

HIDROGEOLOGIA DAS ROCHAS VULCÂNICAS DO BRASIL

Aldo da Cunha Rebouças ¹

Carlos Gilberto Fraga ²

1. Geól. formado pela Universidade Federal de Pernambuco.
Prof. Titular da Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.
2. Geól. formado pela Universidade Federal do Paraná.
Mestre em Hidrogeologia pela Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências;
Prof. do Instituto de Geociências da UFPR e funcionário da Surhema.

1. INTRODUÇÃO

As rochas vulcânicas no Brasil afloram sobre cerca de $1,0 \cdot 10^6 \text{ km}^2$, sendo $800 \cdot 10^3 \text{ km}^2$ na bacia do Paraná, $100 \cdot 10^3 \text{ km}^2$ na bacia do Maranhão e cerca de $20 \cdot 10^3 \text{ km}^2$ constituindo ilhas oceânicas. Na bacia Amazônica estima-se uma extensão em cerca de $400 \cdot 10^3 \text{ km}^2$ de rochas vulcânicas, porém estas acham-se recobertas por sedimentos posteriores, cujas espessuras atingem em média mil metros.

A grande importância das rochas vulcânicas no Brasil situa-se na bacia sedimentar do Paraná e decorre da reconhecida fertilidade dos solos, a "terra roxa" – base de intensa exploração agrícola e pastoril e dos condicionamentos favoráveis (topográficos e geotécnicos) à implantação de grandes hidrelétricas. A densidade populacional nos domínios da bacia do Paraná no Brasil varia entre 10 e 250 hab/km^2 e as atividades agrícolas destacam-se pela diversificação de cultivos (café, cana de açúcar, soja, milho, trigo, frutas, cítricos, et.) e pelos altos índices de produtividade, sendo responsável por cerca de 60% da produção agrícola do país, estimado em $65 \cdot 10^6 \text{ ton}$ para 1987.

A sua importância hidrogeológica decorre da elevada explotabilidade das suas zonas aquíferas, pelos meios técnicos e financeiros disponíveis. As águas subterrâneas são exploradas através de poços tubulares e captação de fontes, cujas vazões variam entre 1 e $220 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo utilizadas para consumo doméstico, industrial e pastoril.

Nos demais domínios continentais de ocorrência de rochas vulcânicas no Brasil, a importância dos recursos é muito reduzida, seja devido ao fato de serem recobertas por espessas formações sedimentares (bacia do Amazonas), seja porque as demandas são relativamente muito pequenas ou devido a abundância de recursos hídricos superficiais (bacia do Maranhão). A densidade da população é, nestes casos, de 2 a 3 habitantes por km^2 .

Nas ilhas oceânicas, ressalta-se em importância os recursos das zonas aquíferas da Ilha de Fernando de Noronha ($16,9 \text{ km}^2$), explorados através de poços tubulares e captação de fontes, para abastecimento de uma população permanente de 1300 pessoas.

2. SÍNTESE GEOLÓGICA DAS ÁREAS DE OCORRÊNCIA DAS ATIVIDADES VULCÂNICAS NO BRASIL

Atualmente o Brasil não possui nenhum vulcão ativo. Mesmo em tempo geologicamente recente, o território brasileiro não foi mais afetado pelas atividades vulcânicas. No fim do Mesozóico, no entanto, o Brasil foi palco de uma das maiores atividades vulcânicas que se conhece no tempo geológico. Este magmatismo gigantesco foi do tipo fissural e atingiu as mais variadas regiões, formando-se sucessivos derrames de lavas que, em certos lugares, apresenta espessuras

de centenas de metros.

De forma esquemática, apresenta-se na figura 1, as principais atividades vulcânicas conhecidas no tempo geológico no Brasil, onde ressalta-se em (A) a importância dos derrames ocorridos nas regiões Sudeste e Sul. Esta ocorrência representa um dos maiores fenômenos magmáticos do mundo, conforme ilustra a figura 1 (B).

As rochas vulcânicas no Brasil ocorrem, portanto, em três domínios principais:

- 1) Constituindo extensos derrames nos domínios das sinéclises sedimentares do Paraná, Amazonas e Maranhão.
- 2) Constituindo diques, sils, principalmente, injetados no complexo cristalino pré-cambriano.

Do ponto de vista litoestratigráfico e estrutural, os mecanismos de ocorrência destes fenômenos magmáticos, que afetaram o Brasil no Mesozóico, principalmente, podem ser referenciados em quatro fases a saber:

- a) Magmatismo precoce sob a forma de diques e sils de diabásio de idade Jurássico Superior ($145 \cdot 10^6$ anos).
- b) Vulcanismo fissural, predominantemente basáltico, cujos focos de extravasamento correspondem às áreas que sofreram um acentuado controle tectônico, de idade Juro-Cretácea ($145 \cdot 10^6$ anos).
- c) Climax de atividade vulcânica fissural – Cretáceo ($130 - 200 \cdot 10^6$ anos).
- d) Vulcanismo tardio do tipo predominantemente alcalino – terciário ($23 \cdot 10^6$ anos).

Na bacia intracratônica do Paraná, área de mais ampla ocorrência do vulcanismo fissural, a extensão original dos derrames, estimada em $4 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ (Almeida 1965), acha-se reduzida à $1 \cdot 10^6 \text{ km}^2$, dos quais, cerca de $800 \cdot 10^3 \text{ km}^2$ em território brasileiro, o restante sendo distribuído entre Uruguai, Paraguai e Argentina. No domínio brasileiro, as rochas afloram de forma praticamente contínua sobre cerca de 56% da área de ocorrência, sendo o restante recoberto por sedimentos arenosos cretáceos do Grupo Bauru, cuja espessura média é da ordem de 100 m. Em termos litoestratigráficos, as rochas vulcânicas constituem a Formação Serra Geral de idade Juro-Cretácea.

Os derrames da Formação Serra Geral constituem uma série de unidades superpostas, representativas de um intenso vulcanismo fissural que ocorreu em condições não explosivas, dando origem a extensos platôs, hoje profundamente dissecados pelos processos de intemperismo.

Segundo LEINZ (1949), este intenso magmatismo com manifestações intrusivas e extrusivas de variado caráter químico, ocorreu em clima árido de forma intermitente e assíncrona. Assim sendo, no conjunto acima referido são encontradas intercalações de sedimentos, que embora possam ser litologicamente semelhantes aos da Formação Botucatu sotoposta, não podem ser a esta associados, pois representam efêmeros episódios na sedimentação eólica.

Embora a Formação Serra Geral seja tradicionalmente reconhecida como de típica ocorrência de rochas, toleíticas, com grande variação química (RÜEGG,

1975), segundo WHITE (1908) in: WASHBURNE (1930), alguns dos trabalhos afins, relacionados às duas últimas décadas, fazem referência a ocorrência de lava de composição intermediária e ácidas associadas a esta unidade: SARTORI & MACIEL FILHO (1976), SZUBERT et. alii (1978). Estes "diferenciados ácidos", ao que tudo indica, emergiram a partir de sistemas de fraturas crustais, concentrando-se próximos à área das atuais ocorrências, tendo sua maior viscosidade limitada à sua distribuição. Este vulcanismo parece ter sido do tipo escudo dômico (SZUBERT, op. cit.).

Por outro lado, é oportuno lembrar que a conformação dos derrames em "trapps" é proporcionada pelas estruturas peculiares que se desenvolveram nos mesmos, em função do movimento, resfriamento e conteúdo em gases da lava efusiva. Tais feições são observadas, sobremaneira nas escarpas da Formação Serra Geral, nos limites com a depressão periférica da seqüência sedimentar da bacia do Paraná.

Em termos estruturais, interessa destacar os grandes lineamentos e falhamentos associados às megaestruturas da bacia do Paraná, desencadeadas nos primórdios do Cretáceo. Constituem extensas zonas de falhas normais, com formações de arqueamentos regionais e de "horsts" dômicos, cuja reativação no Mesozóico deu acesso ao magma basáltico. Assim sendo, a bacia do Paraná foi profundamente afetada, sendo reestruturada por processos tectono-magmáticos, exemplificados, sobretudo, pela epirogênese, por movimentos verticais de blocos de falhas e pelo extensivo vulcanismo basáltico, cuja presença demonstra que o fenômeno está ligado a processos infracrustais de escala continental e de caráter essencialmente anorogênico (ALMEIDA - 1981).

Do ponto de vista geotectônico, deve ser considerado que, embora haja muitas variáveis condicionantes nas modificações locais da espessura total dos derrames (espessura originalmente acumulada, espessura fixada em decorrência da subsidência e deformação, e espessura erodida antes, durante e após a sedimentação suprabasáltica), os indícios das principais linhas de extravasamento magmático são evidenciados pelos seguintes fatores: as áreas com maior espessura de derrames correspondem aos focos de extravasamento, ocorrendo a partir destas um adelgaçamento centrífugo; ocorrência de sils e sua freqüência indicando áreas que sofreram um acentuado controle tectônico, ocorrendo amplas zonas de falhas preenchidas por diques de diabásio (LEINZ, 1949).

Diante do que foi abordado anteriormente, as isópacas apresentadas na figura 2 mostram três núcleos de maior acumulação, situados à nordeste, centro-oeste e sudeste. É importante observar o maior espessamento dos derrames, paralelo ao limite leste da sinéclise sedimentar do Paraná. Esse comportamento indica, certamente, a influência do tectonismo que afetou o embasamento cristalino, responsável pelas numerosas intrusões alcalinas Meso-Cenozóicas. A contemporaneidade e as relações genéticas destas atividades vulcânicas (HASUI & CORDANI, 1968) são bem evidenciadas pela consangüinidade do magma, que se manifesta pelo fato de todas as rochas relacionadas a este vulcanismo possuírem em comum o caráter alcalino-sódico (LEINZ & AMARAL, 1980). As rochas são do tipo fonolítico e tinguaítico e os seus correspondentes intrusivos são rochas foiaíticas.

A idade do conjunto das rochas vulcânicas, obtidas através do método K-Ar em rocha total e em feldspato e biotita, mostra distribuição no tempo de 115 a 135 milhões de anos. Assim sendo, pôde ser este magmatismo datado como neojurássico-eocretáceo, tendo as manifestações perdurado, em conjunto, pelo menos 20 milhões de anos (MELFI, 1967).

A bacia sedimentar do Amazonas também foi atingida por um vulcanismo similar e provavelmente simultâneo ao que ocorreu na região Sul do Brasil. Além da formação das rochas efusivas, a lava basáltica formou numerosas intrusões hipabissais ou quase superficiais, sob a forma de sils e diques de diabásio, espalhados por vastas áreas da bacia (REZENDE, 1971). São cerca de 400 mil km² constituídos por lavas basálticas que se acham recobertas por sedimentos posteriores, cujas espessuras atingem até cerca de mil metros. Em consequência, as rochas vulcânicas da bacia do Amazonas, são ainda pouco conhecidas.

Na bacia do Maranhão a atividade magmática formou numerosos sils hipabissais ou quase superficiais e diques espalhados por vastas áreas da bacia. As ocorrências mais importantes cobrem cerca de 100 mil km² na região de Grajau (figura 1-A). Esses derrames foram datados pelo método de K-Ar, como Cretáceo Inferior (AGUIAR, 1971). Sua importância hidrogeológica é pequena face ao recobrimento superficial de sedimentos associados e as pequenas demandas impostas por uma densidade de população de 2-3 hab/km², que desenvolvem atividades agrícolas de subsistência.

O vulcanismo mais moderno foi responsável pela formação de diversas ilhas do Atlântico brasileiro, como Fernando de Noronha, Trindade, Rochedos, São Pedro, São Paulo e Abrolhos.

Os estudos radiométricos já realizados (CORDANI & BLAZERKOVIC, 1970) indicam que as fases vulcânicas da ilha Fernando de Noronha, datam desde 11,8 milhões de anos até 1,7 milhão de anos. Por sua vez, as ilhas de Trindade são mais recentes, onde ocorrem lavas basálticas do Oligoceno (Terciário Médio).

Em termos petrológicos, predominam em Fernando de Noronha, as rochas derivadas de magma basáltico alcalino (ALMEIDA, 1955). Ankaratritos na forma de derrames de tufos (Fm. Quixada), fonólitos pórfiros, afírticos, alcali-traquitos, alcali-basaltos intrusivos em produtos piroclásticos (F. Remédios). Quase todas as partes externas do aparelho vulcânico foram destruídas pela erosão. Restam ainda tufos contendo bombas e lapillis, em partes ainda cobertas por lava. As lavas apresentam, muitas vezes, um belo diaclasamento prismático, colunar, graças a contração que se dá pela perda de temperatura, ao consolidar-se o magma. A massa de tufos com lavas alternadas é freqüentemente atravessada por numerosos diques, muitos dos quais são circulares, e por chaminés, que ressaltam na topografia pela erosão diferencial.

O pico de Fernando de Noronha, que dá um aspecto bem característico à ilha, é um domo fonolítico injetado em tufos.

As outras ilhas oceânicas brasileiras possuem também uma constituição basáltica. Com excessão dos Abrolhos, que se situa na zona da plataforma continental, estas ilhas são emergências da grande dorsal Atlântica.

3. CONDICIONAMENTO GEOESTRUTURAL DAS ROCHAS VULCÂNICAS NAS ÁREAS DE MAIOR OCORRÊNCIA

O comportamento espacial, as características estruturais, texturais e mineralógicas dos tipos petrográficos, até então reconhecidos, nas áreas de mais ampla ocorrência das rochas vulcânicas do Brasil, podem ser ilustrados pelo seguinte perfil litológico composto:

PORÇÃO SUPERFICIAL DE DERRAME

a) Zona de desgaseificação

- Faixa de vesículas e/ou amígdalas em formas elipsoidais (sub-circulares ou alongadas horizontalmente), afigurando à zona típicas texturas fluidais, através das quais é possível obter-se informações sobre o sentido de escoamento-fluxo-da lava. As amígdalas estão preenchidas por minerais hidrotermais, cujos mais comuns são: quartzo e variedades microcristalinas ou hidratadas de sílica, calcita, cloritas e um grande número de zeólitas.
- Faixa de vesículas e/ou amígdalas alongadas em posição vertical ou subvertical. Mais especificamente, são colares de bolhas ou tubos de diâmetros circular ou elíptico, isolados ou agrupados, representando níveis de desgaseificação com tendência ascensional. Frequentemente atingem a faixa sobreposta, ou acabam em estruturas maiores.
- Faixa de vesículas e/ou amígdalas esféricas: localizam-se logo acima do basalto compacto, representando níveis estacionários de gases. Não é incomum a ocorrência de níveis com grandes amígdalas e geodos neste intervalo.

b) Zona de disjunção horizontal:

Rocha compacta, microcristalina, subdividida em lâminas por intenso fissuramento no plano horizontal.

PORÇÃO CENTRAL DE DERRAME

a) Zona de disjunção vertical:

A rocha é compacta, microcristalina, ocorrendo fenocristais em derrames muito espessos. O diaclasamento de contração é vertical. O desenvolvimento do aspecto colunar desta zona só é perfeitamente identificável em derrames com espessuras superiores ou aproximadamente de 15 metros. Normalmente, esta zona é delimitada por grandes linhas de descontinuidades que articulam os derrames. Tal fenômeno parece integrar-se às estruturas de derrames muito espesso, gerando, em termos de movimento, um relativo despreendi-

mento da parte central do derrame – face diferenças de velocidade – em relação às porções periféricas. Não é incomum, a ocorrência de fenômeno de desgaseificação na porção central do derrame. Entretanto, tais fenômenos são observáveis em níveis muito restritos, representando, às vezes, zonas vesiculares indiferenciadas, que dificilmente são confundidas com as zonas de desgaseificação superficial. Face à grande compacidade deste tipo textural é comum o desenvolvimento, nesta zona, de estrutura de alteração do tipo esfoliação esferoidal.

PORÇÃO BASAL DE DERRAME

a) **Zona de disjunção horizontal:**

Basalto microcristalino, apresentando, o magma, um comportamento análogo ao da porção superficial. A velocidade de resfriamento é mais rápida, o magma torna-se mais viscoso em direção à base e o decréscimo da velocidade de escorrimento é sobre acrescido pelo atrito deste com a superfície de fluxo.

b) **Zona vítrea:**

Material vítreo, preto, brilho de pixe, finamente vesicular, normalmente com espessuras variando de 5 a 10 metros.

Há de se ressaltar que, intercalados na série de unidades superpostas, representativas dos eventos magmáticos que ocorrem de forma intermitente e assíncronica, ocorrem os “diferenciados ácidos”, cujo posicionamento estratigráfico é ainda discutível, embora extensas ocorrências de campo, já delimitadas, permitem situá-las nos intervalos muito próximos ao topo do conjunto basáltico.

Nos “diferenciados ácidos” as estruturas características de base e topo dos derrames basálticos não são reconhecíveis, tornando difícil a individualização dos seus derrames. Entretanto, uma das características estruturais mais notáveis dos “diferenciados ácidos” é o diaclasamento plano-paralelo, densamente espessado, que os torna perfeitamente distinguíveis do conjunto básico.

4. MODELO HIDROGEOLÓGICO

A água subterrânea nas áreas de mais ampla ocorrência das rochas vulcânicas do Brasil, está condicionada a fatores de ordem genética e tectônica. Enquanto o primeiro fator é condicionante intrínscico da permeabilidade horizontal, o segundo condiciona as permeabilidades verticais, às quais intercomunicam as estruturas aquíferas interderrames.

Dentro deste contexto, o sistema aquífero Serra Geral constitui, pela sua extensão e modo de ocorrência, uma importante unidade hidrogeológica. A expressão regional do seu domínio, em termos de superfície e profundidade, e as condições de armazenamento e circulação da água subterrânea lhe conferem propriedades hidrogeológicas distintas e de grande interesse econômico.

Nos basaltos, o condicionamento hidrogeológico desfavorável geralmente só se configura nas porções centrais de cada derrame, ou quando são os mesmos compartimentados por intrusões de diabásio. As melhores propriedades aquíferas são condicionadas por uma série de unidades superpostas, apresentando, cada uma, feições originadas dos processos de fluxo e resfriamento de lava (LEINZ, 1949).

Face ao modo de ocorrência dos basaltos, a distribuição espacial das estruturas intraderrames e interderrames, e os estágios múltiplos de sua formação, constituem estes meio aquífero de notável heterogeneidade física. Em termos qualitativos e quantitativos, as características deste sistema de descontinuidades vai depender dos aspectos dimensionais e do agrupamento das fraturas. A condutividade hidráulica do meio é, portanto, muito variável, complexa e de difícil avaliação. Na prática, tem-se observado, através da interpretação de ensaios de bombeamento em poços tubulares, que as condições hidrogeológicas são heterogêneas e anisotrópicas, ocorrendo notável variação lateral da permeabilidade do meio. Trata-se, na realidade, de meios fraturados mais frequentemente descontínuos do que contínuos (FRAGA, 1986).

Não obstante, tais feições, como veremos a seguir, colocam os derrames basálticos, quanto às condições de aquíferos, numa situação bem mais promissora do que as demais rochas ígneas do contexto regional.

O estudo da relação entre as profundidades dos poços e as vazões calculadas reforça o condicionamento acima abordado, pois revela uma ampla dispersão dos valores em relação à média (figura - 3).

Em raras situações, onde as entradas principais de água nos poços relacionam-se a níveis fraturados espessos, profusamente vesiculares (meláfiros) é até admissível a delimitação de áreas produtoras em analogia aos meios isotrópicos, pois os testes de bombeamento em poços com características construtivas similares, apresentam idênticos valores de capacidade específica para os rebaixamentos disponíveis considerados.

Segundo (REBOUÇAS, 1976), as condições de ocorrência da água subterrânea no sistema Serra Geral são de aquíferos livres. Entretanto, nos poços mais profundos há tendência de evolução para ocorrências de águas subterrâneas sob condições confinadas, quando restritas aos contatos e juntas horizontais. Os aquíferos condicionados por estas estruturas podem ser mais ou menos independentes segundo às características de permeabilidade dos derrames que os separam.

De outra forma, cada derrame em termos geoestruturais possui um conjunto de estruturas de fluxo de lava e resfriamento bem definidas - identificáveis por alternância textural - determinantes no armazenamento e circulação da água subterrânea. Assim, a zona vítrea, porção inferior de cada derrame, apresenta-se como uma camada argilosa de alguns metros de espessura. É o produto da desvitrificação da matéria amorfa. Disposta sobre a zona vítrea, ocorre a zona de disjunção horizontal que se caracteriza pelo diaclasamento em planos horizontais, espaçados de poucos centímetros, condicionando a água subterrânea a uma circu-

lação horizontal, freqüentemente não muito efetiva, face à presença de materiais de alteração junto aos planos de fraturas. Já a percolação da água subterrânea na zona de disjunção vertical vai alimentar as diaclases horizontais subjacentes. A alteração do basalto nesta zona (porção central) é reduzida, constituindo geralmente o trecho mais resistente à perfuração. No topo de cada derrame ocorre a zona de desgaseificação. Os gases da lava são aprisionados junto à superfície do derrame pelas placas já consolidadas em contato com a atmosfera. A mistura de gases e placas forma um complexo escoriáceo de aspecto esponjoso e de coloração avermelhada. Os vacúolos presentes nesta última zona (vesículas e/ou amígdalas) possuem diâmetros que variam de milímetros até dezenas de centímetros. A permeabilidade da zona de desgaseificação depende da disposição espacial dos vacúolos. Quando os mesmos são interconectados por sistemas de fraturamento, as condições de armazenamento da água subterrânea são excelentes (figura 4).

Além dos aspectos acima mencionados, convém ressaltar ainda que em muitos locais de barragens tem sido observadas descontinuidades horizontais de tão grande importância quanto os contatos e o processo de disjunção do basalto (REBOUÇAS, 1976). Estas estruturas foram denominadas por GUIDICINI & CAMPOS (1978) de "juntas-falhas". Segundo estes autores, estas juntas podem se estender por várias centenas de metros e variam desde uma única fenda até uma faixa extremamente fraturada, cuja espessura pode atingir de um a dois metros. Os próprios autores, nos seus estudos de viabilidade para locação de poços, tem tido a oportunidade de identificá-las em inúmeras frentes de pedreiras da região Norte do Paraná.

Nos domínios das descontinuidades interderrames e diaclases horizontais, os coeficientes de condutividade hidráulica variam entre 10^{-3} e 10^{-5} m/s, enquanto no corpo do basalto compacto, onde predominam as fissuras verticais de resfriamento, o valor médio é de 10^{-9} m/s (FARJALLAT, 1974).

As determinações de permeabilidade, pelos métodos de injeção da água sob pressão ou de ar, são sintetizadas na tabela 1, sendo o valor médio de 10^{-5} m/s.

O fenômeno de intemperismo e erosão verificados nos intervalos de tempo entre um evento magmático e outro, podem ocasionar a ausência de uma das zonas estruturais dos derrames, principalmente a zona de desgaseificação, pelo caráter mais friável que apresenta. Além disso, o desenvolvimento diferenciável das estruturas de fluxo de lava e resfriamento só é observado em derrames espessos. Normalmente, a espessura da zona de desgaseificação é extremamente variável. Nos derrames com espessura inferior a 10 m, pode esta ocupar toda a sua extensão.

Feições maiores como falhas, diques e sils de diabásio, alteram as condições originais de fluxo d'água nas zonas interderrames. Estas estruturas têm grande importância para a recarga e circulação da água subterrânea dos basaltos. De modo geral, as melhores condições verificam-se quando derrames com zonas

profusamente vesiculares são afetados por fraturamentos extensos e profundos, condições nas quais os vacúolos são interconectados e a recarga do aquífero, além de se verificar por áreas mais extensas, é mais efetiva. As condições mais adversas são determinadas pela presença de diques e sils, que constituem barreiras hidrogeológicas, bloqueando a continuidade do fluxo subterrâneo. Muitas das grandes variações potenciométricas podem ter aqui a sua origem.

5. FONTES DE RECARGA

Nos dois domínios mais importantes de ocorrência de rochas vulcânicas no Brasil – Bacia do Paraná e Ilha de Fernando de Noronha, os fatores de ordem pluviométrica são altamente favoráveis à recarga das zonas aquíferas.

Com efeito, na bacia do Paraná, os índices pluviométricos médios situam-se entre 1000 a 2400 mm/ano, com coeficientes de variação de 15%. Vale salientar que, no domínio ao norte do Trópico de Capricórnio, as médias anuais situam-se entre 1000 e 1200 mm e o período chuvoso vai de novembro à março, sendo a pluviosidade dos três meses mais chuvosos superior a 45% do total anual. Ao sul do Trópico chove praticamente todo o ano, com médias anuais situadas entre 1200 a 2400 mm/ano.

As taxas médias de evaporação potencial variam entre 650 a 1100 mm/ano.

A duração média anual de insolação é de 2000 horas. As temperaturas são variáveis situando-se as médias anuais em torno de 20°C nos domínios topográficos com altitudes inferiores a 800 m, e de 14°C nos setores montanhosos com altitudes superiores. As amplitudes diárias absolutas são de 40°C e de 15°C em termos de médias.

Os solos são férteis e bem drenados com permeabilidade variáveis entre 10^{-4} e 10^{-7} m/s. O relevo predominante é do tipo planalto estrutural limitado por falésias e recortado por vales com encostas escalonadas.

Na ilha de Fernando de Noronha a pluviometria média anual é de 1303 mm, registrando-se no período de março à julho os maiores índices de precipitação. A temperatura média anual é de 25°C, com amplitude térmica média de 4°C. A insolação média anual é de 3.216 horas, sendo a evaporação potencial variável entre cerca de 85 mm no mês de abril e 135 mm no mês de outubro. O total anual é da ordem de 1400 mm, portanto, superior ao índice pluviométrico.

A topografia é acidentada e a vegetação predominante é muito rala e subxerófila.

Quanto aos mecanismos de recarga, há de se ressaltar que estes são assegurados, preferencialmente, por dois condicionamentos distintos:

- a) Infiltração de águas pluviais a partir de rupturas regionais importantes
- b) Infiltração de água armazenada nas coberturas sedimentares pós-basálticas

No que tange ao primeiro condicionamento – rupturas regionais importantes –, é oportuno ressaltar que há, inclusive, evidências de intercâmbio de fluxo ascendentes e descendentes com o horizonte aquífero Botucatu (figura 5). Nas áreas de artesianismo jorrante do aquífero Botucatu, isto é, nos domínios topográficos com cotas inferiores a 500 m, há fluxos ascendentes. Ao contrário, nos domínios topográficos cujas altitudes são superiores a 500 m, há fluxos descendentes dos aquíferos Bauru/Basalto para recarregar o aquífero Botucatu. Estes mecanismos de recarga indireta representam a principal fonte de realimentação do aquífero Botucatu, estimando-se em cerca de 70% do total das recargas naturais (REBOUÇAS, 1976).

Na área recoberta pelos sedimentos do Grupo Bauru, isto é, sobre cerca de 44% da extensão de rochas vulcânicas da bacia do Paraná, os recursos subterrâneos estão intimamente relacionados. A cobertura sedimentar constitui o grande instrumento de recarga dos derrames subjacentes, onde se processa com maior amplitude a circulação da água subterrânea. Segundo FRAGA (1986), os derrames subjacentes, na maioria dos casos, devem corresponder aos últimos eventos magmáticos, dada a presença marcante de estruturas melafricas na maior parte da amostragem das perfurações. Nestas condições, na maioria dos poços que penetraram no substrato basáltico, foi verificado o comportamento artesianiano que, aliado aos valores médios e elevados das capacidades específicas, sugerem áreas de recarga mais ou menos distante dos pontos de captação.

6. ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE EXPLORAÇÃO

A grande heterogeneidade das zonas aquíferas, a qualidade técnica dos dados disponíveis e a grande extensão dos domínios de rochas vulcânicas conduzem à uma análise histórica e setorial.

Os dados referentes a uma centena de poços relacionados no Rio Grande do Sul (HAUSMAN, 1966), indicam níveis estáticos que variam de 0,32 a 130 m de profundidade, sendo o valor modal de 30m. A profundidade dos poços varia entre 31 a 190m, sendo a moda de 130m. As capacidades específicas variaram de 4.10^{-3} m/h.m a 38 m³/h.m, sendo a moda de 0,47 m³/h.m. MAACK (1970) relaciona 163 poços na bacia do rio Uruguai, indicando capacidades específicas situadas entre $3,5.10^{-3}$ m³/h.m a 4,0 m³/h.m.

Nos basaltos do Estado do Rio Grande do Sul (Brasil) e Uruguai, os quais cobrem uma área de $2,12. 10^5$ km², assinala-se como fator positivo, a densidade do fraturamento tectônico capaz de estabelecer interconexão das zonas muito permeáveis inter ou intra derrames. Nas faixas altamente tectonizadas os rendimentos mais freqüentes estão entre 10 e 15 m³/h, podendo atingir 90 m³/h. Nos basaltos moderadamente tectonizados as vazões situam-se entre 6 a 10 m³/h, ocorrendo de forma excepcional valores de 20 m³/h. Finalmente, nas faixas pouco fraturadas com preenchimento por mineralizações secundárias, os rendimentos

mais freqüentes situam-se entre 2 a 4 m³/h (HAUSMAN, 1974).

No Estado de São Paulo, 220 poços tem profundidade média de 102 m. As vazões são muito variáveis, entre menos de 1 m³/h até mais de 150 m³/h, e com capacidade específica modal de 0,5 m³/h.m (DAEE 1974, 1976 e 1980).

Valores excepcionais de produtividade são assinalados em São Paulo, (GIAMPÁ & SOUZA, 1982) e relacionados à influência de falhamentos regionais, tais como: Maracai-SP 22,7 m³/h.m, Tupã-SP 53,3 m³/h.m, Gastão Vidigal 20,0 m³/h.m, São Manoel-SP, 62,0 m³/h.m. Nos 60 poços restantes, utilizados para abastecimento público, a capacidade específica varia entre 0,80 e 7,7 m³/h.m, evidenciando a importância de uma locação criteriosa sobretudo em termos geoestruturais.

A análise estatística dos resultados de 38 poços perfurados na bacia hidrográfica do rio Iguaçu na região Sul e Sudeste do Estado do Paraná, mostra que as entradas d'água mais promissoras (vazões de 6 a 11 m³/h) ocorrem até uma profundidade máxima de 70 m. Em relação aos lineamentos tectônicos identificáveis na superfície, observa-se uma convergência positiva para as estruturas de direção NE (ROSA FILHO et al., 1984).

Um rigoroso controle técnico desde a fase de locação, perfuração e teste foi realizado em 225 poços perfurados na área de ocorrência de rochas vulcânicas no Estado do Paraná (FRAGA, 1986). A integração e análise dos fatores condicionantes da produtividade dos poços, levaram a seguintes hierarquizações: (1) em primeiro lugar vêm as feições estruturais aliadas a drenagem, sendo mais favorável quanto maior for seus efeitos aquíferos; (2) a espessura dos derrames, sendo tanto mais favorável quanto menos espesso; (3) tipos de texturas, destacando-se os tipos vesiculares associados a corpos macrocristalinos com fraturas horizontais de solifluxão; (4) presença de tipos litológicos intrusivos é fator desfavorável. Estas ocorrências obliteram as ligações verticais das zonas relativamente mais permeáveis interderrames; e (5) a presença de recobrimento sedimentar residual ou de solos, sendo tanto mais favorável quanto mais espesso, uma vez que funcionam como aquíferos de transferência para as zonas fraturadas permeáveis subjacentes. Contudo não deve ser esquecido, também, que a simples análise estrutural e litoestratigráfica poderá não conduzir a resultados satisfatórios se à mesma não for integrada a evolução tectônica da bacia do Paraná, quando, então, relacionar-se-ia a idade e o tipo dos eventos e seus efeitos ao condicionamento do aquífero (FRAGA, 1986).

A integração dos fatores condicionantes possibilitaram o zoneamento do Estado do Paraná em dois domínios hidrogeológicos distintos. Serra Geral Norte onde, com base nos dados de 165 poços, a vazão modal é de 42 m³/h/poço. Serra Geral Sul, onde a moda de vazões dos 45 poços analisados é de apenas 10,7 m³/h/poço. Vale salientar que o setor Serra Geral Sul corresponde à bacia hidrográfica do rio Iguaçu. A figura 6 ilustra bem as diferenças hidrogeológicas marcantes entre estes dois compartimentos, pois o valor da probabilidade log normal da mediana da capacidade específica Norte é 6,5 vezes maior do que aquela encon-

trada para os poços da área Sul (FRAGA, 1986).

Considerando-se um total de 473 poços, situados nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e tendo-se por base os resultados dos testes de produção das empresas de perfuração, obtém-se uma capacidade específica modal de $0,7 \text{ m}^3/\text{h.m}$ (REBOUÇAS, 1978). Vale salientar que, com base nos dados das empresas, 51 poços de Campo Grande teriam uma capacidade específica modal de $0,39 \text{ m}^3/\text{h.m}$. Porém na realização de testes com auxílio de bombas submersas (REBOUÇAS & LASTROIA, 1980) obteve-se um valor modal de quase o dobro de $0,75 \text{ m}^3/\text{h.m}$. Observa-se também, que houve uma pequena melhoria de níveis estático e dinâmico com o tempo, fruto certamente de uma progressiva desobstrução das entradas d'água. Os elementos da figura 7 ilustram as curvas características obtidas, tendo-se concluído sobre a possibilidade de exploração de 20 a $25 \text{ m}^3/\text{h/poço}$ para rebaixamentos máximos disponíveis, cujos valores permitem obter-se quase o triplo da produtividade avaliada pelas empresas de perfuração.

Dados comparativos entre poços que tiveram acompanhamento hidrogeológico adequado e os não controlados mostram que os primeiros obtiveram vazões entre 50 e 70% superiores (AGUIAR et al, 1984).

Os coeficientes de transmissividade, analisados a partir de medidas de recuperação de nível em poços de bombeamento, são muito variáveis, com valores de 9 a $700 \text{ m}^2/\text{dia}$.

As ilhas vulcânicas foram objeto de estudos hidrogeológicos preliminares com vistas ao abastecimento das populações lá existentes. Os dados publicados referem-se à ilha de Fernando de Noronha (FRANCA, 1966; BELTRÃO, 1974) figura 8.

As águas subterrâneas são exploradas através de 15 poços tubulares cujas vazões variam entre 0,5 e $10 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo a moda de $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Conta-se ainda 5 poços escavados com vazões entre 0,4 e $16 \text{ m}^3/\text{h}$, e moda de $8 \text{ m}^3/\text{h}$ e 4 fontes cujas vazões médias variam entre 0,3 e $0,9 \text{ m}^3/\text{h}$. Vale salientar que todas estas captações foram realizadas no período da II Guerra Mundial, tendo em vista a importância estratégica da ilha. O volume explorável por dia, considerando-se o regime de 8 horas de bombeamento, é estimado em 272 m^3 .

Este manancial é complementado através da captação de água de chuva por meio de um impluvium artificial de 12.000 m^2 . O volume captado é estocado em duas cisternas com capacidade total de 800 m^3 . Cisternas de menor porte estocam águas de chuva recolhidas pelos telhados das instalações militares e residências mais importantes.

Para abastecimento dos rebanhos utiliza-se uma barragem com capacidade de 3.000 m^3 . O problema do abastecimento caracteriza-se quando a estiagem se prolonga. Entretanto, só o manancial subterrâneo já seria suficiente, se os poços tubulares fossem melhor operados.

7. QUALIDADE DA ÁGUA

Em termos de qualidade, as águas no Estado de São Paulo, tem pH ácido e ligeiramente alcalino (pH entre 5 e 6,5). A mineralização total média é de 200 mg/l, ocorrendo anomalia de até 800 mg/l e casos isolados com teores elevados de fluor de até 8,0 mg/l, sendo estes relacionados à proximidade de grandes lineamentos.

Nos setores recobertos pelos sedimentos do Grupo Bauru, a qualidade das águas é imposta pelos recobrimentos, sendo os STD variável no intervalo de 100 e 200 mg/l, predominando o tipo bicarbonatado cálcio magnésiano.

Os dados hidroquímicos disponíveis no domínio do Estado do Paraná revelam que as águas típicas dos basaltos são bicarbonatadas cálcicas. Nos domínios com condições de fluxos ascendentes do aquífero Botucatu, predominam os tipos sódicos (figura 9). Vale salientar que nas fontes termais associadas a fraturamentos importantes, predomina o tipo bicarbonatado sódico ou tipos mistos, decorrentes dos processos de mistura impostos pelos distintos condicionamentos hidrogeológicos (FRAGA, 1986).

Na ilha de Fernando de Noronha a qualidade química das águas, expressa em termos de mineralização total, varia entre 122 mg/l e 1700 mg/l. Vale salientar que os teores de NO_3 em 35% são superiores a 30 mg/l, decorrente da falha de proteção sanitária das captações.

8. MÉTODOS DE EXPLORAÇÃO

O método de perfuração mais utilizado é ainda a percussão a cabo seguindo-se, nos últimos dez anos, roto-pneumático.

Nos poços não são instalados filtros e o revestimento de aço ou PVC atinge profundidades variáveis entre 10 e 50 m e cimentação superficial para proteção sanitária. Os diâmetros de perfuração variam de 4 até 12".

Ao longo dos últimos 10 anos alguns trabalhos de locação e perfuração passaram a contar com a participação de pessoal qualificado, resultando em um sensível avanço tecnológico e científico e maior produtividade dos poços. A grande explosão de demanda de poços que ora se registra, teve início há cerca de uma década, sob o impacto do desenvolvimento agrícola e industrial na região e com a fabricação local de equipamentos de perfuração, de bombas submersas e fornecimento abundante e generalizado de energia elétrica no meio rural.

9. POTENCIALIDADES HIDROGEOLÓGICAS

O potencial de água subterrânea de uma região é definida como a quantidade disponível para utilização, em forma de exploração racional.

Ressalta-se ainda que, tais potencialidades não são valores numéricos constantes, mas podem variar em função da evolução dos meios técnicos e financeiros de exploração, das influências sobre o comportamento do balanço hídrico e das condições econômicas dos projetos. Com base no balanço hidrogeológico dos rios que drenam os domínios aflorantes, a recarga anual dos basaltos é estimada em $140 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$, ou seja uma lâmina média de 140 mm/ano. Considerando-se que 1/3 apenas fosse explorável através de poços e das fontes, ter-se-ia um potencial de $46 \cdot 10^9 \text{ m}^3 \text{ ano}$.

Considerando-se a existência de 5.000 poços sobre os 10.000 existentes em funcionamento, num regime de 12 horas por dia e bombeamento uma vazão média de $20 \text{ m}^3/\text{h}$, os recursos disponíveis seriam da ordem de $0,4 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$, portanto, cerca de 10% das potencialidades.

10. ASPECTOS ECONÔMICOS E FORMAS DE USO

Até duas décadas atrás a água subterrânea era usada predominantemente no meio rural para abastecimento de animais, uso doméstico e abastecimento de pequenas comunidades urbanas. Atualmente, observa-se uma crescente demanda por parte das indústrias e desenvolvimento de irrigação de hortaliças, pomares e abastecimento de piscinas e de outras variadas estruturas de lazer. Esta última atividade experimenta um crescimento acelerado levando para o meio rural próximo aos centros urbanos mais importantes da área, alguns dos seus problemas característicos. A poluição das águas subterrâneas ocorre em escala local. Em muitas áreas a quantidade é o fator limitante, em outras áreas as demandas atuais podem ser atendidas, porém futuras demandas irão necessitar de recursos complementares. Em termos de qualidade, alguns íons tais como fluor, ferro silício ou ocorrência natural de compostos de nitrogênio, constituem fatores limitantes. Porém, o desenvolvimento de uma agricultura com uso intensivo de insumos modernos constitui a principal ameaça ao manancial hídrico subterrâneo das rochas vulcânicas na bacia do Paraná. Os casos identificados de contaminação por pesticidas, herbicidas e adubos químicos são cada dia mais frequentes, não obstante o baixo nível de conhecimento da população em geral e os limitados recursos para o estabelecimento de diagnósticos médicos seguros. O crescimento das demandas causado pelo desenvolvimento econômico e aumento da população, exigem investigações mais detalhadas sobre o sistema aquífero, incluindo informações sobre as suas propriedades hidrodinâmicas, recarga, descarga, aplicação de meios diretos e indiretos de prospecção geológica e geofísica, capazes de definir os melhores locais para captação.

Os progressos realizados ao nível dos equipamentos de perfuração e, sobretudo, de bombeamento, não foram acompanhados pelo desenvolvimento dos conhecimentos hidrogeológicos e aplicação de tecnologias de reconhecida eficiência nas fases de locação, projeto, construção, desenvolvimento, estimulação,

eração e manutenção dos poços. Atualmente, ainda é freqüente a improvisação e o empirismo, dando-se preferência aos poderes místicos do "apontador de água" em detrimento da disponibilidade de pessoal tecnicamente qualificado. Em muitos setores sócio-econômicos com qualificação tecnológica ou científica, ainda se considera a alternativa de exploração das águas subterrâneas como uma lote-

As investigações hidrogeológicas sistemáticas tiveram início na década de 70 e necessita-se de um esforço crescente para se evitar os desperdícios de recursos financeiros, representados por poços mal localados, construídos e operados. Há falta uma legislação adequada e os meios administrativos de implementação ao nível Federal, Estadual e Municipal para controle de construção e uso dos poços.

11. CONCLUSÕES

As rochas vulcânicas no Brasil constituem um meio aquífero muito importante para abastecimento industrial, pastoril, doméstico rural e urbano de pequeno porte. Para se chegar a um nível adequado de uso e proteção da qualidade, e de melhor eficiência dos investimentos realizados ao nível das captações, torna-se necessário realizar estudos hidrogeológicos básicos e proporcionar maior disseminação dos conhecimentos disponíveis ao nível da comunidade geral.

Atenção especial deverá ser dada aos efeitos das atividades humanas, incluindo as formas de impactos sobre a qualidade e quantidade das águas das zonas aquíferas das rochas basálticas.

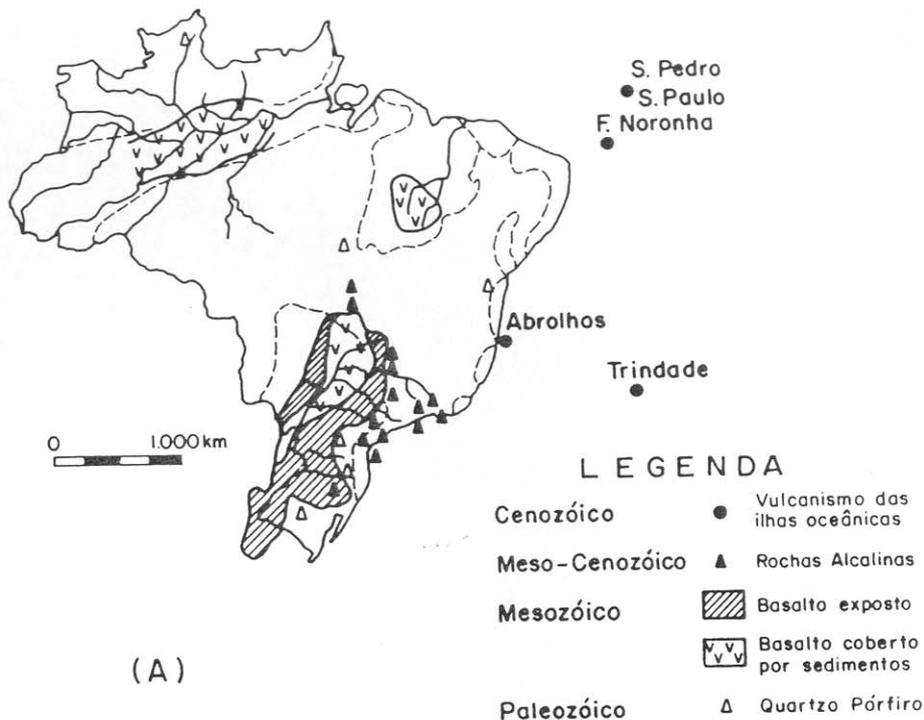
Mais aplicações metodológicas deverão ser introduzidas ao nível da exploração, captação, operação, manutenção dos poços e também prover a comunidade em geral, de uma legislação e meios administrativos de controle para garantir o uso e proteção das águas subterrâneas em geral.

BIBLIOGRAFIA

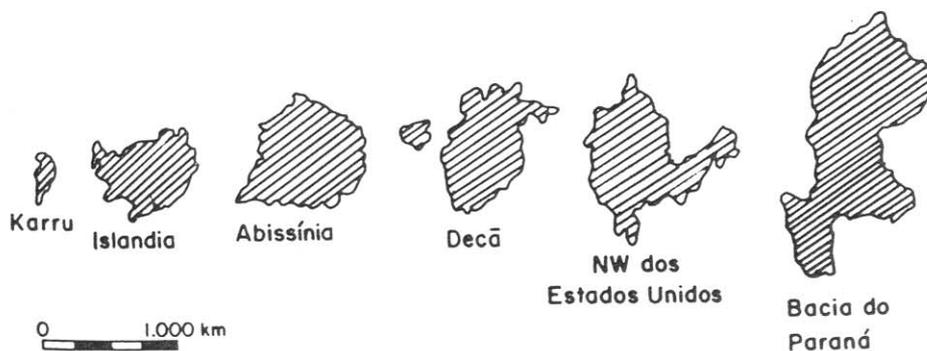
- AGUIAR, A.T. de; ANDRADE, E. de P.; HIRATA, R.C.A.; e SILVA R.B.G. da (1984) – **DAEE – 10 Anos de Experiência Acumulada na Exploração dos Recursos Hídricos Subterrâneos**. Fortaleza, Anais 3º Congr. Bras. Águas Subterrâneas vol. 1 p. 1-30 inclui bibliografia.
- AGUIAR, G.A. (1971) – **Revisão Geológica da Bacia Paleozóica do Maranhão**. São Paulo, Anais XXV Congr. Bras. Geol.; Soc. Bras. Geol. v. 3 p. 113-122.
- ALMEIDA, F.F.M. de (1955) – **Geologia e Petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha**. Rio de Janeiro, Dep. Nac. Prod. Min. Div. Geol. Min. 181 p. (Monografia nº 13)
- ALMEIDA, F.F.M. de (1956) – **O Planalto Basáltico da Bacia do Paraná – São Paulo**. Bol. Paulista de Geografia nº 4 140 p. inclui bibliografia.
- ALMEIDA F.F.M. de (1981) – **Síntese sobre a Tectônica da Bacia do Paraná**. Anais Simpósio Regional de Geologia III. Curitiba, Soc. Bras. Geol., p. 1-20 inclui bibliografia.

- BELTRÃO, A.E. de A. (1974) – **Aspectos Hidrogeológicos do Território de Fernando de Noronha**. Série Brasil SUDENE, Hidrogeologia, 49, 49 p. inclui bibliografia.
- BRASIL – DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (1974) – **Estudo de Águas Subterrâneas**. Região Administrativa nº 6 (4) vol. Atlas; (1976) Reg. Ad. 7, 8, 9, (4) vol. Atlas; (1980) Reg. Ad. 10, 11 (4) vol. Atlas.
- CHANDRA, N.N. (1984) – **Potencialidades Hidrogeológicas dos Basaltos de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul**. Fortaleza, Anais 3º Congr. Bras. Águas Subterrâneas, vol. 1 p. 44-68.
- CORDANI, U.G.; BLAZEKOVIC, A. (1970) – **Idades Radiométricas das Rochas Vulcânicas dos Abrolhos**. Brasília, Anais XXXIV Congr. Bras. Geol., Soc. Bras. Geol. p. 265-270. Inclui bibliografia.
- FARJALLAT, J.E.S. (1974) – **Comportamento da permeabilidade ao ar de alguns basaltos do Sul do Brasil**. Porto Alegre, Anais Congr. Bras. Geol., Soc. Bras. Geologia vol. 7. p. 113-121 inclui bibliografia.
- FRAGA, C.G. (1976) – **Introdução ao Zoneamento do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná**. Dissertação de Mestrado Inst. Geoc. Univ. São Paulo – p. 125 – inclui bibliografia.
- FRANCA, N.R. dos A. (1966) – Hidrogeologia da ilha de Fernando de Noronha. Relatório da SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, 13 p. (inédito).
- GIAMPÁ, C.E.Q.; SOUZA, J.C. (1982) – **Potencial Aquífero dos Basaltos da Formação Serra Geral no Estado de São Paulo**. Anais 2º Congr. Bras. Águas Subterrâneas, ABAS, Salvador, p. 3-16.
- GIAMPÁ, C.E.Q. (1982) **Modo de Ocorrência dos Fluoretos nas Águas Subterrâneas da Formação Serra Geral – Constatação em Santa Albertina**. Salvador, Anais 2º Congr. Bras. Águas Subterrâneas p. 299-304 – inclui bibliografia.
- GUIDICINI, G.; CAMPOS, J. de O. (1967) – **Notas Sobre a Morfogenese dos Derrames Basálticos**. São Paulo, Bol. Soc. Bras. Geol. 17 (1) 15-28.
- HASUI, Y. CORDANI, U.G. (1968) – **Idades Potássio Argônio de Rochas Eruptivas Mesozóicas do Oeste mineiro e Sul de Goiás**, Belo Horizonte, Anais XXII Congr. Bras. Geol.; Soc. Bras. Geol. p. 139-143 – inclui bibliografia.
- HAUSMAN, A. (1956) – **Relatório sobre a Hidrogeologia da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Notas para uma divisão Regional do Rio Grande do Sul Rev. Eng. do RGS nº 34: 15-22.
- HAUSMAN, A. (1966) – **Comportamento do Freático nas Áreas Basálticas do Rio Grande do Sul**. Curitiba, Bol. Paranaense de Geografia, nº 18 20 p. – inclui bibliografia.
- HAUSMAN, A.; FERNANDES, A. (1967) – **Hidrogeologia de los Basaltos de NW Uruguayo Univ. de la República**. Montevideo.
- HAUSMAN, A. (1974) **Aspectos Hidrogeológicos dos Aquíferos Fissurados no Sul da Bacia do Paraná**. São Paulo, Rev. Água Subterrânea vol. 1 nº 4 p. 44-60.
- LEINZ, V. (1937) – **Observação nos Contatos de Diabásio com Sedimentos**. Rio de Janeiro, Serv. Geol. Min. Notas Preliminares e Estudos 7: 13-16.
- LEINZ, V. (1949) – **Contribuição à Geologia dos Derrames Basálticos do Sul do Brasil**. São Paulo, Bol. Fac. Filos. Ciências e Letras, USP, (Geol. 5) 103 p. – inclui bibliografia.
- LEINZ, V. (1953) – **Água Subterrâneas com Referência a São Paulo**. São Paulo, Ciência e Cultura, vol. 3: 119-120.

- LEINZ, V.; SALLENTIEN, B. (1962) – **Água Subterrânea no Estado de São Paulo e Região Limítrofes**. São Paulo, Bol. Soc. Bras. Geol. 11 (1) p. 27-36.
- LEINZ, V.; BARTORELLI, A.; SADOWSKI, G.R.; ISOTA, C.A.L. (1966) **Sobre o Comportamento Espacial do Trapp Basáltico da Bacia do Paraná**. São Paulo. Bol. Soc. Bras. Geol. 15 (4) p. 79-91 – inclui bibliografia.
- LEINZ, V.; AMARAL, S.E. do (1980) – **Geologia Geral** 8^o ed. São Paulo, Ed. Nacional. 397 p. – inclui bibliografia.
- MAACK, R. (1970) – **Notas Preliminares sobre as Águas Subterrâneas da Bacia do Paraná – Uruguai**. Curitiba, 162 p. (inédito).
- MELFI, Á.J. (1967) – **Potassium – Argon Ages for Core Sample of Basaltic Rocks from Southern Brasil**. Geoch. et Cosmoch. Acta p. 1079-89.
- OLIVEIRA, A.M.S.; SILVA, R.F. da GUIDICINI, G. (1976) – **Comportamento Hidrogeotécnico dos Basaltos em Fundações de Barragens**. Rio de Janeiro. Anais 1^o Congr. Bras. de Geologia de Engenharia p. 145-156.
- PESSOA, M.S.; TUCCI, E.C.M.; SILVEIRA, A.L.L. (1984) – **Análise Estatística da Determinação de Vazões de Poços: Estado do Rio Grande do Sul, São Paulo**. Rev. Bras. Engenharia – Caderno de Recursos Hídricos vol. 2 n^o 2 p. 31-53.
- REBOUÇAS, A.C. (1976) – **Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia do Paraná – Análise de Pré-viabilidade**. São Paulo, (Tese Livre Docência) Inst. Geociências, Univ. São Paulo, 143 p. – inclui bibliografia.
- REBOUÇAS, A.C. (1978) – **Potencialidades Hidrogeológicas dos Basaltos da Bacia do Paraná no Brasil**. Recife, Anais XXX Congr. Bras. Geol., Soc. Bras. Geol. v. 6 p. 2963-76 – inclui bibliografia.
- REBOUÇAS, A.C. (1979) – **Ground Water in Brazil**. México, Proc. III World Congress v. 7, p. 3384-99 – inclui bibliografia.
- REBOUÇAS, A.C.; LASTROIA, G. (1980) – **Potencial Hidrogeológico dos Basaltos de Campo Grande – Mato Grosso do Sul**. Recife, Anais 1^o Congr. Bras. Águas Subterrâneas, 415-426 – inclui bibliografia.
- REBOUÇAS, A. de C. (1980) – **Potencial Hidrogeológico da Bacia do Paraná – Brasil**. Anais 1^o Congr. Bras. Águas Subterrâneas p. 35-48 – inclui bibliografia.
- REZENDE, W.M. de (1971) – **O mecanismo de intrusões de diabásio nas bacias paleozóicas do Amazonas e do Maranhão**. Anais do XXV Congres. Brasil. de Geol.; SBG – vol. 3. p. 123-37.
- ROSA FILHO, E.F.; KONDO, M.; SALAMUNI, R. (1984) – **Água Subterrânea nos Basaltos da Bacia do Iguaçu**. Fortaleza, Anais III Congr. Bras. Águas Subterrâneas. vol. 1, p. 217-23 – inclui bibliografia.
- RÜEGG, N.R. (1975) – **Modelos de Variação Química na Província Basáltica do Brasil Meridional**. Tese Livre-Docência, Dept^o de Min. Petrologia IG-USP, 740 p. – inclui bibliografia.
- SARTORI, P.L.; MACIEL FILHO, C.L. (1976) – **Petrografia de Sequência Vulcânica da Formação Serra Geral no Rebordo Ocidental do Planalto Meridional – Rio Grande do Sul**. Anais XXIV Congr. Bras. Geol. vol. 1 p. 297.
- SZUBERT, E.C.; KIRCHNER, C.A.; SHINTAKU, I. (1978) – **Vulcanismo Ácido no Planalto Meridional do Rio Grande do Sul**. Anais XXX Congr. Bras. Geol., v. 3 p. 1350-56 – São Paulo.
- WASHBURNE, C.W. (1930) – **Petroleum Geology of the state of São Paulo, Brazil**. Bol. Com. Geol.



(A)



(B)

Fig. 01 (A) - ATIVIDADES VULCÂNICAS NO BRASIL (LEINZ, AMARAL - 1980)
 (B) - ÁREAS DOS PRINCIPAIS DERRAMES DE LAVAS BASÁLTICAS OCORRIDAS NO MESOZÓICO INFERIOR E TERCIÁRIO SUPERIOR (LEINZ, AMARAL - 1980)

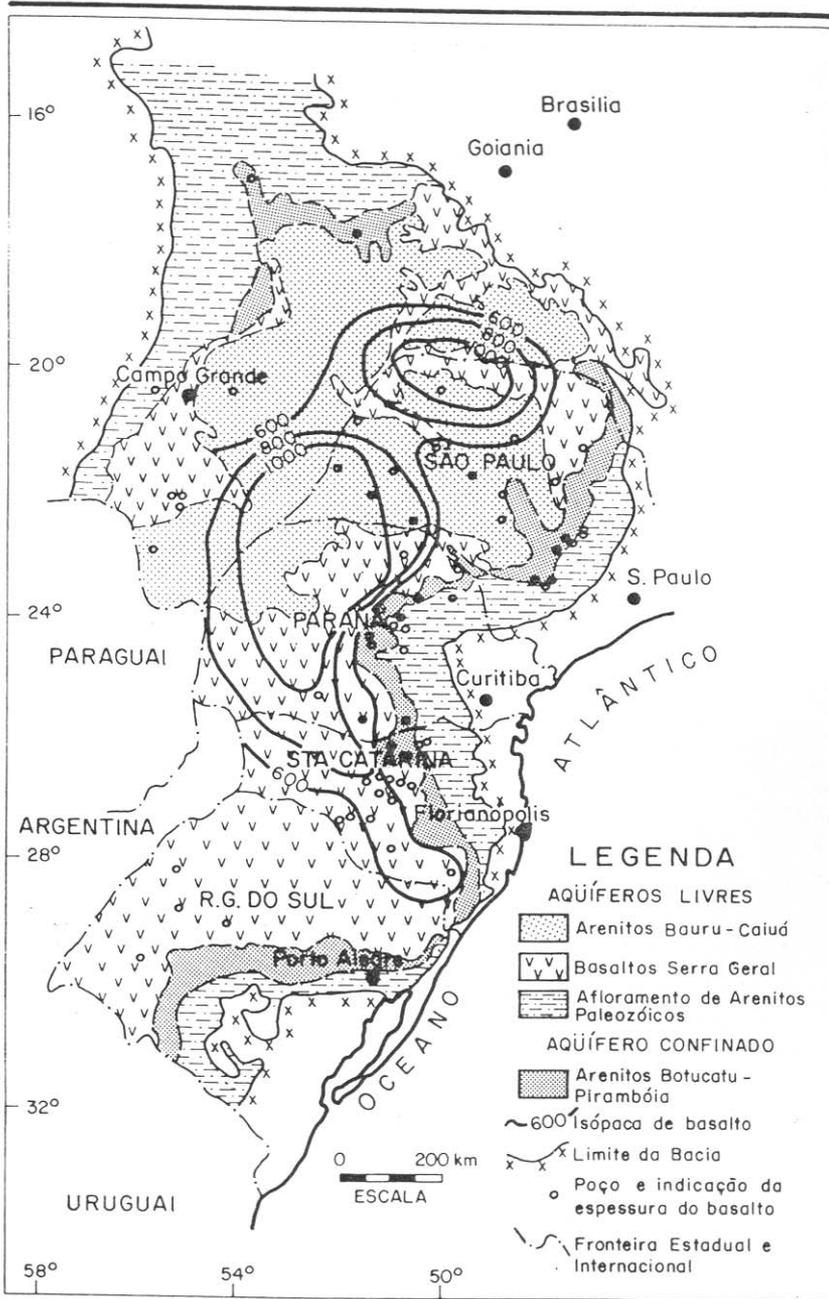


Fig. 02 - ISOPACAS DOS BASALTOS NA BACIA DO PARANÁ (REBOUÇAS, 1978).

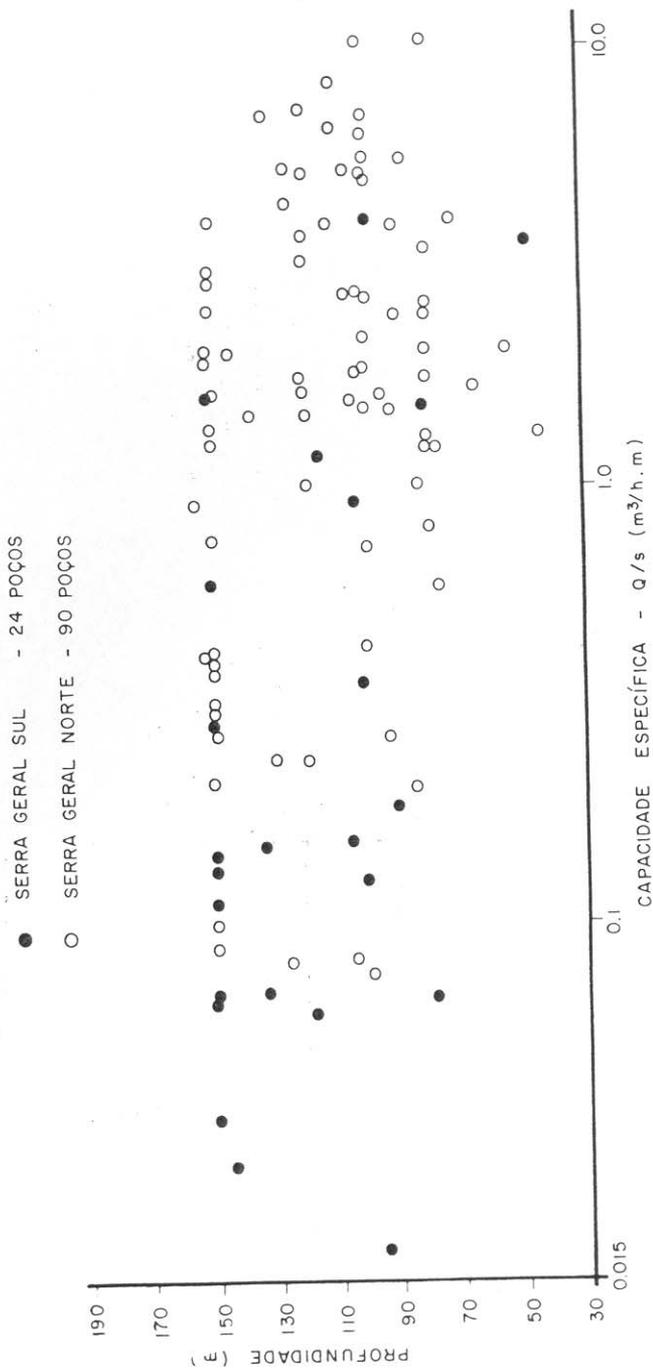


Fig. 03 - CORRELAÇÃO ENTRE A CAPACIDADE ESPECÍFICA E PROFUNDIDADE NO ESTADO DO PARANÁ (FRAGA, 1986)

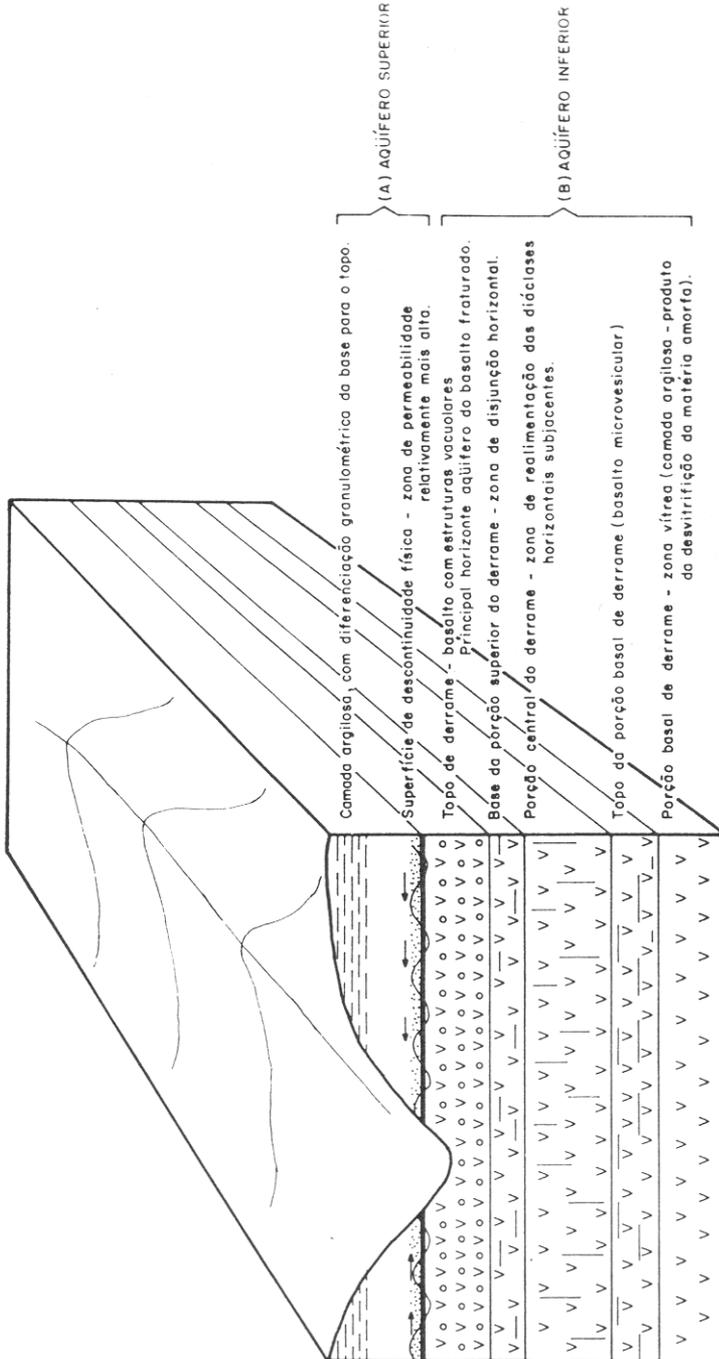


Fig.04 - MODELO SIMPLIFICADO DE OCORRÊNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (FRAGA, 1986)

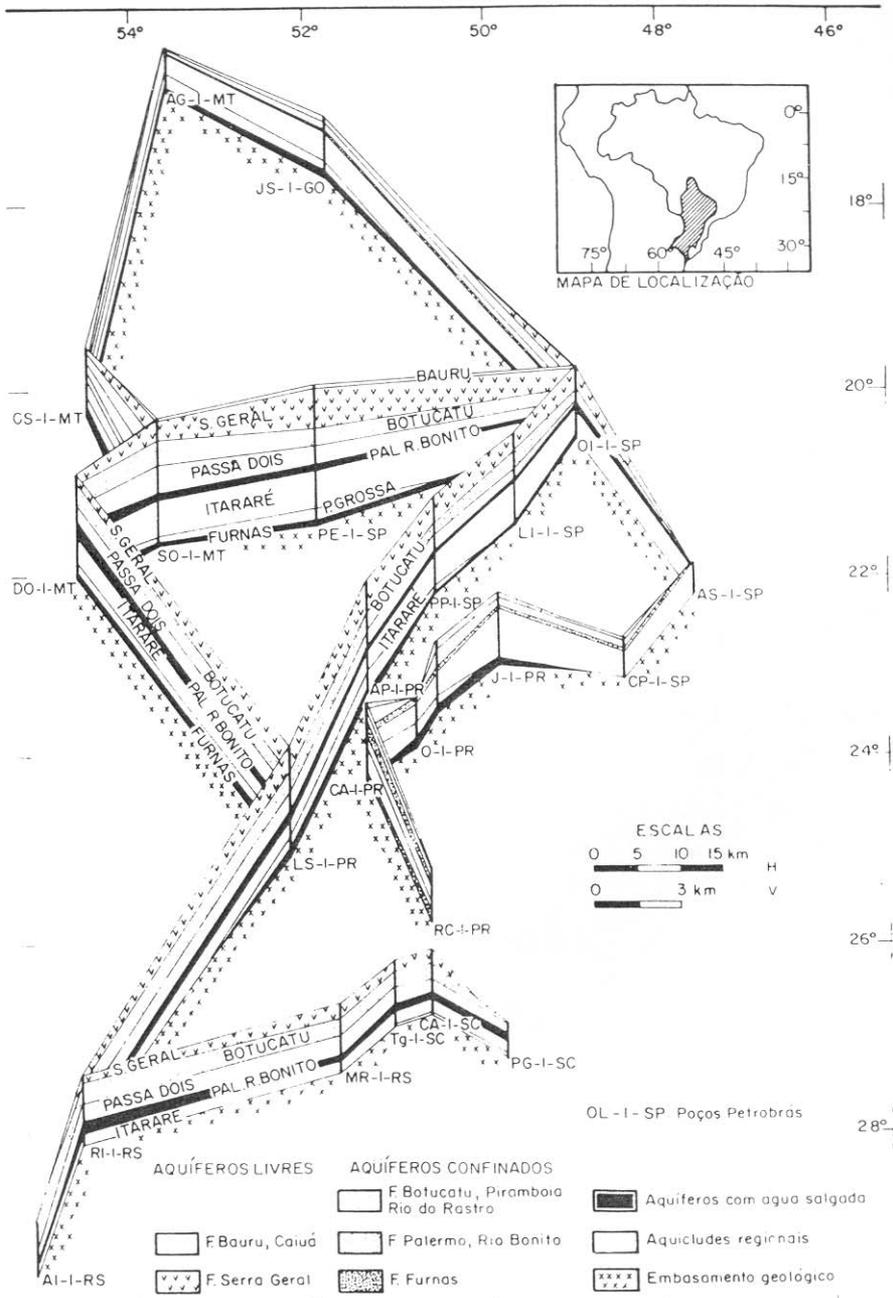


Fig. 05 - DIAGRAMA PAINEL DAS CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS DA BACIA DO PARANÁ (REBOUÇAS, 1976).

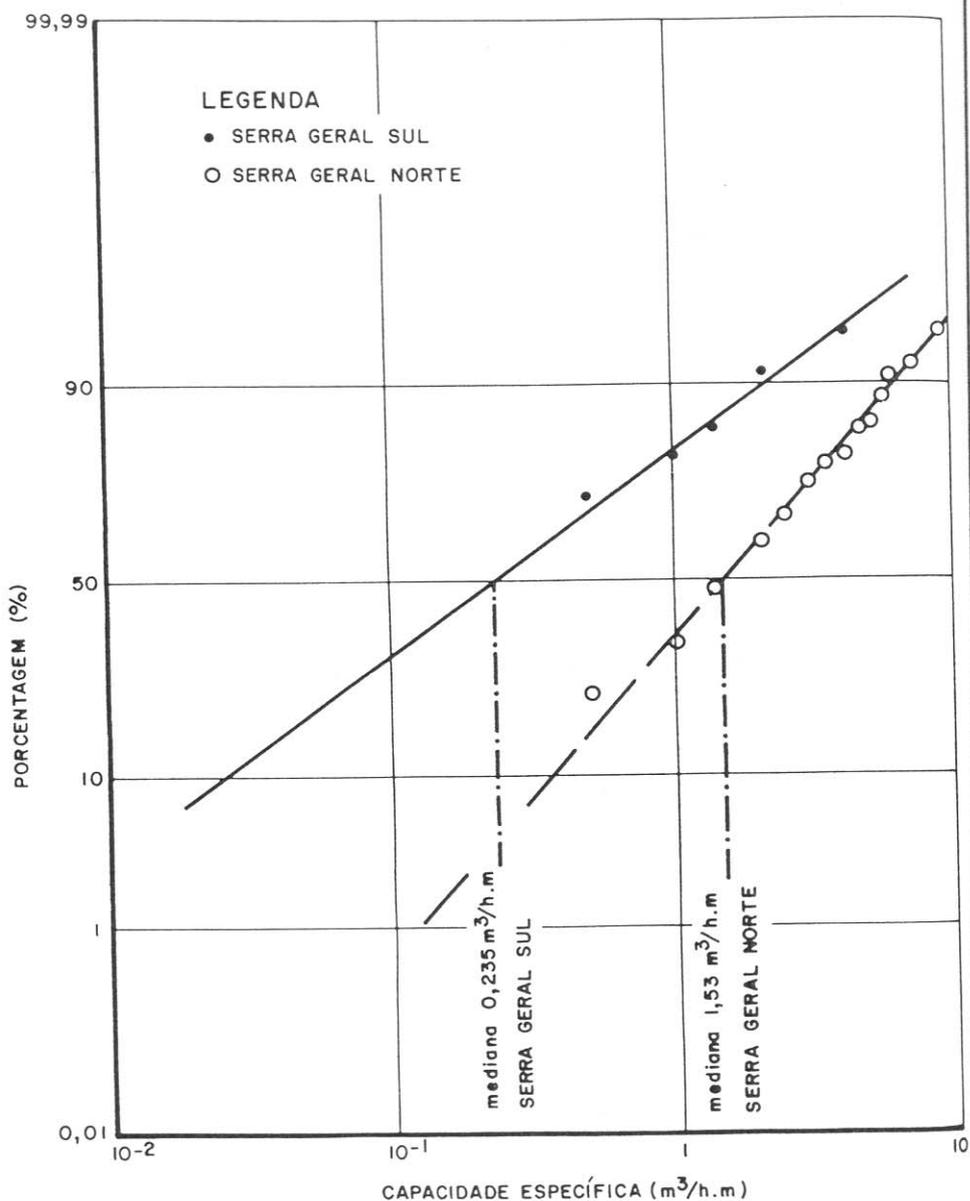


Fig. 6 - CURVA ACUMULATIVA DE PROBABILIDADE LOGARITMO NORMAL DA CAPACIDADE ESPECÍFICA - SERRA GERAL NORTE E SERRA GERAL SUL - ESTADO DO PARANÁ (FRAGA, 1986)

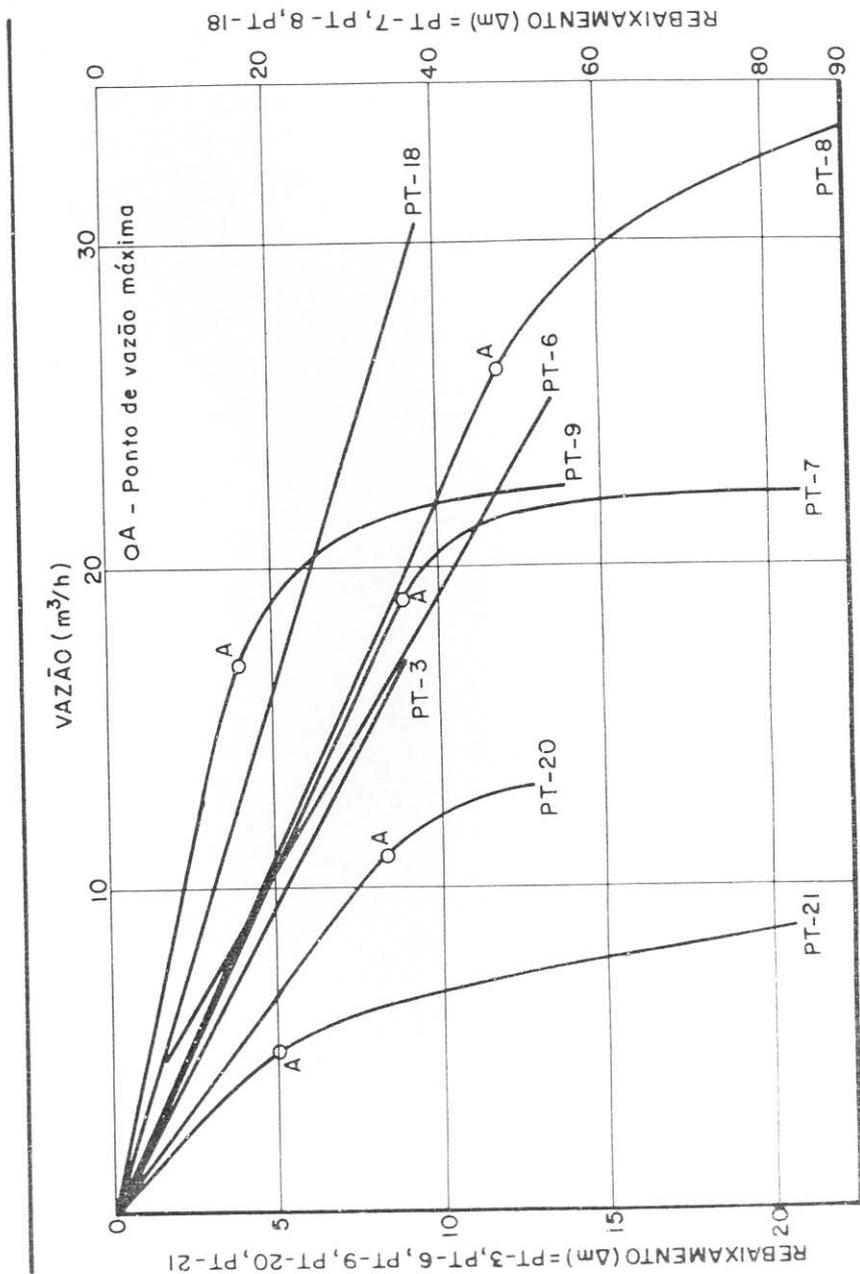


Fig. 7 - CURVAS CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS TESTADOS - CAMPO GRANDE / MS (REBOUÇAS E LASTROIA, 1978)

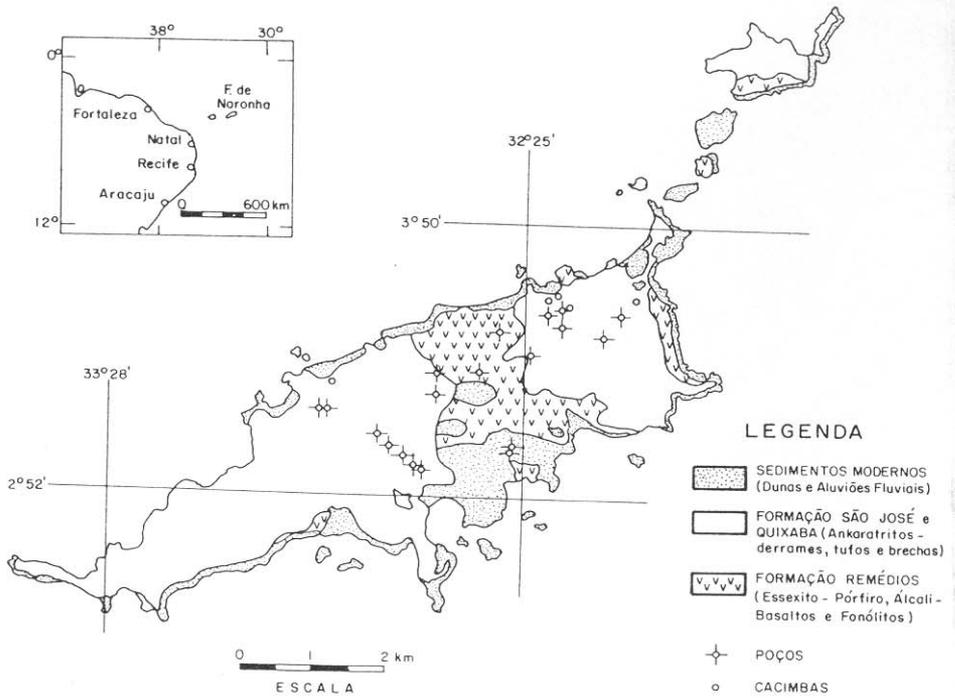


Fig. 8 - MAPA HIDROGEOLÓGICO DA ILHA DE FERNANDO DE NORONHA (BELTRÃO, 1974).

