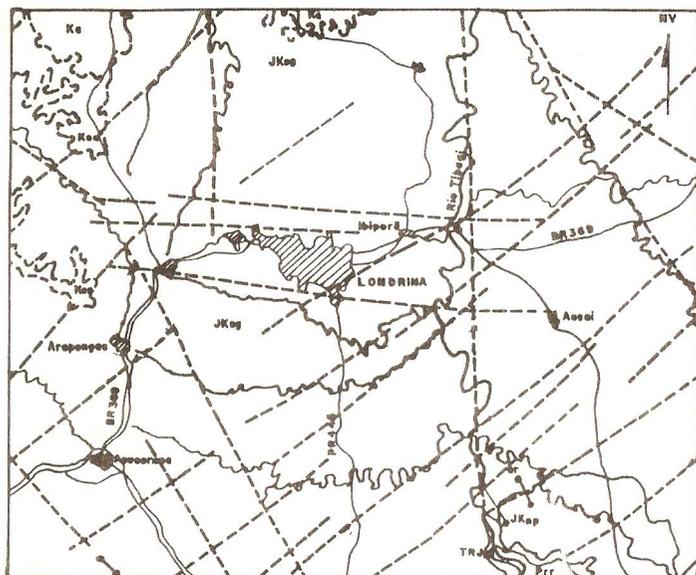
Fraturas subhorizontais também foram observadas, sendo estas características de topo e base dos derrames, podendo ser resultado do resfriamento das corridas de lavas, ou, também, constituindo-se em juntas de alívio de carga por erosão das rochas sobrejacentes.

III - HIDROGEOLOGIA

III. 1 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O MODO DE OCORRÊNCIA

Em escala regional, as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral constituem a camada confinante do aquífero Botucatu, bem como o substrato rochoso aonde se acumulam as águas provindas da cobertura sedimentar do Grupo Baurú.

Ao contrário dos sistemas aquíferos sedimentares, os quais possuem uma certa homogeneidade física, o sistema Serra Geral, pelas suas características litológicas de rochas



CONVENÇÕES

- cidades
- vias de acesso
- drenagem

UNIDADES

- Ke Formação Adamantina
- Ksa Formação Santo Anastácio
- JKag Formação Serra Geral
- JKnp membro nova prata
- TRJpb Formações Pirambóia e Botucatu
- Prr Formação Rio do Rasto

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- contato inferido
- contato definido
- falha ou fratura inferidas



FIGURA I - MAPA GEOLÓGICO
(fonte: MINEROPAR 1989)

cristalinas, se constitui em um meio aquífero de condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas (REBOUÇAS, 1978).

Dessa forma, o modo de ocorrência da água subterrânea fica restrito às zonas de descontinuidade das rochas, sendo a vazão obtida em cada poço tubular, relacionada ao número e a condição de abertura das fraturas atravessadas pelas perfurações.

III. 2 - CONDICIONANTES HIDROGEOLÓGICOS EM LONDRINA

III. 2. 1 - Litológicos

Embora consideradas muitas vezes indiscriminadamente como rochas cristalinas, as suites vulcânicas da Formação Serra Geral possuem diversas características litológico-estruturais que as distinguem hidrogeologicamente dos demais meios fraturados, tanto ígneas plutônicas, quanto metamórficas em geral.

No topo de derrame, mais especificamente nas estruturas vesiculares e amigdaloidais, a permeabilidade depende da disposição espacial dos vacúolos. Quando os mesmos são interconectados por fraturas, os resultados podem ser excelentes. A percolação de água, junto aos fraturamentos verticais, vai alimentar as diáclases horizontais da porção inferior do derrame. Estas, no entanto, não possuem, frequentemente, uma circulação de água muito efetiva, devido à presença de materiais de alteração junto aos planos de fratura.

Todo esse sistema de fluxo, todavia, pode ser consideravelmente modificado por intermédio de estruturas tectônicas rúpteis regionais, como fraturamentos e falhamentos, bem como intrusões magmáticas - diques e sills, os quais podem alterar as condições hidrogeológicas originais.

Um outro fator importante no condicionamento hidrogeológico das rochas vulcânicas, mais especificamente da Formação Serra Geral, é a verificação do sentido do derrame do fluxo de lavas. FREEZE & CHERRY (1979) afirmam que a direção da maior permeabilidade hidráulica é paralela aos fluxos de lava e que dentro do fluxo, tal permeabilidade é normalmente maior na direção da inclinação original mais íngreme dos fluxos de lava. LEINZ (1949), MAACK (1981) e MELFI *et al.* (1988), entre outros, consideram uma inclinação dos derrames, a nível regional, em cerca de 5° em direção ao interior da Bacia. Assim sendo, é de se esperar permeabilidades hidráulicas maiores na direção E-W para a região de Londrina, no que diz respeito ao fluxo de água subterrânea através das descontinuidades intra e interderrames.

III. 2. 2 - Estruturais

Como citado anteriormente, as rochas vulcânicas, assim como outros tipos cristalinos, constituem um meio heterogêneo onde a circulação de água é condicionada às descontinuidades físicas das rochas.

LADEIRA (1985), estudando feições estruturais ligadas à prospecção de água subterrânea, determinou os seguintes conceitos:

- a) As fraturas e falhas tratativas podem fornecer grandes vazões de água.
- b) As de cisalhamento, enquanto sob compressão, com ou sem movimento moderado, são fechadas e conterão pouca quantidade de água.
- c) As de cisalhamento, que possuírem zonas de cataclase ou milonitização, poderão produzir um volume moderado de água.

Durante a fase de campo realizada para este trabalho, foram identificadas 5 famílias principais de juntas, com atitudes N-S, N43°W, N50°E e N83°E (a qual será tratada aqui como E-W), subverticais, tendo as tres últimas uma grande densidade de pontos, e uma última horizontal,

provavelmente ligada a processos de resfriamento de lavas, ou alívio de carga por erosão (FIGURAS 2 e 3).

As famílias de fraturas com orientações N43°W e N50°E, identificadas no campo, possuem algumas vezes a presença de *slickensides*, os quais, segundo LADEIRA (1985), são típicos de fraturas de cisalhamento, enquanto que as com orientação E-W encontram-se diversas vezes preenchidas por calcita, quartzo e zeólitas, com cristais crescendo perpendicularmente à superfície dos planos de fraturas. Tais feições sugerem que as mesmas sejam de extensão, ou tração.

IV - CADASTRAMENTO DOS POÇOS

Foi realizada uma análise cadastral de mais de 200 poços na zona urbanizada e de expansão, dos quais somente 107 tiveram condições de serem devidamente localizados e utilizados. Neste cadastramento foram observados os dados dos poços (profundidade total e profundidade de revestimento), as características do aquífero (entradas d'água e nível estático) e os dados de produção (vazão e capacidade específica).

Dos 107 poços cadastrados, 16 são de propriedade da SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná - e utilizados no abastecimento público e o restante, de particulares, é destinado ao uso industrial, com 25 poços e doméstico e comercial, com 51 e 15 poços respectivamente.

A análise cadastral de 103 poços tubulares revelou uma vazão (Q) média de 17,7 m³/h. Entretanto, 51% dos poços possuem vazões menores que 10 m³/h, e que apenas 10,3% possuem vazões excepcionais, ou seja, Q ≥ 50 m³/h, sendo que 8,7 % do total são considerados secos (Q < 1 m³/h).

Assim como as vazões encontradas, os dados de capacidades específicas (Q/s) para a região de Londrina são muito variáveis, com média de 1,16 m³/h.m, com valor máximo de 16,92 m³/h.m, ligeiramente inferiores aos relacionados por HAUSMANN em 1966 (REBOUÇAS, 1976) para poços localizados em rochas basálticas do Rio Grande do Sul e aos de REBOUÇAS & LASTORIA (1980) para a região de Campo Grande -MS.

V - CONOTAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DOS LINEAMENTOS E-W

No que diz respeito aos lineamentos estruturais, os poços para o abastecimento público são locados segundo a proximidade das famílias de juntas com orientações NW.

Os dados contidos nas tabelas 10 e 11 mostram as variações dos valores de vazões e de capacidades específicas dos poços a partir da direção dos planos de fraturamentos aos quais estão associados:

DIREÇÃO	Q _{med}	Q _{max}	Q _{min}
NW	33,5	48,5	3,9
NE	31,2	50,0	15,5
EW	79,1	140,0	50,0

TABELA 1 - VAZÕES DOS POÇOS SEGUNDO OS ALINHAMENTOS

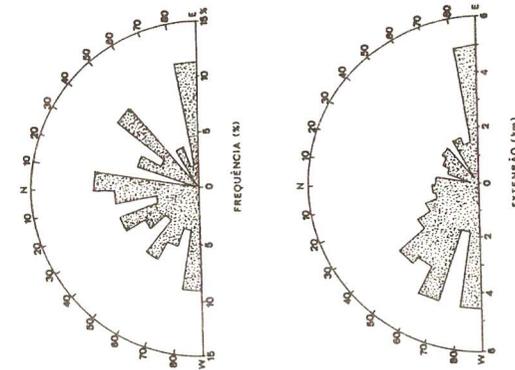


FIGURA 3 - DIAGRAMAS DE ROSETA SEGUNDO A FREQUÊNCIA E EXTENSÃO DOS LINEAMENTOS

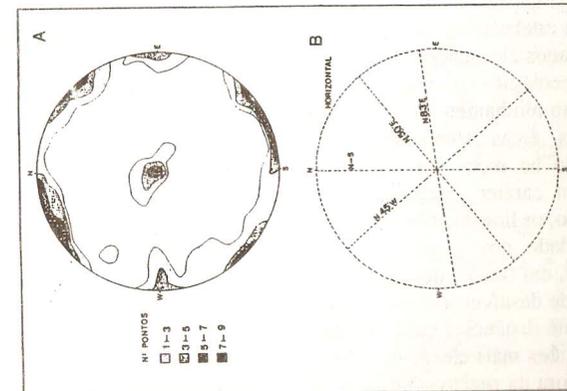


FIGURA 2 - DIAGRAMAS SCHMIDT-LAMBERT HEMISFÉRIO INFERIOR DE (A) FREQUÊNCIA DE PÓLOS E (B) ATITUDE DAS CONCENTRAÇÕES PRINCIPAIS DAS FAMÍLIAS DE JUNTAS

DIREÇÃO	Q/s _{med}	Q/s _{max}	Q/s _{min}
NW	1,63	3,32	0,07
NE	1,45	3,25	0,47
EW	2,93	8,80	1,21

TABELA 2 - CAPACIDADES ESPECÍFICAS DOS POÇOS SEGUNDO OS ALINHAMENTOS

A análise das tabelas 1 e 2 evidencia que os poços locados junto aos lineamentos estruturais com direção E-W possuem valores significativamente maiores que os demais, tanto no que diz respeito às vazões, quanto às capacidades específicas. Considerações geológicas e hidrogeológicas realizadas anteriormente evidenciam que:

- Evidências de campo, como preenchimento de fraturas com direções E-W por calcita, quartzo e zeólitas, sugerem que as mesmas sejam de tração, ou de extensão. Esse tipo de fraturamento pode armazenar grandes quantidades de água.
- Os lineamentos E-W são os mais extensos na área.
- Os derrames basálticos têm uma inclinação, a nível regional, de cerca de 5° na direção aproximada E-W, com sentido ao interior da Bacia.
- A direção de maior permeabilidade hidráulica é paralela aos fluxos de lava e maior na direção da inclinação regional mais íngreme desses fluxos.

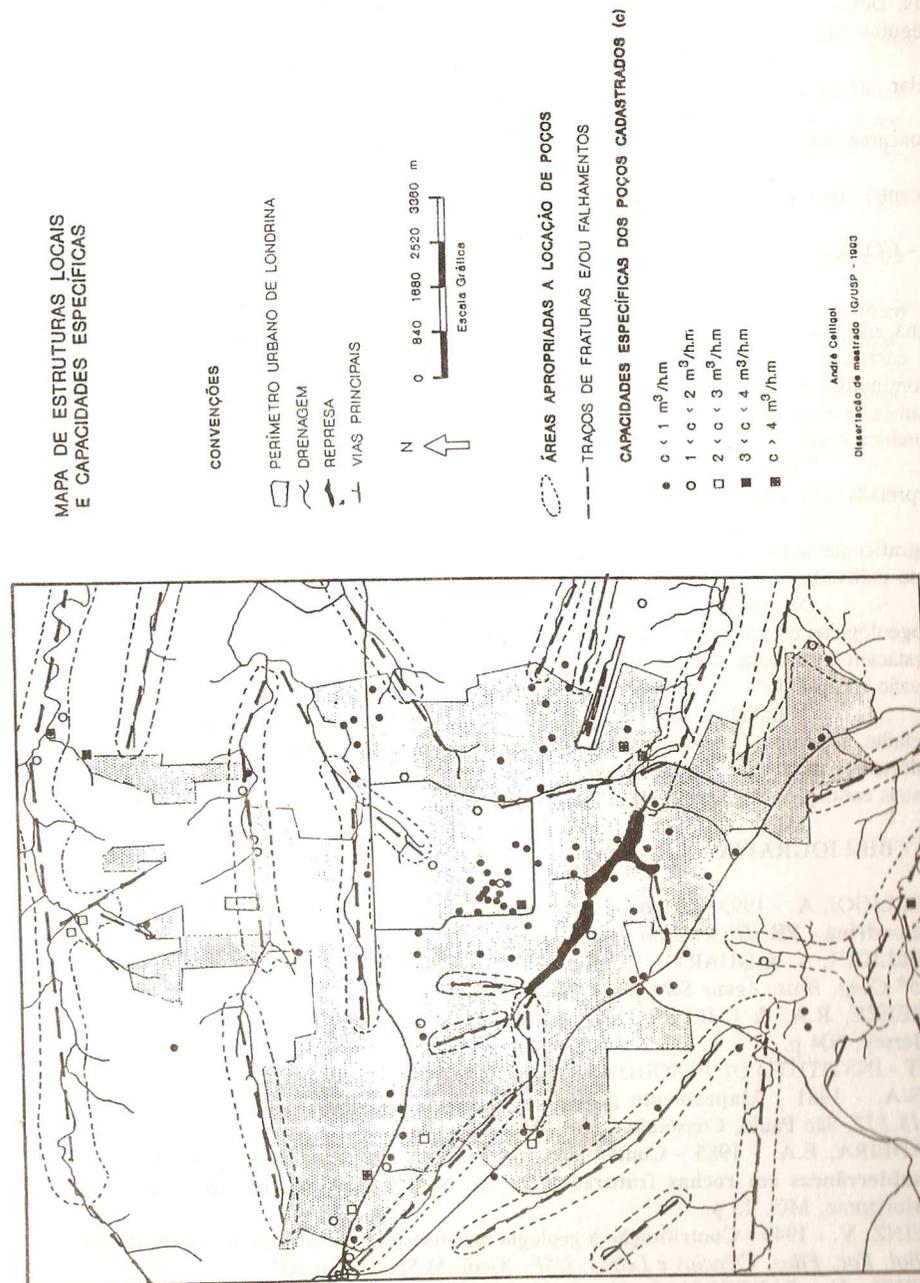
Dessa forma, as vazões excepcionais encontradas nos poços junto aos lineamentos E-W podem ser explicadas pelo fato de que os mesmos estariam na direção paralela aos fluxos de lava. Tais lineamentos, portanto, estariam paralelos à direção de maior permeabilidade hidráulica, favorecendo, assim, a circulação e interconexão dos fluxos de água subterrânea horizontais (CELLIGOI, 1993).

VI - ÁREAS APROPRIADAS À LOCAÇÃO DE POÇOS PROFUNDOS

Foram estabelecidas áreas apropriadas para a locação de poços tubulares profundos, em virtude dos resultados alcançados através dos dados de produtividade dos poços em função dos condicionantes hidrogeológicos. Como critério estrutural destaca-se a identificação da presença de lineamentos ligados ao alinhamento de drenagens, identificados através de fotointerpretações, os quais conotam essas áreas como sendo fraturamentos e/ou falhamentos de importâncias consideráveis. Devido ao modo de ocorrência das águas subterrâneas nesse meio, o critério estrutural assume um caráter essencial no que diz respeito à alta produtividade dos poços. Conforme mencionado, os lineamentos com direção E-W merecem uma consideração especial, dada à elevada produtividade dos poços junto a tais estruturas. Os lineamentos constituem-se, geomorfologicamente, em fundos de vales mais ou menos retilíneos, por ora profundos, chegando a cerca de 80 metros de desnível com o topo dos espigões, e de extensões variáveis, desde algumas centenas de metros, até distâncias quilométricas.

As regiões mais elevadas, adjacentes aos alinhamentos de drenagens, possuem, em diversas localidades fora da região central, coberturas vegetais que conferem a essas regiões boas condições de recarga para as zonas aquíferas, uma vez que a espessura do manto de intemperismo nessa região aumenta na medida em que se caminha para as partes topograficamente mais elevadas.

Embora na região prevaleça uma monotonia litológica bastante acentuada, a identificação das zonas de desgaseificação dos derrames, evicenciados pela presença de estruturas do tipo vesículas e amígdalas, pode se constituir em um bom instrumento de investigação, uma vez que no contato superior de tais zonas podem ocorrer fontes de água, constituindo zonas de descarga



locais. Dessa forma, para a seleção de áreas apropriadas à locação de poços, foram estabelecidos as seguintes prioridades, nesta ordem:

- a) Lineamentos estruturais, preferencialmente os de direção E-W, com vegetação regular nas partes altas adjacentes.
- b) Lineamentos estruturais com direções N-E, N-S e N-W, bem como regiões de entroncamentos dessas fraturas, com vegetação nas partes altas adjacentes.
- c) Lineamentos estruturais em locais desprovidos de vegetação nas partes altas adjacentes, ou com urbanização intensa.

VII - CONCLUSÕES

A cidade de Londrina-PR localiza-se na porção sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná, na qual afloram localmente as rochas vulcânicas basálticas da Formação Serra Geral. Pelas suas características litológicas, o modo de ocorrência das águas subterrâneas fica restrito às descontinuidades das rochas, ligadas a fatores lito-estruturais. Feições litológicas intrínsecas de derrames, como horizontes vesiculares e amigdaloidais, diáclases horizontais de contração magmática e diáclases verticais, podem favorecer a percolação de água nessas rochas.

Trabalhos de fotoanálise geológica e de campo revelaram famílias de juntas interpretadas como sendo de cisalhamento e de tração.

As condições de recarga local são favoráveis, visto que existem diversas áreas topograficamente elevadas desprovidas de pavimentações e ocupadas por vegetações, tanto naturais, quanto cultivadas.

De todos os poços cadastrados, aqueles em que são realizados estudos hidrogeológicos e localizados junto a lineamentos estruturais possuem características de produção que se destacam do restante. Destes, aqueles posicionados junto aos lineamentos E-W possuem valores de vazão e capacidade específica muito superiores aos demais.

Os trabalhos aqui efetuados demonstraram a necessidade de estudos hidrogeológicos de detalhe, tais como, fotointerpretação, geologia estrutural, determinação do número e espessura dos derrames para a locação de poços nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, uma vez que suas condições de armazenamento e circulação de água são extremamente heterogêneas.

VIII - BIBLIOGRAFIA

- CELLIGOI, A. - 1993 - **Recursos hídricos subterrâneos de Formação Serra Geral em Londrina - PR.** *Dissertação de Mestrado.* IG/USP
- CELLIGOI, A. & DUARTE, U. - 1990 - **Hidrogeologia da cidade de Londrina.** *Anais 6º Cong. Bras. Águas Subt.* Porto Alegre. ABAS.
- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. - 1979 - **Groundwater.** *Prentice-Hall inc.*, New Jersey, 604 p.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A. - 1981 - **Mapeamento geológico do bloco SF-22-U (ACS-74).** *Relatório nº 15.377.* São Paulo, Consórcio CESP/IPT.
- LADEIRA, E.A. - 1985 - **Contribuição da geologia estrutural à pesquisa de águas subterrâneas em rochas fraturadas.** *I Simp.Nac.Ag.Subt. em Rochas Frat.*, Belo Horizonte, MG, 23 p.
- LEINZ, V. - 1949 - **Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil.** *Bol. Fac. Filos. Ciências e Letras, USP.* (Geol. 5) São Paulo. 103 p.
- LEINZ, V.; BARTORELLI, G.; SADOWSKI, G. R. *et al.* - 1966 - **Sobre o comportamento espacial do trapp basáltico da bacia do Paraná.** *Bol. Soc. Bras.*

Geol. São Paulo, v. 15. nº 4. p. 79-91.

MAACK, R. - 1968 - **Geografia física do Estado do Paraná.** *Publicação Univ.Fed.Paraná*, Curitiba, 347 p.

MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E. M.; NARDY, A. J. R. - 1988 - **Geological and magmatic aspects of the Paraná basin - an introduction.** In. *The mesozoic flood volcanism of the Paraná basin: petrogenetic and geophysical aspects*, Eds. Piccirillo, E. M. and Melfi, A. J.. IAG/USP. p. 1-13.

REBOUÇAS, A.C. - 1976 - **Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná - análise de pré-viabilidade.** *Tese de livre-docência*, IG/USP, São Paulo.

REBOUÇAS, A.C. - 1978 - **Potencialidades hidrogeológicas dos basaltos da bacia do Paraná no Brasil.** *An. XXX Cong.Bras.Geol.*, Recife, v.6, p.2963-2976.

REBOUÇAS, A. C.; LASTORIA, G. - 1980 - **Potencial hidrogeológico do aquífero basáltico - Campo Grande-MS - Brasil.** *Anais 1º Cong. Bras. Águas Subterrâneas.* Recife. p. 415-419. ABAS.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. de J. *et al.* - 1987 - **Atas III Simp. Sul-Bras. de Geologia.** Curitiba, v.1, p. 441-474.