

PROBLEMÁTICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO NORDESTE BRASILEIRO

O presente trabalho tem por objetivo a comparação entre os resultados das medições feitas em duas regiões do Nordeste brasileiro, a Serra do Curral e a Serra do Nono e Foz de Iguaçu, e a configuração geológica, representada no estado de Minas Gerais.

Walter Duarte Costa

O objetivo do trabalho é analisar as causas das grandes diferenças nas características e quantidades observadas nas águas subterrâneas de duas regiões das serras de curral e de foz de iguaçu e suas condições de origem.

Constatou-se que as águas subterrâneas de ambas as regiões apresentam características semelhantes de comportamento físico-químico das rochas cristalinas. Assim, as análises de comportamento da água em função das técnicas empregadas para a obtenção das amostras, bem como a influência das condições de origem e do tipo de rocha, podem ser utilizadas para explicar as diferenças observadas nas águas subterrâneas de ambas as regiões. Os resultados da análise química das águas subterrâneas de ambas as regiões são semelhantes, com exceção de alguns íons, como o cálcio e o magnésio, que apresentam maiores concentrações na Serra do Curral. Isso pode ser explicado pelo fato de que a Serra do Curral é formada por rochas cristalinas mais antigas e, portanto, mais erodidas, o que resulta em uma maior quantidade de íons dissolvidos. Além disso, a Serra do Curral é formada por rochas cristalinas mais antigas e, portanto, mais erodidas, o que resulta em uma maior quantidade de íons dissolvidos.

As maiores diferenças observadas nas águas subterrâneas das duas regiões são de natureza química e podem ser explicadas pelo fato de que a Serra do Curral é formada por rochas cristalinas mais antigas e, portanto, mais erodidas, o que resulta em uma maior quantidade de íons dissolvidos. Além disso, a Serra do Curral é formada por rochas cristalinas mais antigas e, portanto, mais erodidas, o que resulta em uma maior quantidade de íons dissolvidos.

RESUMO

O presente trabalho resultou da comparação entre os resultados de poços tubulares abertos em uma região do nordeste brasileiro (estados do Rio Grande do Norte e Paraíba) e na região sudeste, representada pelo estado de Minas Gerais.

Objetivou identificar as causas das grandes diferenças em termos quantitativos e qualitativos observadas nas águas exploradas de aquíferos fissurais nas regiões de clima semi-árido e nas regiões de clima úmido.

Constatou-se que em ambas regiões as vazões dos poços nesses aquíferos estão intimamente relacionadas com o comportamento de deformação das rochas cristalinas. Assim, as rochas de comportamento dúctil possuem fraturas mais fechadas porém pouco espaçadas, o que justifica as elevadas médias de vazões captadas em poços perfurados em micaxistos e filitos. As rochas de comportamento rúptil possuem fraturas mais abertas porém, em alguns casos, é muito grande o espaçamento entre fraturas. Assim, os gnaisses e quartzitos, que apresentam fraturas abertas e pouco espaçadas apresentam elevadas vazões, enquanto os granitos, com fraturas abertas e muito espaçadas apresentam, em geral, vazões mais reduzidas. Por outro lado, a qualidade dessas águas está relacionada com três fatores: possibilidade de renovação, que depende das condições climáticas e topográficas; facilidade de fluxo subterrâneo, que depende da abertura das fraturas, daí serem mais salinizadas as águas de poços abertos em rochas dúcteis; e ausência de minerais altamente decomponíveis, como os feldspatos.

Concluiu-se que o fator determinante nas maiores diferenciações entre as duas regiões analisadas em termos de qualidade e quantidade das águas exploradas de aquíferos fissurais é o clima. As maiores pluviosidades influem diretamente nas vazões por permitirem um maior volume de água infiltrada e, indiretamente, por propiciarem a formação de solos residuais espessos, que acabam funcionando como um aquífero granular capeando o aquífero fissural. Por outro lado, uma recarga mais profícua promove uma contínua renovação das águas infiltradas, reduzindo o risco de salinização das águas subterrâneas. A salinização é ainda acelerada nas regiões semi-áridas pelas elevadas temperaturas, que fazem subir à superfície os sais dissolvidos, através da evaporação intensa imposta às zonas mais superiores desses aquíferos.

ABSTRACT

This work resulted of the confrontation between the results of artesian wells achieved in a region of Brazilian northeast (Rio Grande do Norte and Paraíba states) and in the southeast region represented by the Minas Gerais state.

Its objective was to identify the causes of the big differences in quantitative and qualitative terms that were observed in exploited waters of fissural aquifers in regions of semi-arid climate and regions of humid climate.

It was verified that in both regions, the discharges of the wells located in these aquifers are intimately related with the deformation behaviour of the crystalline rocks. Therefore, the rocks of ductile behaviour have tighter fractures, however less spaced, what justifies the higher discharges of wells in schists and phyllites. The rocks of brittle behaviour have more opened fractures, however, in some cases, the spacing among fractures is much greater. So, the gnaisses and quartzites, that show opened and less spaced fractures, have greater discharges, while the granites, with opened and more spaced fractures have, in general, more reduced discharges. In other hand, the quality of these waters is related with three factors: possibility of renovation, that depends on the climatic and topographic conditions; facility of underground flow, that depends on the fractures' aperture, therefore the greater occurrence of salty waters in wells of brittle rocks; and absence of minerals easily decomposed, as feldspars.

It was concluded that the decisive factor in the higher differentiations between the analysed regions in terms of quality and quantity of exploited waters of fissural aquifers is the *climate*. The greater pluviosities influence directly in the discharges due to a bigger volume of infiltrated water and, indirectly, for allowing more residual soils to be formed, that act as a granular aquifer. In other hand, a bigger discharge enables a continuous renovation of infiltrated waters, decreasing the risk of salinization of the ground waters.

1. HISTÓRICO

O problema da escassez de água na região nordeste do Brasil é secular e sobejamente conhecido em todo o país.

Por conta da crucial sorte de um povo assolado pela seca em uma vasta área do território nacional, muitas soluções têm sido aventadas e muita verba já foi alocada sem que o problema fosse resolvido.

É óbvio que o problema não é simples, pois muitas condicionantes são envolvidas em função da extensão regional e das conseqüentes diferenças físicas, sociais, institucionais e políticas aí reinantes.

Por isso mesmo, não se pode generalizar soluções para toda a região, como construir barragens em todo curso d'água ou abrir poços tubulares indiscriminadamente.

As críticas aos insucessos obtidos em soluções generalísticas passa, peremptoriamente, pela falta de planejamento característica de alguns programas tipicamente políticos que visam impressionar com números estratosféricos, priorizando a quantidade em detrimento da qualidade.

Uma das soluções que mais tem sofrido as agruras do inconseqüente tratamento dado ao problema é a abertura de poços tubulares.

Essa solução foi iniciada no século passado, com a criação do Instituto Federal de Obras Contra as Secas - IFOCS, precursor do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS.

Ressentindo-se da falta de técnicos especializados que nortegassem uma criteriosa locação dos poços, esse órgão passou mais de 70 anos abrindo "buracos" indiscriminadamente onde fosse solicitado.

Posteriormente, se somaram várias outras intervenções a nível federal, estadual e municipal, algumas delas de cunho tipicamente político, onde os administradores do dinheiro público praticavam os ensinamentos de São Francisco (é dando que se recebe), trocando votos por poços.

As conseqüências desse descalabro podem ser sentidas no número de poços secos existentes no nordeste. Embora não haja um cadastro que forneça dados exatos, pois é grande o número de poços particulares que nem sempre são levados ao conhecimento dos órgãos públicos encarregados de gerir os recursos hídricos regionais, estima-se

que, de um total aproximado de 60.000 poços existentes no nordeste, 3.000 sejam absolutamente secos, não contando aí aqueles que apresentam vazões irrisórias, ou águas imprestáveis pela elevada salinização.

É bem verdade que esse problema melhorou significativamente a partir da década de 60, quando surgiram os primeiros geólogos formados em Pernambuco, muitos dos quais se devotaram à ciência responsável pelo estudo da origem e captação da água subterrânea, ou seja, a hidrogeologia.

Surgiu a SUDENE, como órgão destinado a desenvolver o nordeste à base de um racional planejamento; o DNOCS e as secretarias de estado foram paulatinamente se arregimentando para enfrentar mais tecnicamente o problema da perfuração de poços.

Já em 1961 criavam-se as primeiras normas e critérios técnicos para locação de poços em rochas cristalinas e as pesquisas que se seguiram permitiram a curto prazo reverter o quadro e a tradição de que abrir poço no nordeste representava um mero desperdício do dinheiro público.

A SUDENE criou a *Bacia Escola* destinada a difundir as mais atualizadas técnicas de captação da água subterrânea, utilizando profissionais franceses, americanos, israelenses e alemães, além de equipamentos importados nesses países. O nordeste criou tradição em hidrogeologia em todo o Brasil, fundando, em 1973, o primeiro curso de pós-graduação "sensu strictu" em hidrogeologia. Do Curso de Geologia da UFPE saíram os mais renomados técnicos e professores que hoje lecionam essa ciência nos principais centros de ensino do país.

Infelizmente não foi ainda erradicado o "mal do poço seco" dessa região, face aos seguintes motivos: muitos fazendeiros não recorrem a qualquer órgão técnico para orientá-lo quando desejam abrir um poço particular, procurando sempre executá-lo o mais próximo possível de sua casa; alguns órgãos públicos, principalmente prefeituras, não possuem geólogos em seus quadros, coordenando em algumas áreas a abertura de um grande número de poços públicos sem qualquer orientação técnica; alguns projetos megalomaniacos e eleitoreiros ainda são praticados em alguns governos estaduais, programando um número de poços incompatível com a estrutura técnica disponível pelo órgão; alguns poços ainda são distribuídos de forma política e para evitar a sua difusão, omitem qualquer participação técnica em sua execução.

Esse histórico se fazia necessário para evitar comentários de desavisados sempre que se divulga cruamente os dados dos insucessos desse tipo de solução. É possível que o seu conhecimento possa acabar com indagações do tipo: "No nordeste não há critérios técnicos para abrir um poço tubular?", ou, "Por que ainda se aplica dinheiro para abrir poço no nordeste se é grande a possibilidade de insucesso?".

2. OBJETIVOS E CRITÉRIOS ADOTADOS

O presente trabalho não visa dar nenhuma solução à problemática da água subterrânea no nordeste, nem diagnosticar as causas dos insucessos comentados no histórico procedido em sua abertura. Objetiva, simplesmente, fornecer uma contribuição para o entendimento do complexo relacionamento entre as condicionantes naturais e antrópicas que interferem no resultado de um poço tubular.

Quando o autor publicou seu primeiro trabalho sobre o assunto (COSTA, 1965), constava, entre suas recomendações, que deveriam ser analisados os resultados obtidos em outras regiões e comparados com os obtidos para a região estudada no estado da Paraíba, objetivando, principalmente, observar as influências exercidas por um clima diferente.

No presente trabalho esse cotejo é realizado a partir da análise de duas áreas pilotos escolhidas em duas regiões de clima bastante diferente: nordeste e sudeste.

No nordeste foi escolhida a área representada pelos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, enquanto do sudeste foi escolhido o estado de Minas Gerais.

A escolha dos estados nordestinos acima referidos contou com as seguintes justificativas:

- esses estados somados possuem uma extensão de 107.124 km²,
- o conjunto situa-se na porção intermediária do nordeste;
- nesses estados reside uma das áreas de maior aridez do nordeste;
- essa região foi alvo da tese de doutorado do professor Waldir Duarte Costa, estando já todos os dados convenientemente tratados;

A escolha do estado de Minas Gerais deveu-se às seguintes causas:

- esse estado representa 63,4 % da área da região sudeste;
- por sua grande extensão territorial (586.624,3 km²), esse estado apresenta características climáticas variadas, constituindo-se sua porção norte, uma continuação da região nordeste em termos climáticos;
- o estado conta com um excelente banco de dados na COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais), que publicou recentemente o excelente trabalho "Disponibilidades Hídricas Subterrâneas no Estado de Minas Gerais".
- por ser tipicamente interiorano, esse estado exclui as anomalias morfo-climáticas características do litoral, tornando mais semelhante sua posição geográfica em relação à "área problemática do nordeste" que também exclui a parte litorânea.

3. ÁREAS COTEJADAS E SUAS CARACTERÍSTICAS

3.1. - Nordeste Brasileiro

O nordeste brasileiro não se apresenta uniforme em termos de adversidade para água subterrânea.

Existem extensas áreas em que as condições climáticas ou geológicas favorecem a formação de ricos mananciais hídricos subterrâneos, que são explorados com imenso sucesso para abastecimento público e irrigação.

Entre essas áreas, destacam-se as seguintes:

- Bacia do Parnaíba, nos estados do Piauí e Maranhão;
- Bacia do Potiguar, no Rio Grande do Norte;
- Bacia costeira Pernambuco-Paraíba;
- Bacia costeira Alagoas-Sergipe;
- Bacia do Recôncavo-Tucano-Jatobá, na Bahia e Pernambuco.

Nessas áreas não somente é elevada a pluviometria, como também é favorável a geologia para acumulação das águas infiltradas, já que se trata de rochas sedimentares, caracterizando excelentes aquíferos granulares.

O problema do nordeste reside nas áreas interioranas constituídas por rochas cristalinas (magmáticas e metamórficas). Essa área, que apresenta uma extensão de 720.000 km², ou seja, 46,3 % de todo o nordeste, apresenta as seguintes características:

a) Clima

Os sistemas de circulação de ar que interferem no clima do nordeste são muito variados, ocorrendo correntes perturbadas nos quatro quadrantes que diversificam o sistema de chuvas, tornando complexa a caracterização climática dessa região. Assim, não só é variado o período como a época de maior pluviosidade. Todavia, em termos médios, esse período é muito curto, de 1 a 2 meses (podendo inexistir) e ocorre no outono-inverno. A pluviometria anual na área mais problemática varia desde menos de 400 mm, caracterizando um clima semi-árido a árido, até um máximo de 800 mm, variando sua maior extensão entre as taxas anuais de 500 e 600 mm. As temperaturas médias anuais variam entre 20° e 28° C, atingindo 40° C no Piauí na época do verão. A evapotranspiração potencial é superior à precipitação em quase todo o ano, sendo ligeiramente inferior apenas em 1 ou 2 meses.

b) Geologia

Dominam essa área as rochas cristalofílicas pré-cambrianas, com predomínio das metamórficas e magmáticas ácidas. Assim, são mais comuns as seguintes rochas: gnaíse, micaxisto, filito, quartzito e mármore entre as metamórficas e granito, pegmatito e migmatito entre as magmáticas e metassomáticas.

c) Solos

O clima semi-árido que caracteriza essa região não favorece a intemperização das rochas. Por outro lado, as chuvas são concentradas em um curto período, ocorrendo geralmente em forma de enxurradas com alto poder erosivo, carreando facilmente os solos formados. Em consequência, os solos eluviais são escassos no nordeste e apresentam reduzida espessura (máxima de 5 m); quando existem, apresentam-se lixiviados e salinizados pela precipitação das águas evaporadas. A umidade desses solos é quase nula, como consequência do déficit hídrico resultante do balanço entre a pluviometria e a evaporação.

d) Relevo

O relevo do nordeste é caracterizado por duas feições distintas: serras e planaltos isolados e depressões. As serras e planaltos constituem diferenciações geomorfológicas e revelam diferentes estágios de evolução do relevo, decorrentes de interferências tectônicas combinadas com modificações climáticas. Sua ocorrência é limitada aos divisores de estados e a alguns divisores hidrográficos orientados em direções variadas, mas predominantemente NE-SW. Suas cotas variam entre 300 e 500 m, mas podem eventualmente atingir os 1.000 m. As depressões correspondem a maior parte da extensão nordestina, caracterizando uma superfície pediplanizada pelo domínio do intemperismo físico, com escoamento difuso e concentrado. Esse relevo é ondulado, com extensas áreas planas e com variações de cotas muito reduzidas.

e) Hidrografia

A rede hidrográfica do nordeste é predominantemente intermitente, com cursos d'água retilíneos, refletindo um severo controle estrutural, leitos rasos e rochosos, somente preenchidos por aluvião nos rios de maior porte. Muitos desses rios acham-se salinizados, principalmente quando suas cabeceiras coincidem com áreas de maior aridez. É que nessas áreas a evaporação é sempre superior à precipitação, estando os solos, na maior parte do ano, com deficiência de água. Os sais trazidos de zonas mais profundas e precipitados no solo pela evaporação da água são transportados pelas chuvas seguintes para os leitos dos rios, tornando salinizadas as suas águas.

f) Área Piloto

A área piloto escolhida do nordeste para a presente análise apresenta todas as características acima referidas, podendo ser destacada uma feição geomorfológica/hidrográfica que é vista na figura 01. A área é dividida em dois segmentos de direção aproximadamente NS, por uma crista interfluvial que separa a drenagem dos dois estados da seguinte forma: no segmento ocidental a drenagem se inicia nos limites dos estados PB/PE e se dirige para o norte, desembocando no Atlântico; no segmento oriental a drenagem se inicia nesse divisor e se dirige para o leste, desembocando também no Atlântico. A crista desse divisor coincide com a região de mais baixo índice de aridez dessa região, o que justifica, pelo fato acima explicado, a presença de rios salinizados que nascem nesse divisor e que drenam o segmento oriental.

3.2. – Sudeste brasileiro

O sudeste brasileiro constitui uma região de transição morfo-climática entre as regiões nordeste e sul do Brasil, muito embora guarde uma maior relação com as características do sul.

Também aqui, pode-se fazer uma distinção das características físicas entre as áreas litorâneas e as áreas interioranas, razão pela qual, não serão comentadas as primeiras.

A área interiorana do sudeste apresenta as seguintes características:

a) Clima

Embora diversificado, o clima dessa região é bem menos complexo que o do nordeste, pois somente ocorrem três sistemas de circulação perturbada (E, W e S) e, ainda assim, com fraca atuação na região interiorana da circulação de E. Constitui uma transição dos climas quentes das baixas latitudes para os climas mesotérmicos das latitudes médias, embora suas características sejam predominantemente de clima tropical. As chuvas dessa região são trazidas principalmente pela circulação de oeste e a média anual varia entre 1.000 e 1.500 mm. O período de ocorrência varia entre novembro e abril, porém, 30 a 50% se concentra em 3 meses, geralmente dez/fev. O período seco concentra-se no inverno, porém sua duração é muito variada, desde 1 até 6 meses. A temperatura média anual varia entre 20° C no limite SP/PR, até 24° C no norte de Minas. No verão pode chegar a 32° C e no inverno pode ser negativa nas áreas mais elevadas.

b) Geologia

A geologia do sudeste não é muito diferente daquela já referida para o nordeste. Dominam as mesmas rochas pré-cambrianas, com ênfase para as rochas metamórficas e metassomáticas. Apenas se acham presentes dominando o interior do estado de São Paulo e uma reduzida faixa de Minas Gerais, as rochas básicas resultantes de extravasamentos terciários. No estado de Minas Gerais deve-se ressaltar a extensa ocorrência do Calcário Bambuí, metamórfica migmatito que possui uma grande componente pelítica.

c) Solos

As condições climáticas dessa região favorecem o desenvolvimento do intemperismo químico, propiciando a formação de solos espessos, bem desenvolvidos e bastante diversificados, em função da rocha que lhe deu origem. Os solos predominantes são latossolo, podzólico e cambissolo e suas espessuras variam em função da maior ou menor resistência à decomposição dos minerais presentes nas rochas e da declividade que favorece ou dificulta a infiltração das águas pluviais. São comuns também as formações de coberturas detriticas correlacionadas aos estágios finais dos processos erosivos numa fase de peneplanização. Esses depósitos conformam chapadas ou peneplanos bem individualizados, semelhantes aos depósitos do Grupo Barreiras que margeiam o litoral brasileiro do Maranhão ao Rio de Janeiro. A espessura desses depósitos pode ultrapassar os 100 m, enquanto os solos residuais podem atingir os 50 m de espessura, sendo de 5 m a sua espessura mínima.

d) Relevo

O relevo é muito variado na região sudeste, caracterizando as seguintes feições morfológicas principais: Serras e Blocos compartimentados, onde dominam as Serras da Mantiqueira e do Mar; Planaltos, onde se destaca a Bacia do Paraná, que cobre parte dos estados de S. Paulo e Minas Gerais; Chapadas isoladas, conseqüentes de processos erosivos; depressões com residuais, onde se destaca a Bacia do São Francisco.

e) Hidrografia

A rede hidrográfica dessa região é predominantemente perene, caracterizando-se por rios com grandes vazões, encaixados, com controle estrutural muito variado e geralmente providos de uma grande quantidade de aluvião, tanto em profundidade como em extensão marginal.

f) Área Piloto

A área piloto escolhida, ou seja, o Estado de Minas Gerais, por sua grande extensão em relação à região caracterizada, possui praticamente todas as condicionantes naturais acima analisadas. Apresenta

ainda uma boa possibilidade de comparação com o nordeste, por apresentar em sua extremidade norte, que delimita com aquela região, características climáticas semelhantes, com uma acentuada queda na taxa pluviométrica, como mostra a figura 02

4. - RELAÇÕES QUANTIDADE x QUALIDADE

No trabalho publicado em 1965 este autor procedeu a uma série de correlações para justificar as variações constatadas nas vazões e na qualidade das águas de poços tubulares abertos na região mais árida do estado da Paraíba (Sumé-Monteiro).

Essas correlações visaram definir melhores critérios para locação de poços tubulares em regiões de rochas cristalinas, principalmente em climas semi-áridos, na tentativa não só de melhorar as vazões que chegavam a ser nulas em muitos poços do nordeste, mas, também, evitar a abertura de poços imprestáveis pelo alto teor de salinização de suas águas.

Inúmeras outras pesquisas com a mesma finalidade foram desenvolvidas no nordeste, sendo dignas de registro as encetadas pelos geólogos COSTA (1980, 1985 e 1986), CRUZ (1974), LEAL (1968), MENDES et alli (1980), REBOUÇAS (1973) e SIQUEIRA (1963).

Praticamente não evoluíram muito as conclusões sobre as correlações iniciais, apenas tendo sido corroboradas com considerações no âmbito da mecânica das rochas, feitas pelo próprio autor e por COSTA, além de algumas análises climáticas restritas à região nordeste.

Presentemente tencionamos extrapolar as correlações já conhecidas a outra região do Brasil a fim de avaliar melhor a influência do clima nessas correlações e poder explicar melhor as causas de insucessos na perfuração de poços no nordeste.

4.1. - Influências dos fatores endógenos

Como fatores endógenos serão consideradas todas as condicionantes naturais relacionadas com o local em que o poço é perfurado. Inclui, assim, o tipo litológico, o manto de alteração e as estruturas do maciço rochoso.

4.1.1. – Tipo de Rocha

a) Quantidade

É sabido que as rochas cristalofílicas constituem o aquífero denominado fissural, onde a água tem sua circulação restrita às fraturas ou fissuras do maciço rochoso, já que a porosidade intersticial é praticamente nula nessas rochas.

Assim, a potencialidade desse tipo de aquífero depende de dois fatores: densidade e abertura das fraturas.

A densidade é importantíssima pois o reduzido espaçamento entre as fraturas facilita a intercomunicação da água através de diferentes tipos de fraturas, chegando ao ponto de impingir ao aquífero fissural um comportamento de aquífero granular, quando esse espaçamento é mínimo.

A abertura é importante por facilitar o fluxo da água subterrânea, sendo tal fator o principal determinante da permeabilidade desse tipo de aquífero.

Nesse contexto, é fundamental conhecer o comportamento ruptural de cada tipo rochoso, a fim de avaliar a sua potencialidade como aquífero.

Em princípio, as rochas competentes, ou seja, que assumem um comportamento rúptil ao serem solicitadas por esforços, tendem a sofrer ruptura sem que nenhuma deformação plástica ocorra. Como resultado, as fraturas são mais abertas, todavia, podem apresentar um espaçamento muito variado. Como exemplo temos o granito, que possui fraturas abertas, porém, geralmente muito espaçadas; os gnaisses, que apresentam fraturas abertas e com espaçamento médio; os quartzitos, com grandes aberturas e reduzido espaçamento de fraturas; e os basaltos, com comportamento semelhante aos quartzitos.

As rochas incompetentes são aquelas que possuem um comportamento dúctil ao serem solicitadas por esforços, sofrendo deformações plásticas antes de sofrerem rupturas. Essas rochas apresentam geralmente fraturas mais fechadas, porém, a densidade sempre é grande, ou seja, é muito reduzido o espaçamento entre fraturas. Como exemplo nas regiões estudadas, ocorrem os micaxistos e os filitos.

Os calcários metamorfisados apresentam um comportamento dúctil-frágil, ou seja, intermediário entre o dúctil e o ríptil, todavia, a circulação da água nessas rochas assume especificidades muito variadas em decorrência da dissolução química que tende a aumentar a abertura das fraturas até o limite de transformar uma fratura em uma caverna.

Em função do exposto, pode-se observar a grande influência que os diferentes tipos litológicos exercem na hidrogeologia do cristalino, analisando os resultados sobre a quantidade das águas extraídas de 843 poços analisados no nordeste e 1227 poços de Minas Gerais.

No nordeste pode-se observar a nítida influência das considerações acima feitas sobre a potencialidade dos aquíferos fissurais, através da análise do Quadro II. A vazão específica do gnaiss foi a mais elevada, em consequência da maior abertura de suas fraturas, vindo logo a seguir o quartzito e o micaxisto, quase iguais, o primeiro graças principalmente à abertura de suas fraturas, enquanto o micaxisto tem no reduzido espaçamento de suas fraturas a razão de sua boa potencialidade. Os filitos vêm a seguir, graças, também, ao seu reduzido espaçamento de fraturas, vindo por último o conjunto granito-migmatito, que apresentam fraturas abertas porém com grande espaçamento.

Verifica-se que, relativamente, a influência da densidade das fraturas foi maior que a sua abertura na análise procedida na região nordeste.

O mesmo fato pode ser observado em Minas Gerais, pelos dados do Quadro V. Entre os aquíferos fissurais as seguintes rochas apresentaram maior potencialidade na ordem decrescente: pelitos, basalto, quartzito, micaxisto e granito-gnaiss. Observa-se que as 4 primeiras rochas têm sua potencialidade hídrica relacionada com a densidade do fraturamento, enquanto as últimas rochas são aquelas em que a vazão depende mais da abertura das fraturas (no caso, o conjunto foi influenciado negativamente pela baixa densidade do granito).

Constata-se, assim, que também na região sudeste a densidade das fraturas influenciou mais do que a sua abertura na potencialidade dos aquíferos fissurais.

Deixamos de analisar os aquíferos granulares e os carbonáticos por não representarem problema para água subterrânea em qualquer parte do país.

b) Qualidade

A salinização das águas subterrâneas decorre da dissolução de minerais mais solúveis que constituem as rochas, pelo contato das águas infiltradas ao longo das fraturas. Evidentemente, esse processo é lento e depende de uma série de fatores relacionados com a resistência de cada mineral e do grau de acidez das águas percoladas (função da salinização dos solos de cobertura, grau de lixiviação, presença de humus, etc), bem como, do grau de salinização das águas infiltradas diretamente dos rios já salinizados.

Quando as águas infiltradas são isentas de sais, o ataque aos minerais vai progressivamente enriquecendo de sais as águas armazenadas, principalmente nos dois seguintes casos:

- a renovação das águas é deficiente (clima semi-árido);
- as fraturas são muito fechadas, dificultando a percolação da água e sua conseqüente renovação.

No primeiro trabalho do autor (1965) foram procedidas algumas relações entre os diferentes sais encontrados nas águas subterrâneas e os minerais presentes nas rochas que funcionavam como aquífero. Foi constatado que os feldspatos eram um dos principais responsáveis pela liberação de sais, em função da maior facilidade como são atacados pela água. Nesse caso, os migmatitos, pegmatitos e alguns granitos e gnaisses poderiam apresentar maior propensão para salinização das águas.

Por outro lado, as rochas de comportamento dúctil, como os micaxistos e os filitos, apresentam fraturas muito fechadas, que poderiam dificultar a percolação da água, aumentando o tempo de contato entre a água e os minerais, com a conseqüente possibilidade de maior dissolução desses minerais e salinização dessas águas.

Observando o Quadro II, pode-se constatar alguma coerência entre as afirmações acima expostas para o caso do nordeste brasileiro.

Assim é que, o migmatito, pelo seu predomínio de feldspato, apresenta uma elevada salinização como aquífero, o mesmo ocorrendo com os gnaisses, que provavelmente deverão ser ricos em feldspatos; o micaxisto, por sua reduzida abertura de fraturas também apresenta elevada salinização das águas que armazena; o quartzito, pela ausência de minerais decomponíveis e regular abertura de suas fraturas, deveria apresentar uma melhor qualidade; o filito pode ser considerado um

resultado anômalo, pois suas fraturas com reduzida abertura deveriam propiciar uma maior salinização das águas aí armazenadas.

Deve-se, todavia, considerar que a salinização dos poços do nordeste tem várias outras causas, que serão comentadas nos itens seguintes, que mascaram as relações acima tentadas.

Já na região sudeste, pode-se constatar, no Quadro V, que as rochas do sistema fissural apresentam a seguinte ordem decrescente de salinização: micaxisto, quartzito, pelitos, granito-gnaiss e basalto.

Em toda essa seqüência, consideramos como anômalo e inexplicável a posição do quartzito, pois deveria ser o aquífero menos salinizado pelas razões já discutidas. Todas as demais rochas apresentam um posicionamento coerente com as relações acima expostas.

Em resumo, as rochas de comportamento dúctil podem se constituir bons aquíferos em termos quantitativos, mas nem sempre são confiáveis sob o ponto de vista qualitativo.

4.1.2. – Tipo de Estrutura

a) Quantidade

Foi dito no item precedente que as fraturas abertas propiciam uma maior facilidade ao escoamento das águas subterrâneas, aumentando a possibilidade de captar maiores vazões. Por outro lado, essa maior facilidade de percolação propicia uma maior renovação dessas águas, reduzindo o risco de salinização.

Assim, é muito importante perscrutar a possibilidade de captar fraturas que, por sua própria gênese, possuam maior possibilidade de se encontrarem abertas.

A relação entre vazão e tipo de fratura foi também estudada desde 1965 pelo autor, que ampliou essas relações com o auxílio da mecânica das rochas para explicar a gênese do fraturamento.

Em princípio, as fraturas originadas por tração (tanto paralelas à foliação, ou longitudinais, quanto transversais à mesma) são as que apresentam maior possibilidade de se encontrarem abertas, enquanto aquelas originadas por cisalhamento são, pela própria gênese, praticamente fechadas.

No Quadro III pode-se observar a relação entre a vazão e os tipos de fraturas para a área piloto escolhida para o nordeste.

Enquanto os poços perfurados em fraturas de tração acusaram médias de vazão específica de 0,298 l/s/m para as transversais e 0,134 l/s/m para as longitudinais, as fraturas de cisalhamento propiciaram médias de vazões específicas de 0,031 l/s/m para as angulares e 0,029 l/s/m para as longitudinais. Deve-se observar ainda que nos poços localizados em áreas onde não foram observadas fraturas (50 poços) a média da vazão específica foi de apenas 0,019 l/s/m.

Para o estado de Minas Gerais não há informações sobre esse tipo de relação.

b) Qualidade

Comprovando a assertiva feita de que as fraturas de abertura reduzida são mais favoráveis à salinização das águas nelas contidas, pode-se observar no Quadro III que a média dos sólidos totais para poços abertos em fraturas de tração é de 2.226 mg/l, enquanto para as fraturas de cisalhamento essa média passa para 3.874 mg/l (73% a mais), chegando a 5.072 mg/l para as fraturas longitudinais de cisalhamento.

4.1.3. – Manto de Alteração

O manto de alteração ou capeamento é conseqüente da alteração "in situ" do maciço rochoso ou do preenchimento de depressões com material detrítico na fase final de um ciclo erosivo, conforme referido no item 3.2.

A constituição e espessura desses materiais varia de acordo com as condições de intemperismo e da natureza da rocha que lhe deu origem.

Em termos hidrogeológicos esse capeamento pode apresentar, em função de sua espessura e textura, duas importantes influências para a captação de água subterrânea no substrato rochoso:

- pode funcionar como um aquífero granular e, nesse caso, um poço perfurado de forma a atravessar todo esse capeamento e penetrar no substrato rochoso irá captar água simultaneamente do aquífero superior (granular) e do aquífero inferior (fissural);

- mesmo que não funcione como aquífero, esse capeamento pode ajudar na distribuição das águas através das fraturas, direcionando toda a parcela de águas pluviais infiltradas para todas as fraturas que se comuniquem com tal capeamento.

No **nordeste**, o capeamento é nulo em mais de 50% dos poços existentes, sendo de 3,17 m a espessura média dos solos formados. No Quadro I observa-se que a média de profundidade do nível freático é de 4,87 m, ou seja, já no embasamento rochoso, o que indica estar o solo de cobertura completamente seco. Por outro lado, os solos pouco espessos e lixiviados tendem a reter os sais conseqüentes da evaporação das águas infiltradas mesmo antes de atingirem as fraturas do maciço rochoso, tornando os poucos solos formados altamente salinizados nas áreas de maior aridez.

Já no **sudeste**, foi mencionado no item 3.2a, que a cobertura pode atingir a 50 m nas encostas e ultrapassar a 100 m nas depressões, o que é corroborado pelo Quadro V, onde o aquífero constituído pelo conjunto de cobertura detritica e eluvião possui uma profundidade média de captação por poço de 77 m e sua vazão específica média é de 0,31 l/s/m, ou seja, superior a qualquer aquífero fissural do nordeste. Assim, os poços existentes na região sudeste contam com duas contribuições em termos de água subterrânea, sendo, muitas vezes, a contribuição do capeamento superior à do substrato rochoso.

4.2. - Influências dos fatores exógenos

Como fatores exógenos serão consideradas todas as condicionantes alóctones, ou seja, que não se relacionam diretamente com as características do aquífero captado. Entre eles destacam-se o clima e relevo/hidrografia.

4.2.1. - Clima

a) Quantidade

A potencialidade de um aquífero fissural depende de três condicionantes: capacidade de armazenamento, condições de recarga e disponibilidade de água infiltrada.

A capacidade de armazenamento diz respeito unicamente às condicionantes do aquífero e já foram analisadas nos fatores endógenos.

A condição de recarga depende, em parte, das características de relevo e hidrografia, a serem tratadas no item seguinte. Todavia, grande parte dessa condição está relacionada ao capeamento do maciço rochoso, como já foi mencionado no item anterior. Ocorre que, o fator determinante na profundidade ou espessura do manto de cobertura é o clima. Com efeito, pode ser observado que as rochas presentes no sudeste são as mesmas que ocorrem no nordeste e a formação do manto de alteração é completamente diferente, em decorrência das diferenças climáticas já referidas.

Finalmente, as disponibilidades de água infiltrada são conseqüentes da pluviosidade, considerando condições de textura do solo e relevo semelhantes.

Considerando que a pluviosidade média do sudeste é em torno de 130% superior a do nordeste, não é de estranhar que a vazão média dos aquíferos fissurais naquela região seja quase 200% superior a desta, principalmente se considerar a influência dos demais fatores já analisados.

Em resumo, o clima tem uma dupla influência para a potencialidade de um aquífero fissural: influi diretamente, em função do volume infiltrado, que depende da pluviometria; indiretamente, influi na formação do solo residual, que poderá funcionar como um aquífero complementar.

b) Qualidade

A principal influência do clima diz respeito ao balanço hídrico entre as taxas de pluviometria e evapotranspiração potencial.

Nos climas semi-áridos, como no nordeste, essa relação favorece a precipitação de sais pelas águas evaporadas, deixando os solos superficiais altamente salinizados. As chuvas que se sucedem carregam em solução esses sais com dois destinos diferentes: alimentam os rios através do escoamento superficial e os aquíferos através da parcela de água infiltrada diretamente, ao longo das encostas, ou indiretamente, através dos próprios rios.

Esse fato pode ser observado na área piloto do NE, através da análise do Quadro IV, que mostra uma salinização média das águas de poços na parte oriental dessa área com $ST = 5.581,70$ mg/l, enquanto na parte ocidental esse valor cai para 1.436,20 mg/l. Considerando que os rios da parte oriental têm suas cabeceiras na faixa mais árida da

região, conforme mostra o mapa da figura 01, esses altos valores de salinização das águas subterrâneas são justificados pela alimentação que esse aquífero recebe dos rios salinizados que drenam essa área (COSTA, 1986).

Na região sudeste o clima é caracterizado por uma elevada pluviosidade, que excede a evapotranspiração potencial durante quase todo o ano.

Conseqüentemente, os valores médios representativos da salinização das águas dessa região são baixíssimos, tendo praticamente todos os rios água de excelente qualidade. Também a água subterrânea é de boa qualidade, sendo de 217,29 mg/l a média de sólidos totais dissolvidos, com o maior valor médio por aquífero de apenas 349,53 (aquífero xistoso), ou seja, valores 15 vezes menores, em média, aos obtidos no nordeste.

Um fato curioso, que mostra muito bem a influência do clima na salinização das águas subterrâneas pode ser constatado na comparação dos mapas das figuras 02 e 03, ambas referentes ao Estado de Minas Gerais.

A região NE desse estado corresponde às áreas de mais elevado teor de salinização das águas subterrâneas (condutividade elétrica superior a 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$), o que coincide com a área de mais baixa pluviosidade. Praticamente a faixa que delimita CE superior a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ corresponde à isoietta de 800 mm. A isolinha de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ é praticamente coincidente com a isoietta 700 mm e, nessa sucessão de correlação, provavelmente, já no estado da Bahia, onde a isoietta atinge a 500 mm, a CE será superior a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.2.2. – Relevo/Hidrografia

A localização do poço de captação dos aquíferos fissurais mantém estreita relação com o relevo e a hidrografia.

No trabalho de COSTA (1986) foi concluído que os poços localizados nos vales apresentaram as maiores vazões, seguidos daqueles situados à meia encosta (terço inferior) e, por último, daqueles localizados no topo ou nos planaltos.

Esse fato pode ser explicado pois, no nordeste, a drenagem subterrânea é efluente na maior parte do ano, ou seja, o fluxo dessas águas é dirigido do rio para as encostas marginais, daí ser mais fácil a alimentação das fraturas localizadas nas proximidades dos rios.

Já no sudeste, o clima favorece a drenagem afluyente, onde o escoamento sub-superficial se dirige das encostas para os rios, constituindo a descarga de base que garante a perenidade desses rios na época em que não chove.

O único problema para os poços situados nos vales, na região nordeste, é que ficarão mais sujeitos à salinização nos casos em que o rio já se encontra salinizado, como foi narrado para a área oriental da região analisada.

5. - SÍNTESE E CONCLUSÕES

O estudo comparativo entre as condicionantes regionais e os resultados obtidos na perfuração de poços em duas regiões de características morfo-climáticas muito distintas, embora com nítidas semelhanças geológicas, permite tirar as seguintes conclusões:

=> as características quantitativas e qualitativas das águas subterrâneas em aquíferos fissurais são, de fato, extremamente condicionadas pelos fatores geológicos;

=> as diferenças qualitativas e quantitativas entre as águas subterrâneas explotadas do aquífero fissural no nordeste e no sudeste do Brasil devem-se exclusivamente ao fator *clima*.

A primeira conclusão apenas corrobora todas as pesquisas já efetuadas no nordeste e que permitiram definir critérios técnicos para um melhor aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos de uma vasta área dessa região.

Com efeito, desde a década de 60 os estudos ali desenvolvidos nortearam a locação de poços tubulares priorizando captar zonas aquíferas constituídas por fraturas geneticamente abertas e em rochas que apresentassem menores possibilidades de salinização das águas armazenadas em suas fraturas.

Apenas constituía uma incoerência inexplicável o fato de rochas como o micaxisto e o filito apresentarem boas vazões e altas taxas de salinização. No presente trabalho esse fato pôde ser bem entendido por apresentarem essas rochas um comportamento dútil quando deformadas, sendo suas fraturas muito pouco espaçadas, o que confere ao aquífero uma grande homogeneidade pela intercomunicação das fraturas, justificando as elevadas vazões. Por outro lado, essas fissuras apresentam reduzida abertura, dificultando o fluxo e a conseqüente reno-

vação das águas armazenadas, o que propicia uma maior salinização dessas águas. Já as rochas graníticas, que apresentam um comportamento deformacional do tipo rúptil, possuem fraturas muito abertas porém extremamente espaçadas, dificultando a intercomunicação dos diferentes sistemas de fissuras, o que resulta em vazões reduzidas para esse tipo de rocha, apesar da maior permeabilidade de cada fratura isolada.

O clima nunca constituiu um critério técnico para locação de poços no nordeste pois as diferenças climáticas somente ocorrem em escala muito regional, como entre o litoral e o interior, sendo nula a sua influência quando se trata de escolher o local de um poço dentro de uma mesma zona climática.

Todavia, a análise de sua influência, tanto na potencialidade de um aquífero fissural, como na qualidade das águas aí contidas, pôde ser muito bem caracterizada no presente trabalho, justificando plenamente as diferenciações constatadas nas características das águas explotadas de aquíferos fissurais em um clima semi-árido, como no nordeste e em um clima tropical úmido como no sudeste. Com efeito, o clima tropical úmido do sudeste brasileiro contribui duplamente para melhorar as características qualitativas: a maior pluviosidade implica em maiores volumes infiltrados, garantindo vazões mais elevadas; a intemperização química facilitada por esse clima possibilita a formação de solos mais espessos que funcionam como aquífero granular complementar, além de direcionar as águas infiltradas para as fissuras do aquífero fissural que lhe embasa. Por outro lado, os maiores volumes infiltrados renovam mais facilmente as águas armazenadas, impedindo a sua salinização.

O clima semi-árido, por sua vez, propicia menores infiltrações, reduzindo os volumes armazenados e dificultando a renovação das águas, com a conseqüente salinização das mesmas. A precipitação de sais resultante da intensa evaporação característica desses climas é mais um fator que colabora com a má qualidade das águas subterrâneas nesse tipo de aquífero.

Em resumo, o clima é responsável não apenas pelas reduzidas vazões obtidas nos poços do nordeste, mas, também, pelo elevado teor de salinização das águas captadas nessa região.

6. - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - 1983 - "Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais" - Belo Horizonte - MG
- COSTA, Waldir D. - 1980 - "Fluxo através de fraturas" - Seminário apresentado no Curso de Pós-Graduação da USP - SP.
- _____ 1985 - "Avaliação dos critérios de locação de poços em rochas cristalinas" - Iº Simpósio Nacional de Águas Subterrâneas em Rochas Fraturadas - Belo Horizonte - MG - Anais da ABAS.
- _____ 1986 - "Análise dos Fatores que atuam no Aquífero Fissural - Área Piloto dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte" - Tese de Doutorado - USP - SP (inédita).
- COSTA, Walter D. - 1963 - "Hidrogeologia no Cristalino - Região Monteiro/Sumé-PB" Bol. da SBG - Núcleo de PE - Recife.
- _____ 1965 - "Análise dos Fatores que influenciam na hidrogeologia do Cristalino" Rev. Água Subterrânea n° 1 - Recife - PE.
- _____ 1980 - "A hidrogeologia à luz da mecânica das rochas" - Anais do Iº Congresso da ABAS - Recife - PE.
- CRUZ, W.B.da - 1974 - "Estudo geoquímico preliminar das águas subterrâneas do nordeste do Brasil" - SUDENE: Série Hidrogeologia n° 8 - Recife - PE.
- LEAL, A.de S. - 1968 - "Considerações sobre a circulação da água em rochas cristalinas e salinização em região árida: Área de Juazeiro-Curaçá - BA" - SUDENE: Série Hidrogeologia n° 24 - Recife - PE
- MENDES, G.M. de A e SILVA JÚNIOR, H.de O. - 1980 - "Identificação de áreas passíveis à exploração de água subterrânea no sertão pernambucano" - CONDEPE (Pub. Interna) - Recife - PE
- REBOUÇAS, A da C. - 1973 - "Le problema de l'eau dans la zone semi-aride du Bresil" - Tese de Doutorado apresentada na Universidade de Strasbourg - França (inédita).
- SIQUEIRA, L. - 1963 - "Contribuição da Geologia à Pesquisa de Água Subterrânea" - SUDENE - Recife - PE.
- SOUZA, S.M.T.de - 1995 - "Disponibilidades Hídricas Subterrâneas no Estado de Minas Gerais" - HIDROSISTEMAS - COPASA - Belo Horizonte - MG.

QUADRO I - CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS NOS ESTADOS DO RN E PB
PARÂMETROS DE 843 POÇOS

PARÂMETROS DOS POÇOS	UNIDADE	VALORES ESTATÍSTICOS				C.VAR. %
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIO	D.PADRÃO	
Profundidade	m	20,00	101,00	50,53	8,51	16,74
Esp. capeamento	m	0	19,00	3,17	2,47	79,00
Nível estático	m	+ 3,80	31,00	4,87	3,97	81,08
Nível Dinâmico	m	1,80	48,33	19,97	10,25	50,50
Vazão	l/s	0,016	10,00	0,85	0,93	109,40
Vazão específica	l/s/m	0,0002	4,80	0,14	0,32	223,25
Sólidos Totais	mg/l	125,80	31.125,00	3.218,66	-	-

FONTE: Waldir D. Costa (Tese de Doutorado)

QUADRO II - CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS NOS ESTADOS DO RN E PB
VAZÃO ESPECÍFICA E SÓLIDOS TOTAIS POR TIPO LITOLÓGICO

TIPO LITOLÓGICO	VAZÃO ESPECÍFICA		SÓLIDOS TOTAIS	
	Nº DE POÇOS	MÉDIA (l/s/m)	Nº DE POÇOS	MÉDIA (mg/l)
Gnaíse	511	0,155	492	3.773,89
Granito	109	0,093	95	2.494,15
Micaxisto	97	0,142	89	2.625,13
Migmatito	41	0,092	40	3.188,10
Filito	39	0,099	39	609,46
Quartzito	15	0,143	14	997,00

FONTE: Waldir D. Costa (Tese de Doutorado)

QUADRO III - CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DOS ESTADOS DO RN E PB
VAZÃO ESPECÍFICA E SÓLIDOS TOTAIS POR TIPO DE ESTRUTURA

TIPO DE FRATURA	VAZÃO ESPECÍFICA		SÓLIDOS TOTAIS	
	Nº POÇOS	MÉDIA (l/s/m)	Nº POÇOS	MÉDIA (mg/l)
Transversal Tracional	58	0,298	53	2.418,00
Angular de cisalhamento	60	0,031	55	2.677,00
Longitudinal tracional	10	0,134	10	2.034,00
Long.de cisalhamento	12	0,029	15	5.072,00
Longitudinal indefinida	19	0,064	16	1.943,00
Não caracterizada	37	0,097	33	1.287,00
Sem fratura	50	0,019	50	2.461,00

FONTE: Waldir D. Costa (Tese de Doutorado)

QUADRO IV - CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS NOS ESTADOS DO RN E PB
VAZÃO ESPECÍFICA E SÓLIDOS TOTAIS POR REGIÃO HIDROGRÁFICA

REGIÃO	LOCAL	VAZÃO ESPECÍFICA		SÓLIDOS TOTAIS	
		Nº DE POÇOS	VALOR MÉDIO l/s/m	Nº DE POÇOS	VALOR MÉDIO mg/l
OCIDENTAL	R.G.NORTE	212	0,146	191	1.731,60
	PARAIBA	255	0,087	251	1.211,46
	TOTAL	467	0,114	442	1.436,20
ORIENTAL	R.G.NORTE	214	0,215	197	6.208,60
	PARAIBA	142	0,111	137	4.680,17
	TOTAL	356	0,173	334	5.581,70
TOTALS		823	0,140	776	3.218,66

QUADRO V - CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS

N°	AQÜIFERO		N° DE POÇOS	PROF. MÉDIA m	PROF. NIV. EST. m	VAZÃO ESPECÍF. l/s/m	QUALID. QUÍMICA	
	TIPO	CONDUT. $\mu\text{S}/\text{cm}$					S.T. mg/l	
1	Aluvial		55	40	7,0	28,30	87,74	83,78
2	Cobert. Detrit/Eluvial		27	77	4,7	0,31	112,65	97,85
3	Arenítico		49	85	16,0	0,42	120,07	119,61
4	Carbonático		369	88	18,5	5,43	408,33	300,29
5	Pelítico-carbonático		62	89	19,6	1,66	427,47	328,64
6	Pelítico		157	85	12,8	0,79	313,10	247,85
7	Basáltico		81	98	20,5	0,48	177,78	149,86
8	Quartzítico		39	81	10,8	0,35	328,85	284,97
9	Xistoso		185	83	7,7	0,26	425,73	349,53
10	Granito/gnaiss		803	80	5,4	0,21	297,26	210,60
MÉDIAS				80,6	12,3	0,40 *	269,89	217,29

* Excluídos os valores dos aquíferos de n° 1, 4 e 5



ESCALA : 1:2.500.000

FONTE: W.D. COSTA (TESE DE DOUTORADO)

ZONEAMENTO	
ZONA 1	< 10
ZONA 2	10 - 15
ZONA 3	15 - 20
ZONA 4	20 - 30
ZONA 5	30 - 40
ZONA 6	40 - 50
ZONA 7	50 - 60

LEGENDA

- RIO
- DIVISOR HIDROGRÁFICO
- LIMITE INTERESTADUAL
- ISOIETA DE PRECIPITAÇÃO
- LIMITE DE ZONA DE ARIDEZ
- CIDADE
- CAPITAL DE ESTADO

ISOIETAS DE PRECIPITAÇÃO ANUAL E ZONEAMENTO ÁRIDO DE DERMATONE NOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO NORTE E PARAÍBA



FONTE: CETEC - 1983

ESCALA 1:7.000.000

LEGENDA

- 900 ~ ISOLINHAS DE PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL (mm)
- MÁX. NÚCLEO DE VALORES MÁXIMOS
- MÍN. NÚCLEO DE VALORES MÍNIMOS

PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA TOTAL ANUAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS

FIGURA 02

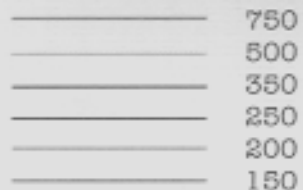


FONTE: COPASA - 1995

ESCALA 1:7.000.000

VALORES DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA
(mS/cm)

LEGENDA



REGIÃO METROPOLITANA
DE BELO HORIZONTE



ISOLINHA DE
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ESPERADA NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
EXPLORADAS POR POÇOS TUBULARES NO ESTADO DE MINAS GERAIS

FIGURA 03