

ESTRUTURAS ARMAZENADORAS E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO SERRA GERAL EM SÃO PAULO

Luis Eduardo Spiller

Resumo

Vários poços perfurados no interior paulista, na região centro, norte e oeste do estado onde afloram rochas predominantes arenitos da Fm. Adamantina e basaltos da Fm. Serra Geral foi verificada a litologia, profundidade do poço, espessura perfurada em basaltos, estruturas geológicas, teste de vazão do poço e análise física - química da água proveniente de rochas basálticas, a fim de caracterizar a estrutura armazenadora e a qualidade das suas águas.

A partir destes dados pesquisados a mais de 17 anos em várias empresas perfuradoras buscou-se comparar estas águas com a água da formação Botucatu (aquífero Guarani) e evidenciar algumas relações entre as duas formações. A pesquisa também pretende mostrar a importância do aquífero Serra Geral, que devido a sua litologia é desconsiderado e dado pouca importância para a captação de água no abastecimento público, irrigação e outros empreendimentos comerciais.

Palavras Chave: água subterrânea, hidrogeoquímica, estruturas geológicas.

Abstract

Plenty drilled wells in the “paulista “ interior, in the center region, north and west of the state where predominant “ Adamantina Formation “ sandstones and “ Serra Geral Formation “ basalts appear. It was checked the litology, the wells depth, the thickness of the drilled sandstones, in order to characterize the supplying structure and the water qualities. From those researchers of many drilling enterprises it was compared that water to the water of “ Botucatu Formation “ (aquifer Guarani and Adamantina) and it was shown some relations between the formations.

The research also intends to show the importance of Serra Geral aquifer, although its litology it is disconsidered of the importance of water supply to public provision, irrigation and other comercial enterprises.

Key-words: groundwater, hydrogeochemistry, geologic structure.

Geólogo – Pós Graduação Unesp – Rio Claro.

Geominas – Serviços Geológicos e Laboratoriais – Rua Olinda, 1698 – Santo Antonio – Catanduva/SP.

PABX (17) 3521-1747 – e-mail: geominas@ubbi.com.br

1. Introdução

Com base em 80 poços perfurados por varias empresas perfuradoras nos últimos 10 anos captando água de rochas basálticas da Fm. Serra Geral, buscou-se relacionar as variações da composição dos derrames, suas estruturas geológicas, a hidráulica, capacidade armazenadora e a hidroquímica das águas.

Posteriormente foi comparada com algumas características hidrogeológicas da Fm. Adamantina, sobrepostas e da Fm. Botucatu sotoposta para verificar possíveis relações destas águas.

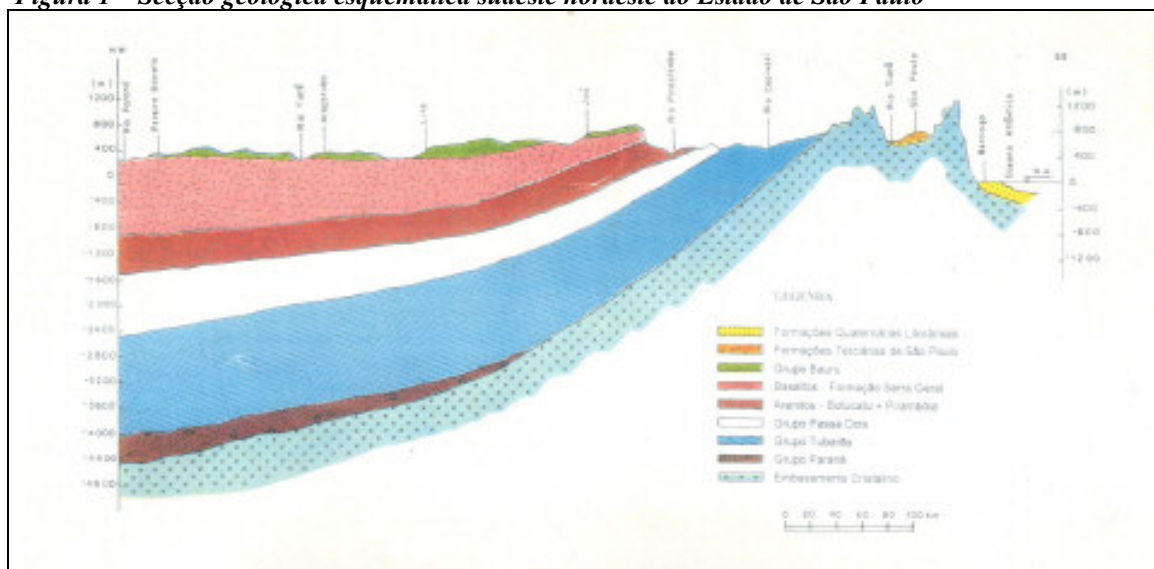
Estes resultados iniciais vêm destacar a importância desta formação geológica e sua contribuição para a captação de águas subterrâneas, esclarecendo algumas condições de perfuração, a identificação da qualidade das águas e estruturas armazenadoras para os perfuradores e usuários.

2. Geologia da Bacia e Estruturas

A região de afloramento das formações Serra Geral e Adamantina no interior do estado de São Paulo está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, uma unidade geotectônica estabelecida sobre a Plataforma Sul-Americana a partir do ordoviciano / siluriano (450 milhões de anos), e tem nesta região sua borda leste, de modo geral com as camadas de sedimentos com declividade para noroeste, no centro da bacia, onde está a calha do Rio Paraná. A constante subsidência dessa bacia, com caráter oscilatório, permitiu a acumulação de grande espessura de sedimentos, lavas basálticas e sills de diabásio, resultando uma espessura total de mais de 5 mil metros.

Devido à inclinação homoclinal das camadas paleozóicas e mesozóicas e vários tipos de estruturas como alinhamentos, arcos, sinclinais e falhas geológicas resultantes da movimentação das placas tectônicas, que culminou no período juro-cretáceo (140 a 70 milhões de anos) na fragmentação do continente Gonduânico e a formação do oceano Atlântico, permitiu em uma estrutura tipo rift , (White;McKenzie - 1989) um extenso derramamento de lava basáltica toleítica atingindo uma área de mais de 1 milhão de km² no interior da bacia, através de estruturas reativadas, onde atualmente situam-se parte dos principais rios tais como: Tietê, Grande, Paranapanema, Paraná, Iguaçu, e outros menores.

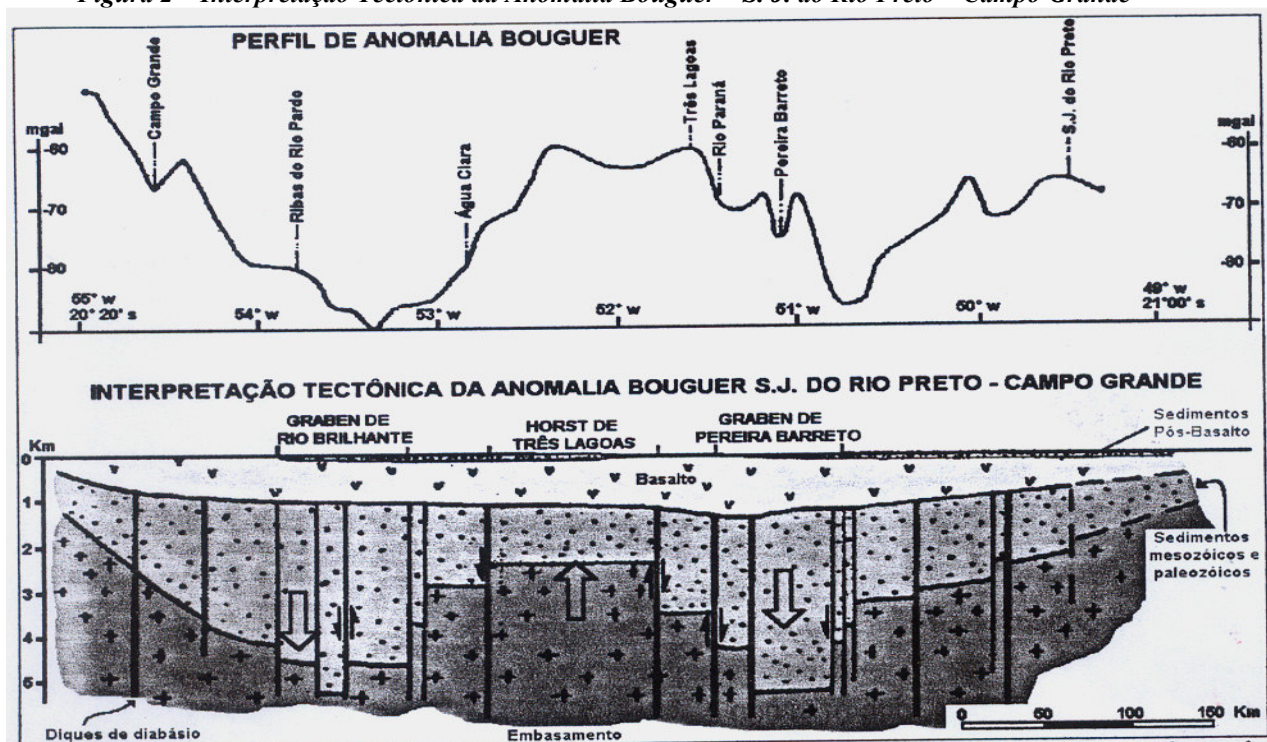
Figura 1 – Secção geológica esquemática sudeste nordeste do Estado de São Paulo



O fenômeno diastrófico manifestou-se por movimentação de antigos falhamentos, no aparecimento de outros, movimentação vertical de blocos de falhas, estruturas locais de dobramentos, flexuramentos, *horsts*, *grabens* e domos. Os arqueamentos marginais à Bacia do Alto Paraná sofreram realçamentos importantes e através de falhas e fraturas de tensão surgiu o magma basáltico, formando diques que foram à via de acesso ao magma basáltico que se extravasou, formando o pacote de lavas sobrepostas. (IPT – 1981)

Estudos para petróleo utilizando métodos geofísicos gravimétricos, resultou no perfil de Anomalia *Bouguer* , com direção E – W, onde fica evidenciado existência das estruturas acima citadas.

Figura 2 – Interpretação Tectônica da Anomalia Bouguer – S. J. do Rio Preto – Campo Grande



A história geológica da bacia do Paraná em São Paulo, desenvolveu-se em grande parte em função das estruturas de maior ordem, com início no paleozóico, comprovado pela presença de sedimentação fossilífera, sendo admitida uma evolução cíclica, caracterizada por sucessões estratigráficas, separadas por descontinuidades regionais. Nesta Bacia podemos distinguir quatro estágios de evolução, os primeiros correspondendo à etapa de estabilização da plataforma, e o último, à etapa de sua reativação tectôno-magmática. (IPT – 1989).

Nas primeiras seqüências se depositaram as formações dos Grupos Paraná e Tubarão em ambiente predominantemente marinho, representado por sedimentos litorâneos, marinhos, glaciais e deltaicos etc., com variações verticais e horizontais de litofaciéis caracterizada pela subsidência da Bacia, com fases de retomada e com ingressões e transgressões marinhas vindas do sul.

No permiano médio e superior inicia a deposição dos sedimentos finos do Grupo Passa Dois, predominantemente pelítica em ambiente aquoso em um mar epicontinental, sem salinidade normal em plataforma epinerítica.

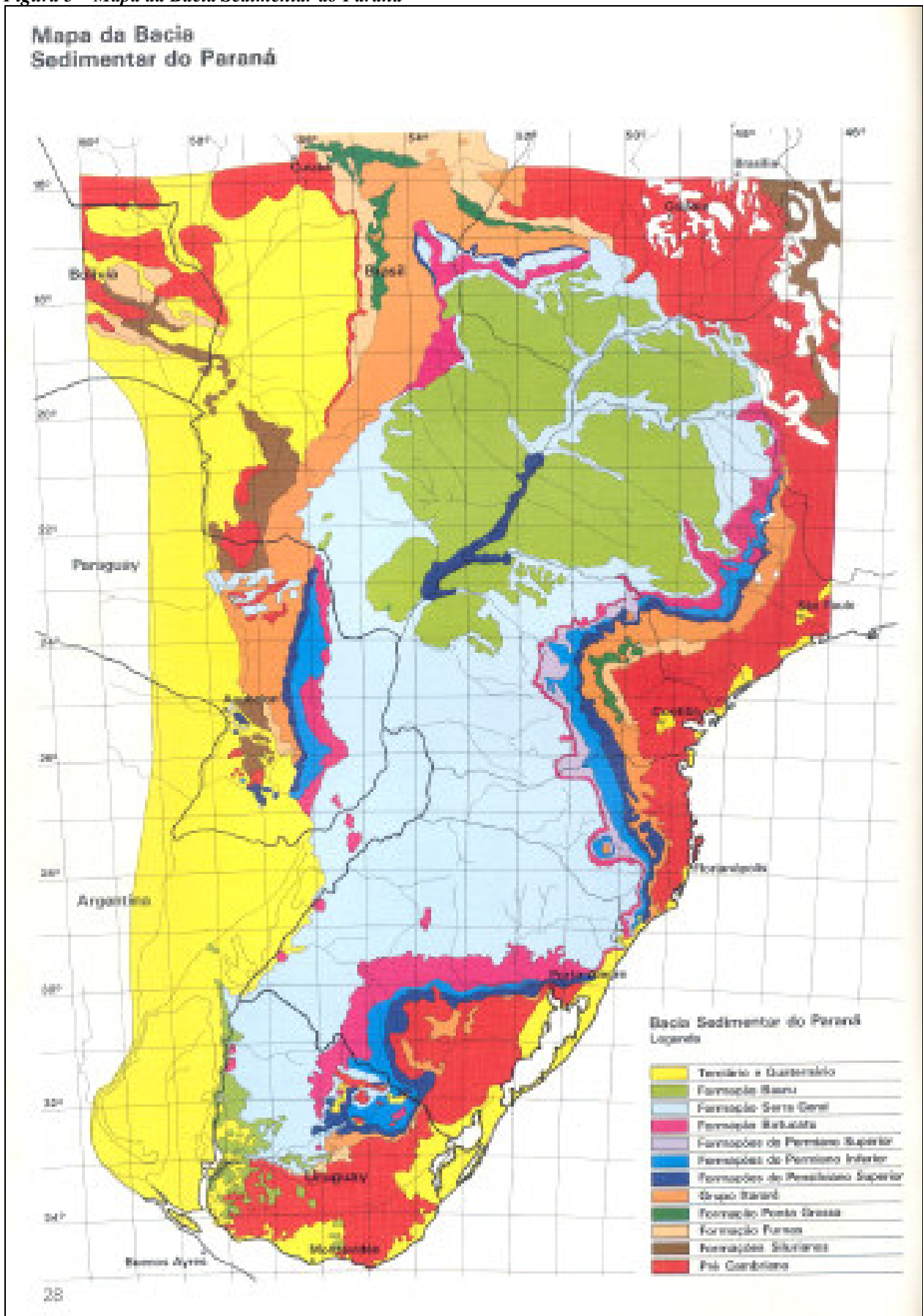
O Arco de Ponta Grossa, principal feição estrutural praticamente dividia a Bacia em duas sub-bacias, inicialmente em condições calmas quando no final do permiano superior inicia-se um comportamento epirogênico da bacia, pondo fim aos fenômenos sedimentares e instalando-se processos erosivos e mudanças bruscas de litologias.

No início do mesozóico, no triássico inferior, parte sul da bacia é afetada por movimentação com falhamentos com descontinuidades e discordâncias a nível regional, começando haver num tipo de sedimentação, que passa a francamente arenosa, assim como a nova compartimentação, com subsidência de duas sub-bacias, que receberiam a sedimentação triássica do Grupo São Bento, representados pela formação Pirambóia, Botucatu e Serra Geral em São Paulo, as duas primeiras precederam à reativação da Plataforma Sul-Americana em ambiente continental úmido, evoluindo inicialmente para um clima francamente desértico.

A formação Botucatu reflete em detalhes o subambientes de um grande deserto climático arenoso, com *ergs* movidos com ventos com direções N a NE, *oueds* e *regs* aluviais e pequenas lagoas em planícies anuviais. Nestas condições paleogeográficas iniciou-se a fragmentação do super continente Gonduano, a partir do final do jurássico, marcando o início da Reativação Wealdeniana, correlacionada aos processos que levaram à abertura do oceano Atlântico sendo a bacia inundada por lavas basálticas.

Três fases foram reconhecidas nesse fenômeno, considerando a natureza e intensidade que se manifestou. No estado de São Paulo a primeira fase do cretáceo inferior Pré-Aptiano, foi a mais intensa correspondendo ao estágio *rift valley*, da ruptura continental, a segunda desenvolveu-se entre o Aptiano e Eoceno, seguindo-se a terceira no restante do Cenozóico.

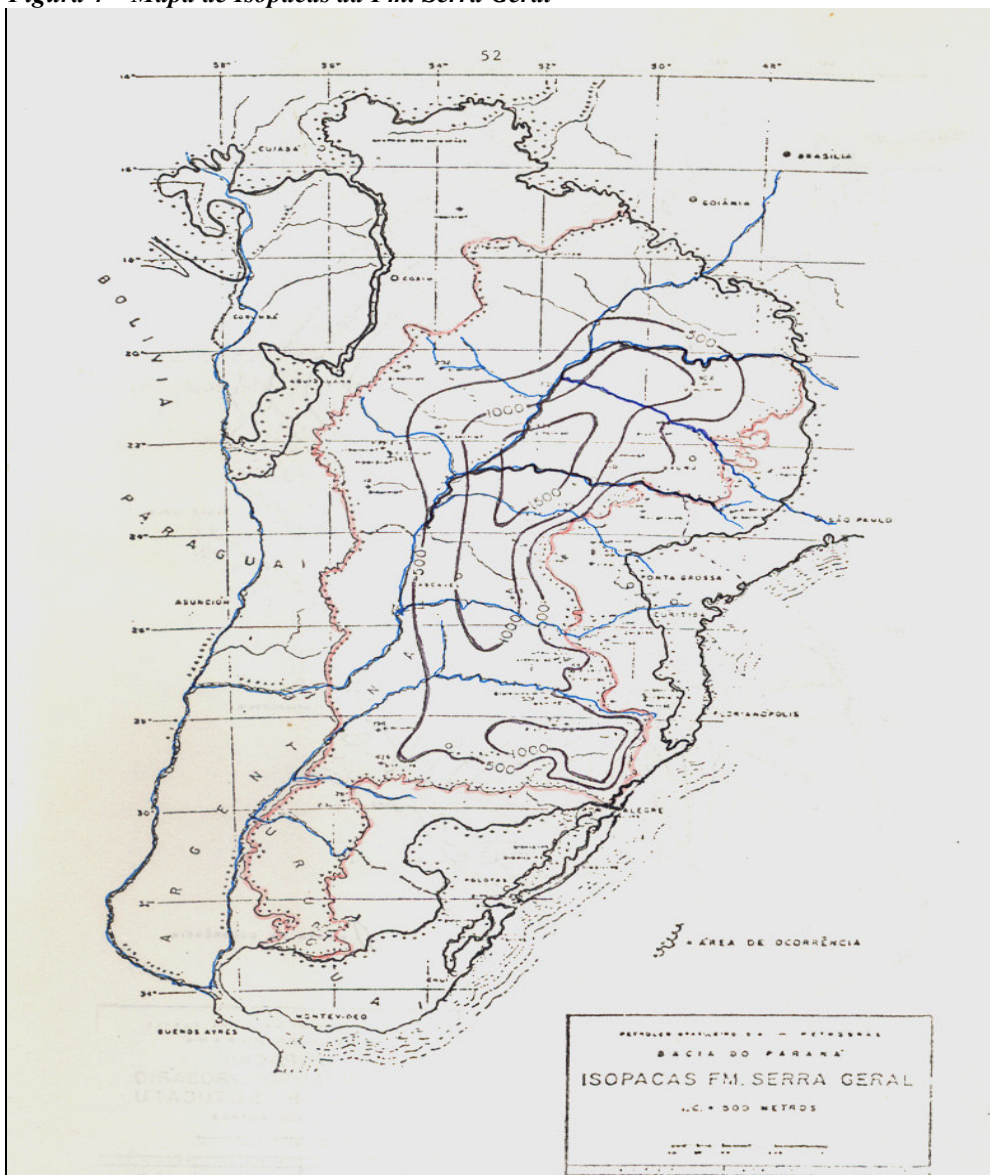
Figura 3 – Mapa da Bacia Sedimentar do Paraná



Na parte central da bacia ao norte, a espessura dos basaltos da formação Serra Geral alcança até 1500 metros ocupando um grande volume, acompanhado de uma subsidência com deformações locais do pacote de lavas, chegando haver ausência da Fm. Serra Geral, em autos estruturais e falhamentos, das camadas paleozóicas da região de Bauru, cobertas em discordâncias angular pelo Grupo Bauru.

Nesta primeira fase o vulcanismo basáltico também foi controlado pelo Arco de Ponta Grossa em elevação, sujeitando-se a intenso fraturamento distensional, cujas falhas e fraturas sem deslocamento alojaram enxames de diques de diabásio, associados à sills, mais intensos em São Paulo e no Paraná, na zona do Alinhamento Estrutural de Guapiara, do alinhamento do Rio Alonso e do Rio Tietê, com numerosas intrusões diabasicas nos sedimentos da bacia, nas rochas cristalinas do planalto atlântico e do litoral, além intrusões alcalinas relacionadas a essa fase, no franco do Arco e associadas aos alinhamentos estruturais.

Figura 4 – Mapa de Isópacas da Fm. Serra Geral



A segunda fase da reativação caracterizou-se pelo termino do vulcanismo basáltico e diminuição dos processos tectônicos, contudo o magmatismo alcalino continuou a se manifestar em pontos isolados ao norte e nordeste da bacia (região litorânea e áreas da serras do Mar e Mantiqueira no estado de São Paulo), onde precedeu o desenvolvimento do sistema de *rifts* que ali evoluiu na terceira fase.

A deposição do Grupo Bauru durante o Cretáceo superior, no interior da bacia e regiões vizinhas no pré-cambriano, efetuou-se numa depressão desenvolvida na metade norte da bacia, do Arco do Alto Paraíba até a atual região costeira, sendo que o Arco de Ponta Grossa e o Alinhamento de Guapiara continuaram ativos nessa segunda fase. O grupo recobre em discordância angular os pacotes de basaltos, acunhados pela erosão que desenvolveu a chamada superfície Pós-Gonduânica.

3. Formação Serra Geral

Esta formação é representada por rochas vulcânicas toleíticas, dispostas em derrames basálticos, com coloração cinza a negra, textura afanítica, com intercalações de arenitos intertrapeanos, finos a médios apresentando estratificação cruzada tangencial. Ocorrem esporços níveis vitrofiricos não individualizados, além de brechas basálticas interderrames, assim como no topo de alguns derrames, toma aspecto melafirico, parecendo vesículas e amígdalas, com freqüência alongada horizontalmente, sendo parcial ou totalmente preenchida por calcedônias, quartzo, calcita, zeolitas e nontronita, mineral que lhes imprime cor verde. Grandes geodos de quartzo e calcedônia podem existir na parte mais profunda desta zona melafirica, assim como na zona basal dos derrames, poder apresentar aspectos semelhantes, mas com espessura e abundancia mais reduzida. Tanto nas porções basais como no topo de grandes derrames apresentam-se juntas horizontais, devido em parte do escoamento laminar da lava no interior dos derrames. Estruturas fluidais raramente se observam assim como bombas, lapilli e cinzas, comprovando a existência de fenômenos explosivos no campo de lavas.

Petrograficamente os basaltos da Fm. Serra Geral apresentam mineração geológica muito simples, constituídos principalmente de labradorita zonada associada à clinopixocenos (augita e as vezes pigeonita). Acessoriamente aparece titano-magnetita, abatita, quartzo e raramente olivina ou seus produtos de transformação. A textura destes é intergranular ou intercetal, fina a muito fina, às vezes microlitica e com estrutura fluidal. Os diques e os *sills* têm granulação, mas grossa, são holocristalinos e frequentemente apresentam textura ofítica. Nas bordas, contudo, textura e estruturas semelhantes às dos basaltos são às vezes observadas em diques e *sills* em pequena espessura.

Os basaltos da formação se originaram dos extravasamentos rápidos de lava muito fluida através de geoclases e menores falhas.

3.1 Morfogênese dos Derrames Basálticos

Os derrames de lavas básicas originário de geoclases podem atingir longas distancias de ate 100 km, diferentes dos derrames ácidos e suas feições características versados na moderna vulcanologia. As feições internas dos derrames observados em uma coletânea de trabalhos executados em canteiros de obras de usinas hidrelétricas e em pesquisa para petróleo, através de levantamento de sessões geológicas com camadas-guia e levantamentos geofísicos, ainda está longe de esclarecer sua gênese e manifestações ou geometria, conforme observados por Guidicini e Campos -1968 , e Guidicini -1979 .

Para melhor compreender os mecanismos e as particularidades foi subdividas esquematicamente o lençol de lava em três secções principais:

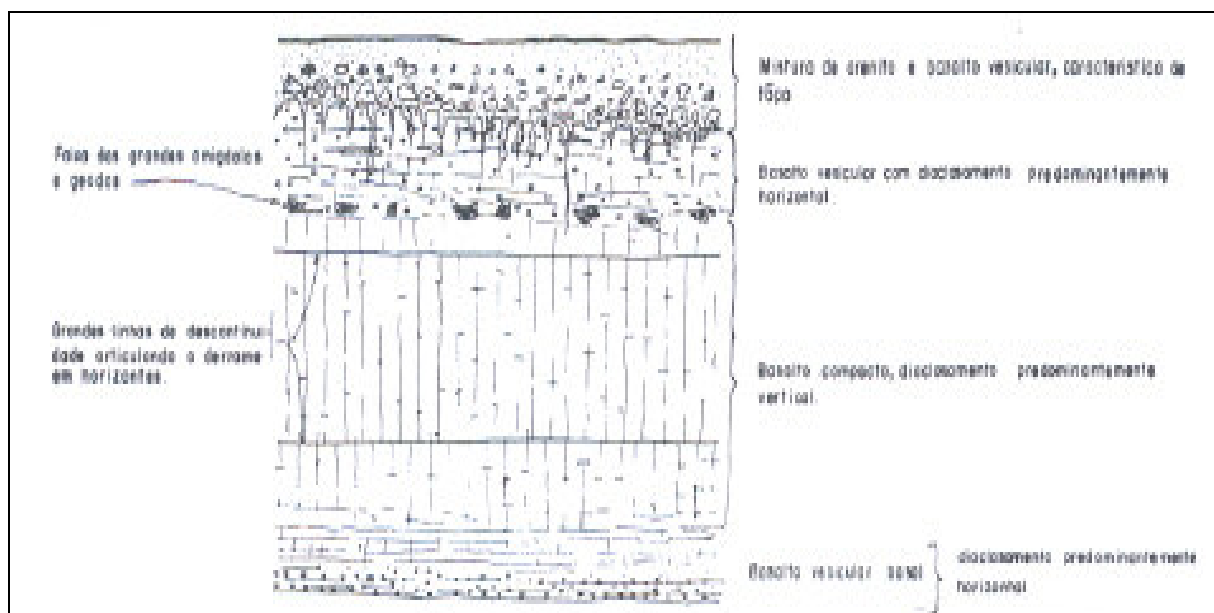
Parte basal – a contração por resfriamento e o decréscimo gradual da velocidade da lava provoca nesta faixa basal uma tendência á subdivisão segundo laminas sobrepostas, delimitadas por fissuramento no plano horizontal, sendo muitas vezes observados a presença de finos veios de calcitas preenchendo os espaços vazios, com predominância de basalto vesicular pouco espesso no inicio com o diaclasamento sobreposto.

Parte central – o resfriamento mais lento ocasiona o aparecimento de uma rocha compacta, microcristalina, com presença, às vezes, de fenocristais. O diaclasamento de contração tem formato predominante vertical, dando à rocha o típico aspecto pseudo-colunar, nem sempre evidente, dependendo da maior espessura do derrame. (espessura superior a 15 metros). Os três horizontes acham-se delimitados por duas juntas continuas e bem definidas, de andamento horizontal a subhorizontal, localizada na parte central do derrame, separando da base e do topo.

Porção superficial – representa a faixa de desgasificação superior, resultante do rápido resfriamento do magma. A lava ao extravasar-se das geoclases vem carregada de elevada quantidade de gases, que diminui gradualmente à medida que o lençol de lava avança que passam a emigrar da massa fluída para a superfície perdendo-se.

A presença de vesículas está mais diretamente associada à viscosidade da lava, que permite ou não sua conservação. As partes dos derrames que sofrem um resfriamento rápido (topo e base) conservam gases e vapores, ao passo que o mais lento resfriamento da porção central, permite que o escape de tais elementos, resultando na isenção de amígdalas. Pode ocorrer em derrame de pequena espessura (menor que 8 metros) que toda secção é constituída por basalto vesicular, com ausência do termo compacto. (Guidicini; Campos – 1968).

Figura 5 – Secção típica do derrame



3.2 Hidrogeologia do Aquífero

A área de afloramento das rochas basálticas no estado é estimada em 35 mil km², expostos nos vales dos principais rios do estado e principalmente ao norte e nordeste do estado, na região de Ribeirão Preto, Barretos, Jaboticabal, Araraquara, Jaú, Ourinhos e Assis, área intensamente ocupadas por atividades de agropecuária e agroindustrial.

Milhares de poço já foram perfurados diretamente nos basaltos, mas a grande maioria dos poços é de captação mista entra as formações Serra Geral e Adamantina ou Serra Geral e Botucatu.

As vazões dos poços estão condicionadas a presença de fraturas subverticais ou horizontais, estas últimas apresentando vazões geralmente maiores, principalmente quando atingem basalto vesicular e amigdaloidal mais espessos (> 8 metros), contendo geodos, amígdalas mineralizadas e com a presença de estruturas tipo fraturamento horizontal interderrame, juntas de cisalhamento, juntas-falhas, brechas basálticas e falhas geológicas. Os basaltos maciços comumente apresentam diaclasamento colunar ou esfenoidal, resultado do resfriamento do derrame, a presença de água está condicionada ao tamanho e profundidade da rocha diaclasada (grau de fraturamento), presença de diques ou não, e espessura do derrame.

Portanto, a produtividade hídrica está condicionada à presença de fraturamento e do basalto vesicular, com suas estruturas características.

Os derrames basálticos por si só não constituem aquíferos e somente nas estruturas acima citadas é que são aquíferos. As vazões médias oscilam entre 10 a 25 m³/h, sendo raras as vazões mais elevadas. As capacidades específicas variam de 0,65 a 50 m³/h/m.

Tabela 1 – Vazão dos Poços

Aqüífero	Vazão (m ³ / h)					
	5	5 - 20	20 - 50	50 - 100	100 - 200	Total
Bauru + basaltos	1	14	21	4	2	42
Estruturas no basalto	7	15	12	3	1	38

4. Parâmetros Hidráulicos dos Poços

Devido à dificuldade na determinação exata dos parâmetros hidráulicos em operação, os valores obtidos foram baseados nos dados de testes de vazão, efetuados no final da construção dos poços.

Tabela 2 – Distribuição dos Níveis Estáticos nos Poços

Aqüífero	Nível Estático (m)					
	0 - 25	25 -50	50 - 75	75 - 100	100 - 125	Total
Bauru + basaltos	6	19	13	5	-	42
Estruturas no basalto	17	13	7	1	-	38

Observar que a maioria dos poços perfurados somente em basalto, o nível estático está mais alto que o encontrado nos poços em arenitos da Fm. Adamantina (Grupo Bauru)

Tabela 3 – Distribuição dos Níveis Dinâmicos nos Poços

Aqüífero	Nível Dinâmico (m)					
	0 - 25	25 -50	50 - 75	75 - 100	100 - 125	Total
Bauru + basaltos	3	13	18	5	3	42
Estruturas no basalto	8	16	9	4	1	38

Nota-se que a variação do nível dinâmico é maior nos poços com aqüífero misto Bauru + basaltos, onde as capacidades específicas dos arenitos serem menores que nos basaltos.

As capacidades específicas nos arenitos da Fm. Adamantina varia de 0,1 a 5 m³/h/m, portanto, menores que os valores encontrados nos basaltos. Isto é devido a granulometria fina a muito fina dos arenitos geralmente intercalados com siltitos e lamitos e por vezes a cimentação carbonática que reduz a permeabilidade, constituindo aqüífero tipo livre ou semi-livre, enquanto que nos basaltos predomina aqüífero tipo fraturado, podendo ocorrer também o tipo livre em poços mais rasos.

Nos basaltos a porosidade é de fissura e a permeabilidade apresenta-se mais elevada nas estruturas horizontais de grande extensão, bem com nas faixas fraturas e juntas-falhas, enquanto nas estruturas verticais, geralmente de pequena extensão, apresentam permeabilidade inferiores às horizontais.

5. Hidroquímica do Aquífero

A coleta da água foi efetuada após o desenvolvimento de limpeza dos poços e nos poço pré-existent, a água foi coletada diretamente no cavalete e levados para o laboratório no mesmo dia, seguindo metodologia e norma NTA-60, da Saúde Pública Estadual (São Paulo) e neste último ano seguindo a Portaria 518 - Ministério da Saúde.

Os resultados das análises de todos os parâmetros físico-químicos determinados em 79 amostras (poços) foram interpretados conforme os parâmetros a seguir:

O **pH** varia de 4,8 a 10,1, sendo a maioria de 5,8 a 7,9, relativo às águas do aquífero Serra Geral. Os valores de $\text{pH} > 9$ em poços de basalto estão relacionados com presença de fraturas horizontais, brechas basálticas com amígdalas cristalizadas com zeólitas, fluorita, calcita, quartzo, calcedônia e malaquita, podendo ocorrer também para águas do aquífero Botucatu, confinado e do aquífero Bauru, quando a cimentação carbonática, alcalinidade e dureza forem altas.

A **condutividade elétrica** varia de 20 a 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$, de uma forma geral apresentam baixa mineralização, sendo que nos arenitos a uma tendência no aumento devido a presença de cimentação carbonática, atingindo valores de até 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto que nos poço de basaltos esses valores variam de 20 a 200 em poços com fraturas subverticais e baixas vazões, ou de 60 a 450 em poços com fraturas horizontais, com alcalinidade dupla e presença de minerais.

A composição físico-químico mostra basicamente dois tipos de água distinta, conforme as concentrações abaixo:

Tabela 4 – Química das Águas

1º TIPO	2º TIPO
$4,5 \leq \text{pH} < 8,5$	$\text{pH} > 9$
$100 < \text{CE} < 250 \text{ uS}$	$250 < \text{CE} < 450$
$100 < \text{RS} < 200 \text{ mg/l}$	$250 < \text{RS} < 400$
$50 < \text{HCO}_3 < 300$	$20 < \text{HCO}_3 < 60$
$\text{CO}_3 < 10$	$30 < \text{CO}_3 < 150$
$0,5 < \text{Cl} < 1,0$	$\text{Cl} > 3$
$0 < \text{SO}_4 < 15$	$20 < \text{SO}_4 < 70$
$10 < \text{Ca} < 60$	$\text{Ca} \leq 20$
$3 < \text{Mg} < 15$	$\text{Mg} = 0$
$0,5 < \text{Na} < 15$	$20 < \text{Na} < 80$
$0,5 < \text{K} < 5$	$\text{K} \leq 1,5$

Fazendo-se uma correlação com os perfis litológicos dos poços, nota-se que as águas do primeiro tipo são provenientes do aquífero Bauru e as do segundo tipo as águas do aquífero basáltico com fraturas horizontais e presença de minerais. As águas provenientes do aquífero Bauru são pouco mineralizadas, geralmente sem carbonatos e muito pouco cloretos, sulfatos e sódio, sendo ligeiramente duras pela presença de bicarbonato de cálcio.

As águas do basalto também apresentam uma relação: $rCa > rMg \gg rNa > rK$, quando predomina fraturas subverticais mostrando uma estreita relação com os arenitos sobrepostos ou uma relação: $rNa \gg rCa > rK > rMg$, quando as águas estão confinadas nas estruturas horizontais cristalizadas ou não.

O comportamento dos *cátions* pode ser dividido em dois grupos:

a) teores em alcalinos terrosos são superiores aos alcalinos

$$rCa + rMg > rNa + rK$$

Todas as águas provenientes dos poços do arenito da Fm. Adamantina obedece a essa relação e os poços da Fm. Serra Geral que interceptaram fraturas subverticais, com grande contribuição de água superficial e dos arenitos.

b) teores em alcalinos são superiores aos alcalinos terrosos

$$rNa + rK \geq rCa + rMg$$

Em quase todas as águas obtidas nos poços que atingiram fraturas horizontais, com presença de cristais observando-se alcalinidade dupla de carbonatos e bicarbonatos, fluoretos ($> 0,12 \text{ mg/l F}$), $\text{pH} > 8,5$, a presença de sulfatos, sódio, cloretos.

O *ânion* dominante é o HCO_3^- , seguido do Cl^- nos poços com água proveniente de fraturas subverticais ou proveniente dos arenitos da Fm. Adamantina, aparecendo o NO_3^- em algumas zonas urbanas e zonas rurais com intensa plantação, supondo estar ligado à contaminação das águas por esgoto ou adubação. Os valores de SiO_2 são mais elevados nos poços com arenitos ou com fraturas subverticais, podendo até interferir nas dosagens do HCO_3^-

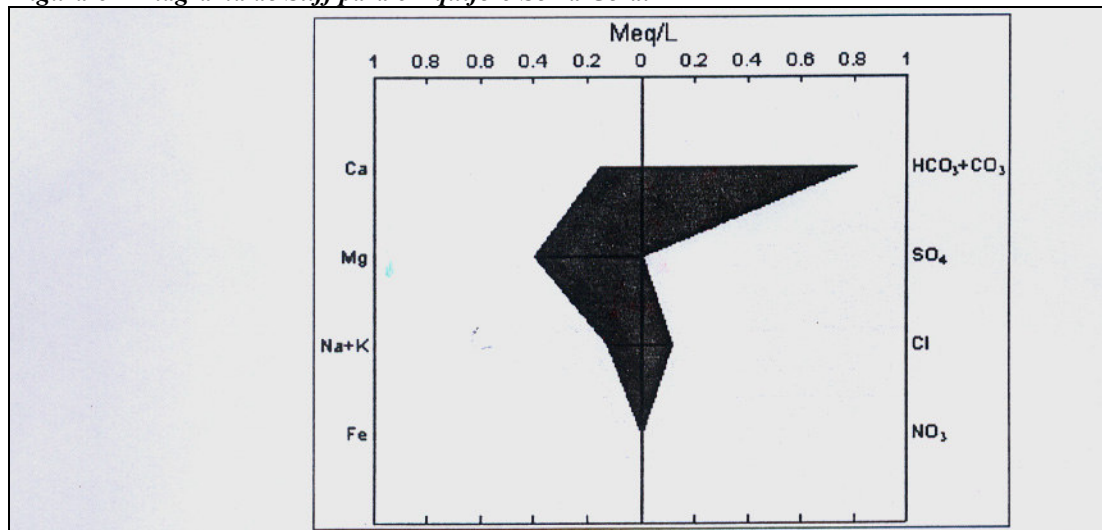
A correlação entre o pH medido e o pH de equilíbrio (pHe) estabelece o campo as águas com comportamento agressivo ou incrustante. Nos poços com água do basalto observa-se nítido comportamento agressivo, em mais de 60% dos poços, 22% caem na faixa das águas em equilíbrio e 14% caem no campo das águas incrustantes, geralmente provenientes dos poços que interceptaram fraturas horizontais.

6. Gráficos Interpretativos

Muitos gráficos são utilizados, para melhor caracterizar a composição química das águas, e foi escolhido o Diagrama de *Stiff*, pela simplicidade e efeito visual, mostrando bem os fácies hidroquímico, sendo que os cátions e o ânion são representados meq/l. (Hem – 1970).

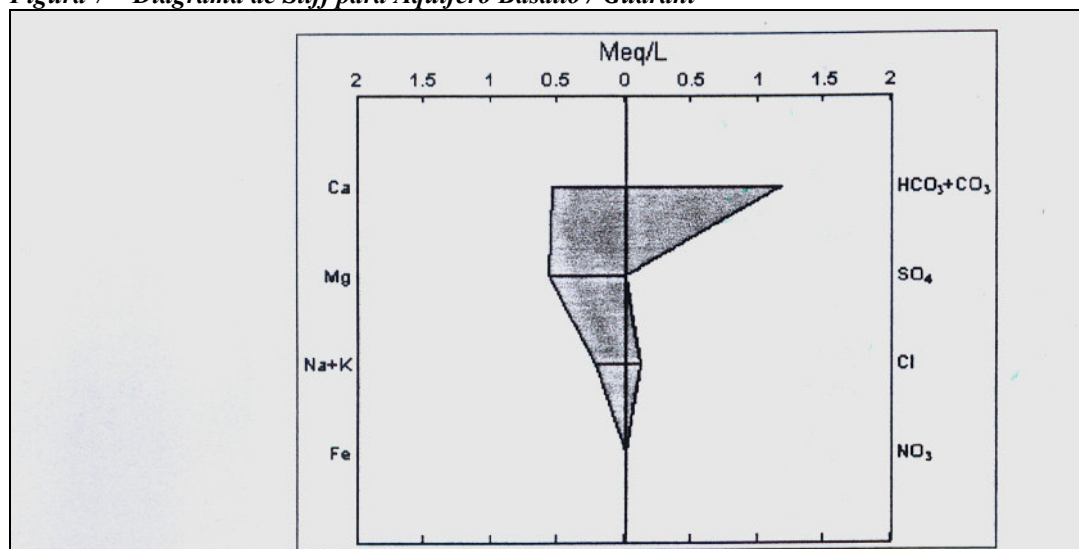
Os gráficos caracterizando as águas dos diferentes aquíferos e do basalto são mostrados abaixo:

Figura 6 – Diagrama de Stiff para o Aquífero Serra Geral



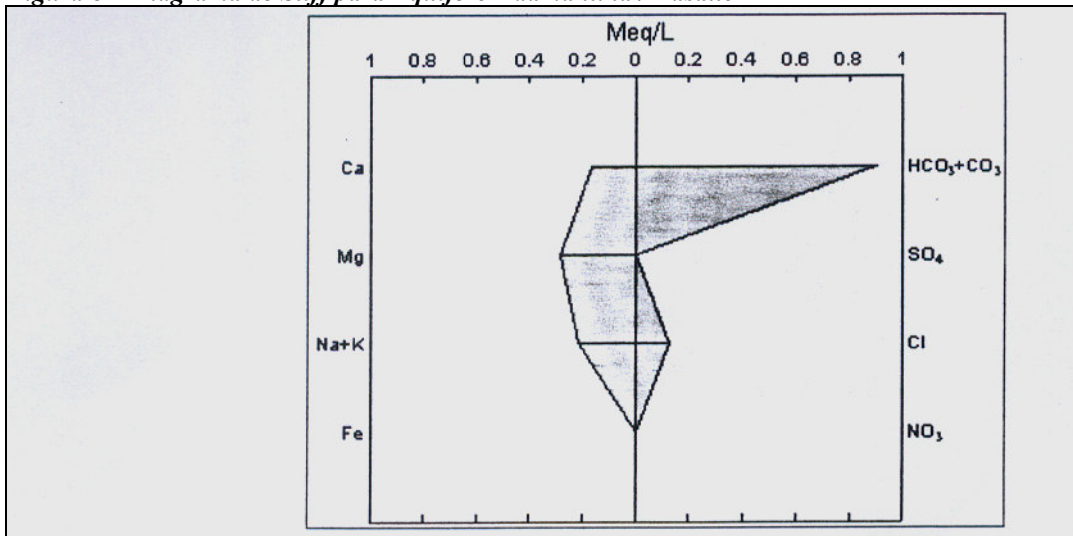
Notar a forte presença dos ânions HCO₃ + CO₃ seguido dos cloretos, e no campo dos cátions a maior presença de Ca e Mg seguido do Na + K. Para os poços com águas provenientes da fraturas horizontais o pico maior seria Na + K.

Figura 7 – Diagrama de Stiff para Aquífero Basalto / Guarani



Nos poços com captação mista, proveniente dos basaltos e do Botucatu, as relações entre cátions e ânions acompanham grosso modo a distribuição bem parecida aos basaltos, predominando HCO₃ + CO₃ e Ca + Mg > Na + K.

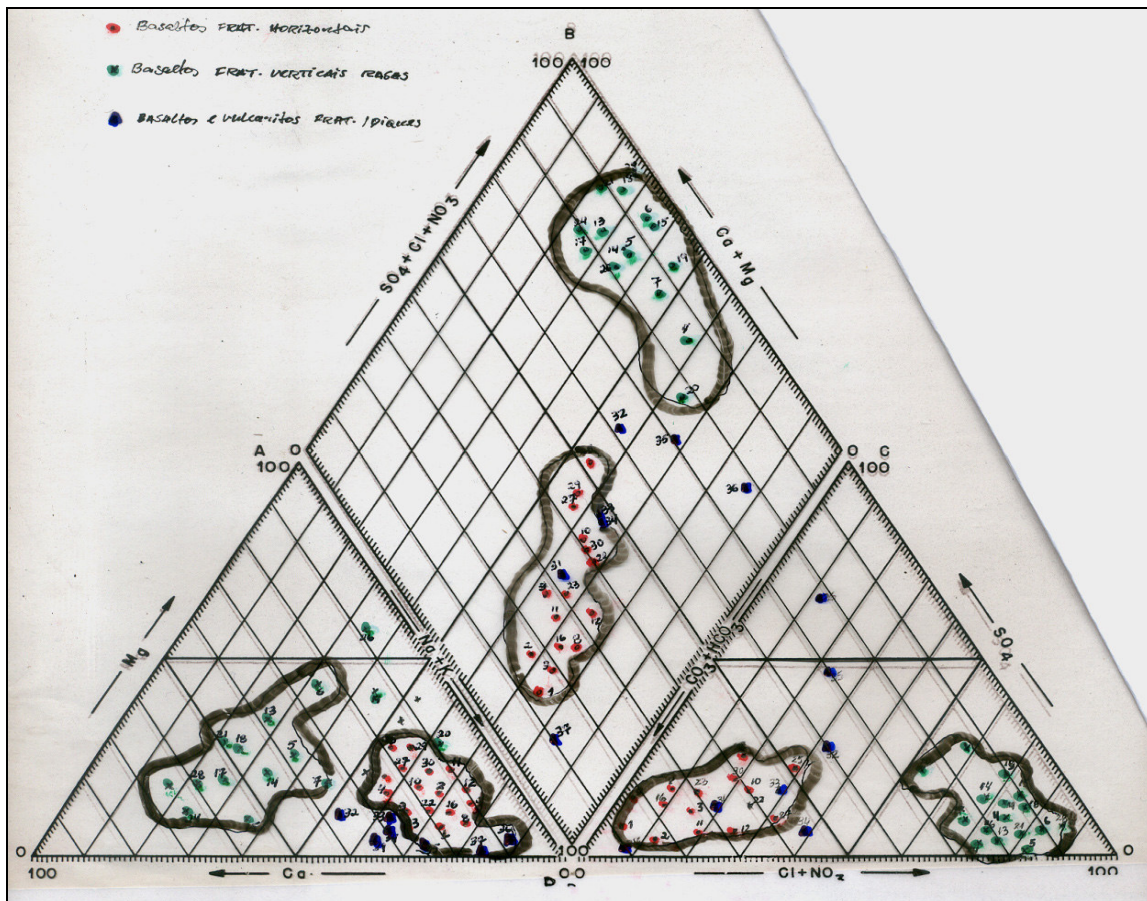
Figura 8 – Diagrama de Stiff para Aquífero Adamantina / Basalto



O comportamento de cátions e ânions para aquífero livre ou semi-livre Adamantina, com predomínio $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ e $\text{Ca} + \text{Mg} > \text{Na} + \text{K}$ evidenciando forte relação com as águas superficiais, de origem fluviais ou outras, sob as condições atmosféricas.

O diagrama de Stiff seria um pouco diferente para o aquífero Botucatu confinado, onde a relação $\text{Na} + \text{K}$ predominaria juntamente com $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$.

Figura 9 – Diagrama de Piper para os basaltos



O *Diagrama de Piper* mostra a classificação química das águas provenientes só dos basaltos, notando-se dois grupos ou dois tipos de águas conforme tabela 4, em maior quantidade as águas do Tipo 1, classificadas como Bicarbonatadas Cálcicas e secundariamente Magnesianas menos mineralizadas e associadas às fraturas subverticais, forte relação com as águas da Fm. Adamantina ou com as águas superficiais, quando o basalto é aflorante.

As águas do Tipo 2 são mais mineralizadas, estão associadas às fraturas horizontais, com os minerais citados, pH alcalino e classificadas como Carbonatadas Sódicas e secundariamente como Carbonatadas Cálcicas.

7. Relação entre Estruturas Verticais e Horizontais

Estruturas Verticais

Na relação dos 79 poços apresentadas foi observado que nenhum está sobre fotolineamentos, alinhamento estruturais ou zona falha / fratura, estando raros poços nas proximidades com uma possível estrutura, não confirmada no campo. Os poços analisados com maior capacidade específica não estão localizados sobre os lineamentos verticais traçados em mapas.

Foi observado que os poços em basalto armazenando uma quantidade significativa de água foram atingidos nos primeiros três derrames superiores, até uma profundidade de 150 metros, percebendo-se que abaixo dessa profundidade as fraturas verticais não estão mais abertas e, portanto, não contém água.

Estruturas Horizontais

Estas estruturas podem conter maior quantidade de água quando presentes, principalmente quando se percebe durante a perfuração uma rápida e brusca descida da ferramenta, notadamente nas máquinas percussoras a cabo, mais difíceis de perceber nas máquinas roto-pneumáticas com dispositivos hidráulicos.

Outra evidência desta estrutura é a repentina subida do nível da água, associado à rápida descida da ferramenta de perfuração, mesmo nas máquinas roto-pneumáticas.

Também foi constatada uma maior presença de “cachoeiras” em poços com estruturas subhorizontais, ficando clara a contribuição de água de um horizonte superior, de menor capacidade produtiva, e que na consegue manter a sua carga hidráulica na altura deste horizonte, lançando a água para o centro do poço, até atingir um nível inferior, que é a principal contribuição do poço.

Estas estruturas podem estar no topo da formação em contato com o solo alterado ou em contato com a Fm. Adamantina sobreposta, e aqui também, estas estruturas também ocorrem geralmente nos três primeiros derrames superiores.

Outra constatação foi que as águas encontradas nas fraturas horizontais mais profundas, apresentam águas mais mineralizadas, com pH mais alcalino e condutividade elétrica $> 200 \mu\text{S/cm}$.

Tabela 5 – Poços Tubulares na Fm. Serra Geral

Usuário	Prof. (m)	Perfuração em Basalto	Vazão do Poço	Local	Uso da Água	Formação
Sebastião Garcia	70	70	5	Jaboticabal	Doméstico	S. Geral
Teobaldo Recchia	142	142	8	Igarapava	Doméstico	S. Geral
Cláudio de Cezari	70	70	8	Pradópolis	Lazer	S. Geral
Camilo Alimentos Ltda.	45	45	4,5	Barretos	Ind. / sanitário	S. Geral
Vitória Park Hotel	70	70	8	Ibitinga	Comercial	S. Geral
Sítio Raça Forte	142	54	46	Itápolis	Irrigação	Adam/S. Geral
Sítio N. S. Aparecida	198	88	30	Monte Alto	Irrigação	Adam/S. Geral
Ass. dos Plantadores de Cana	150	150	10	Sertãozinho	Comercial	S. Geral
Vitor E. Marques Jr.	60	60	6	Barretos	Doméstico	S. Geral
Fazenda Aparecida - P02	220	118	37	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
Fazenda Aparecida - P03	196	90	22	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
Fazenda Aparecida – P04	228	134	31,5	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
Fazenda Aparecida – P05	180	94	19	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
Fazenda Aparecida – P06	175	93	60	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
Fazenda Aparecida – P07	124	56	198	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
Fazenda Aparecida – P08	192	97	35	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
Fazenda Aparecida – P09	157	96	88	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
Fazenda Aparecida – P10	117	47	158	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
Fazenda Aparecida – P11	190	78	46,6	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
Ass. Recreat. Santo André	338	294	12	Jaboticabal	P. de Serviço	Adam/S. Geral
Ind. Com. Beb. Palazzo Ltda.	120	79	15	Jaboticabal	Ind. / sanitário	Adam/S. Geral
Ind. Com. Beb. Palazzo Ltda.	410	360	33	Jaboticabal	Ind. / sanitário	Ad./S. Geral/Bot
Antônio T. Torres de Oliveira	60	60	5	Barretos	Doméstico	S. Geral
P.M. Sertãozinho-Constructivity	250	108	60	Sertãozinho	Abast. Público	S. Geral/ Bot
Secundino D. Ariaz - Agrofaz	162	28,5	27,6	São Carlos	Domest. /rural	S. Geral/ Bot
Coopercitrus	90	90	3,5	Pirassununga	P. de Serviço	Diabásio
Fernando C. Brito Nogueira	45	45	6	Barretos	Doméstico	S. Geral
Cond. Edif. Porto das Canoas	52	22	15	Igarapava	C. Residencial	S. Geral/Bot.
Urias Borrasca	84	64	2	Sertãozinho	Doméstico	S. Geral
M.J.C. Romanini – Itapoáguas	142	90	16	Itápolis	Industrial	S. Geral
Rodrigo Franco-Faz. Cava P1	150	36	33	Colina	Irrigação	Adam/S. Geral
Rodrigo Franco-Faz. Cava P2	190	70	41	Colina	Irrigação	Adam/S. Geral
Álvaro J. – Faz. Jaraguá P1	162	58	33	Colina	Irrigação	Adam/S. Geral
Álvaro J. – Faz. Jaraguá P2	151	36	18	Colina	Irrigação	Adam/S. Geral
Waldir T. Turco-Faz. Sta. Ana	170	120	34	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
João Staconi -S.Sto. Antônio	182	70	47	Vista A. Alto	Irrigação	Adam/S. Geral
Agrop. Sta. Therezinha P01	150	14	25,4	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
Agrop. Sta. Therezinha P02	150	15	25	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
Agrop. Sta. Therezinha P03	180	64	23,5	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
Agrop. Sta. Therezinha P04	150	30	34,4	Bebedouro	Irrigação	Adam/S. Geral
W. Arroyo -Faz. S. Francisco	180	40	90	Bariri	Irrigação	S. Geral/ Bot
Antonio Didone - Mineração	108	10	11	Rincão	Domest. /rural	Ad./S. Geral/Bot
Empreend. Caetano Floridi	116	100	7	Viradouro	Abast. Loteam.	S. Geral
Tadeu Arioli - S.S. Sebastião	136	88	44	Taquaritinga	Irrigação	Adam/S. Geral
Osmar Jandoti - Sítio	184	144	52	S.J. 02 Pontes	Irrigação	Adam/S. Geral
Francisco J. Aquaroni – Sítio	80	46	23	Taquaritinga	Rural	S. Geral
Roberto Gomide-Faz.B. Vista	115	10	36	Monte Azul	Irrigação	Adam/S. Geral

Roberto Gomide-Faz.B. Vista	131	15	48	Monte Azul	Irrigação	Adam/S. Geral
Irmãos M.–Faz. S.Adelina P1	323	275	102	Itápolis	Industrial	S. Geral/Bot.
Irmãos M.–Faz. S.Adelina P2	292	267	46	Itápolis	Industrial	S. Geral/Bot.
Irmãos M.–Faz. S.Adelina P3	262	254	48	Itápolis	Industrial	S. Geral/Bot.
Ivanir Puglieri S. Sta. Tereza	305	155	8	Guaraci	Rural	Adam/S. Geral
Dolores P. ME - Elli A. Ltda.	80	22	12	Taquaritinga	Industrial	Adam/S. Geral
Armando Pastrelo – S. Lagoa	160	145	36	Taquaritinga	Irrigação	Adam/S. Geral
Via Néctare Ltda.	250	84	30	Taquaritinga	Industrial	S. Geral/Bot.
Hotel Faz. Thermas de Ibirá	160	125	12	Thermas Ibirá	P. de Serviço	Adam/S. Geral
Emp. de Água Mineral Ibirá	85	54	18	Ibirá Thermas	Industrial	Adam/S. Geral
Apamagis	65	30	8	Thermas Ibirá	P. de Serviço	Adam/S. Geral
Spa Thermas	80	45	12	Thermas Ibirá	P. de Serviço	Adam/S. Geral
Usina A. Guairá Ltda.	120	82	20	Guairá	Industrial	Adam/S. Geral
Bascitrus Agroindustrial S/A.	220	80	30	Mirassol	Industrial	Adam/S. Geral
Destilaria Pignata Ltda.	218	78	50	Sertãozinho	Industrial	S. Geral/Bot
Sebastião Garcia	70	70	6	Jaboticabal	Dom./Sanitario	S. Geral
Loteamt. Maria Luiza – TAB	420	418	32	Viradouro	Condomínio	S. Geral/Bot
P.M. Dumont	208	191	15	Dumont	Abast. Público	S. Geral/Bot.
Fundição B.B. Ltda.	175	5	12	Monte Alto	Industrial	Adam/S. Geral
Fund. Agroind. de Bebedouro	136	38	15	Bebedouro	P. de Serviço	Adam/S. Geral
João A. Santos – Estância RR	145	80	8	Iacanga	Rural	Adam/S. Geral
José Micheletti – S.Valentim	210	155	30	Itápolis	Irrigação	Adam/S. Geral
Alceu L. Casali – S. Recreio	162	44	10	S.J. 02 Pontes	Irrigação	Adam/S. Geral
Antônio L. Silva – Superm.	100	84	2	Pitangueiras	P. de Serviço	Adam/S. Geral
Luciano F. Ferraz – Loteam.	202	162	12	Adolfo	Condomínio	Adam/S. Geral
P.M. Orindiúva	100	158	10	Orindiúva	Abast. Público	S. Geral
Rosin & Cia Ltda - Retífica	150	150	9,5	Jaú	P. de Serviço	S.Geral
Metalúrgica Rivertec	36	36	2,6	Jaú	P. de Serviço	S. Geral
Loteam. Faz. São José – TAB	156	81	31	Taquaritinga	Condomínio	Adam/S. Geral
Sítio Daisa	98	18	20	Pirangi	Rural	Adam/S. Geral
Faz. Antequiera – R. Guerra	83	83	3,5	PaulodeFaria	rural	S. Geral
Luis F.Ferreira–S. 2 Irmãos	116	116	35	Terra Roxa	Irrigação	S. Geral
Murilo G. Morelli	80	80	8	Jaboticabal	Doméstico	S. Geral

Total = 80 poços

Finalizando, outra constatação foi nos poços que interceptam as fraturas horizontais, o rebaixamento do NA é menor devido uma capacidade específica maior nestes horizontes, mesmo nos poços com vazões inferiores a 10 m³/h.

8. Conclusões

O aquífero Serra Geral dentro da área estudada apresenta características próprias e relevantes, com fluxo anisotrópico devido à heterogeneidade da sua permo-porosidade, condicionadas as fissuras horizontais e verticais.

O armazenamento substancial de água está condicionado a presença de estruturas perceptíveis durante a perfuração, que podem ser quantificadas através do teste de vazão.

A presença do basalto vesículo-amigdaloidal associados a minerais cristalizados durante o resfriamento da lava são indicativos de uma anomalia hidrogeoquímica, com alteração de parâmetros como pH, condutividade elétrica, alcalinidade, dureza, fluoreto, sódio, e outros cátions e ânions, como cloretos, sulfatos, potássio, sílica, diferentes das condições superficiais e das águas do aquífero Adamantina, mostrados nos diagramas de *Stiff* e de *Piper*.

Diferente de que se suponha o grau de fraturamento subvertical, quase sempre não condiciona um maior armazenamento de água, e sim, nas fraturas horizontais, comprovado em vários poços com vazões e capacidades específicas maiores.

9. Bibliografia

1. Guidicini, G. ; Oliveira Campos, J.. Notas sobre a Morfogênese dos Derrames Basálticos. Boletins da Sociedade Brasileira de Geologia. 1968 – V. 17, nº 1 - p. 15 - 28.
2. Guidicini, G. Juntas Horizontais de Grandes Continuidades em Derrames Basálticos da Bacia do Paraná. In: Atas do II Simpósio Regional de Geologia, Rio Claro – 1979, 2: p. 13 – 21.
3. Hem, J.D. Study and interpretation of the characteristics of natural waters. 2., Geological Survey Water-Supply Paper, Washington (DC), nº 1473, p. 1 - 334,1970.
4. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Mapa geológico e de ocorrências minerais do Estado de São Paulo – São Paulo, 1981.
5. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo – São Paulo, 1989.
6. White, R.S.: McKenzie D.P., Volcanism at Rifts. Scientific American, July 1989. p. 62 – 71.