

“HIDROGEOQUÍMICA DE UM AQUIFERO CÁRSTICO EM MINAS GERAIS, BRASIL”

Adelbani Braz da Silva**
Emílio Custódio Gimena***
Waldemir Barbosa da Cruz****
Paulo Cyro Baptista Escodino****

* Trabalho realizado com auxílio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico — CNPq.

** Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais — CETEC, Minas Gerais.

*** Curso Internacional de Hidrologia Subterrânea, Barcelona, Espanha

**** Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais — CETEC, UFMG, Minas Gerais

ABSTRACT

The hydrogeochemical study was carried out to obtain information about the aquifer and its relationship with adjoining rivers. The ions which predominantly affect electrical conductivity are bicarbonate and calcium. The conductivity also represents lithological aspects of the aquifer. The chloride ion concentration were found to be relatively small and depended on the climate conditions and, in addition, paralleled the conductivity. The sulfate ion concentration similarly paralleled conductivity and hardness; its presence was possibly the result of trace amounts in the dissolved limestone. In a few locations sodium bicarbonate water was found along with a small concentration of chloride. In these same locations the pH was relatively high and an excess of sodium over chloride. This may be explained by the lack of carbonate and the presence of sodium silicates. Large variations in chemical concentrations in the system caused by different meteorological conditions and infiltration rates. It is therefore apparent that adjoining rivers are effluent with respect to the aquifer.

1. INTRODUÇÃO

Uma série de estudos e pesquisas hidrogeológicas foi realizada na região cárstica Prê-cambriana do Jaíba, no norte do Estado de Minas Gerais (Brasil), visando avaliar e comparar diversas técnicas de prospecção e exploração de água subterrânea, neste tipo particular de aquífero. O estudo hidrogeoquímico foi realizado para se obter informações complementares sobre o funcionamento do aquífero, suas relações com os rios e secundariamente avaliar a recarga do aquífero por infiltração da água de chuva e determinar a origem das mineralizações das águas subterrâneas.

águas superficiais. Deste total, foram realizadas 551 análises completas e 130 parciais. Esta amostragem realizou-se em diversos períodos secos e chuvosos.

Neste trabalho são descritos os principais resultados obtidos com a interpretação hidrogeoquímica.

2. CARACTERÍSTICAS DO AQUÍFERO

A região em estudo situa-se entre os rios São Francisco e Verde Grande, ao norte da Serra do Sabonetal, abrangendo uma área de 5.150 km² (Figura 1). Trata-se de uma zona aplainada, cujos níveis topográficos não ultrapassam geralmente a 50 metros acima das cotas da planície aluvial do rio São Francisco, em torno de 440 metros. Sobressaem-se no relevo suave apenas a Serra do Sabonetal e a Serra Azul, ao sul, com elevações de 840 e 720 metros de altitude, respectivamente, e o Morro do Catarino, ao norte, com cota máxima de 598 metros.

A área é constituída de uma sequência calcárea, pertencente ao Grupo Bambuí do Prê-cambriano, que repousa diretamente sobre o embasamento cristalino Prê-Cambriano. Estas rochas calcáreas são recobertas, em grande parte da área, por capeamento detrítico Terciário-Quaternário e por aluviões recentes ao longo dos vales dos rios São Francisco e Verde Grande.

Do ponto de vista estrutural, esta área corresponde a um bloco rebaixado por falhamento paralelo ao rio São Francisco, estando nela representadas as unidades da seção superior do Grupo Bambuí. O aleitamento dos calcários é sub-horizontal, sendo afetado somente por suaves movimentos de fundo de bacia, traduzidos em grandes fraturas nas direções preferenciais N 40-50°W e N 30-40°E.

A carstificação Cenozóica produziu um relevo típico, sendo a característica mais marcante a densidade de dolinas, algumas orientadas segundo as direções das fraturas.

As características litológicas e estruturais das unidades de rocha são bem conhecidas à superfície, a partir do mapeamento

realizado na escala 1:100.000 (Costa, 1978). Faltam, todavia, maiores informações de sub-superfície, devido à ausência de perfis de poços bem descritos e controlados.

A espessura da sequência calcária e a profundidade do substrato cristalino não são determinados. A profundidade de carstificação não ultrapassa, em geral, a 100 metros, com a maior parte das fissuras em torno de 30-40 metros de profundidade, algo acima do atual nível do rio São Francisco, conforme sugerem as perfilações isotópicas realizadas em 42 poços tubulares da área (Plata et alii, 1978; Silva, 1979).

O capeamento detrítico Terciário-Quaternário é pouco espesso, mas alcança, em algumas áreas, espessuras consideráveis com máximo de 65 metros e média próxima a 15 metros, de acordo com perfis de eletrorresistividade e dados de poços (Escodino et alii, 1978).

A superfície piezométrica mostra dois altos correspondentes à Serra do Sabonetal (gradiente hidráulico entre 0,005 e 0,003 e ao Morro do Catarino (gradiente hidráulico entre 0,004 e 0,002). O escoamento subterrâneo ocorre para o São Francisco, a oeste, e para o rio Verde Grande, a leste, com gradientes muito fracos (0,0004 a 0,00005).

As variações piezométricas estacionais, atingem, na maior parte da área, valores inferiores a 5 metros. No Morro do Catarino e ao sul, na Serra do Sabonetal, estas variações são acentuadas, ultrapassando 10-15 metros, com máximo de 36 metros.

As características hidrodinâmicas do aquífero foram avaliadas a partir de 37 testes de bombeamento. O valor médio de transmissividade é de $150 \text{ m}^2/\text{dia}$. Considerando os resultados acima de $300 \text{ m}^2/\text{dia}$, a média é de $539 \text{ m}^2/\text{dia}$ e, para os valores abaixo de $300 \text{ m}^2/\text{dia}$, a média é de $47 \text{ m}^2/\text{dia}$.

3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS DOS RIOS

a) Rio São Francisco

A grande vazão do rio São Francisco faz com que o seu comportamento seja independente da recarga subterrânea. As águas desse rio são tipicamente superficiais, com baixo conteúdo em CO_3H^- e Ca^{++} . A relação rSO_4/rCl varia entre 1 e 2, e possivelmente corresponde ao aporte da chuva. A composição média típica da água na estiagem e a sua variação são as seguintes:

	ION	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	Cl^-	SO_4^-	CO_3H^-
Estiagem	ppm	12	3	2	2	4	50
	meq/l	0,60	0,25	0,10	0,50	0,10	0,80
Variação	ppm	6-15	1,5-3,5	1,7-2,5	1,5-3	3-4	25-65

b) Rio Verde e Rio Gorutuba

Na interpretação das análises químicas utilizou-se os resultados de quatro pontos do rio Verde Grande e de dois do rio Gorutuba, obtendo-se os dados do Quadro 1.

Com os dados químicos das épocas úmidas e secas, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- i) o conteúdo em CO_3H^- relativamente elevado (alta pressão parcial de CO_2) da água do rio Verde Grande indica que até a localidade de Gado Bravo o rio recebe ou mantém características de água subterrânea e que esse aporte pode ser nulo ou insignificante a jusante de Gado Bravo.

Pode-se admitir que o efeito dos afluentes é pequeno. Na realidade, o afluente Gorutuba (o único importante) aporta águas com pequeno conteúdo em CO_3H^- , mas isto não explica esse efeito de diminuição devido a menor vazão (10% ou menos que o rio Verde Grande na época de estiagem).

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS DO RIO VERDE GRANDE E GORUTUBA

VARIACÃO MAIS FREQUENTE (ppm)								
PONTO	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ H ⁻	rSO ₄ /rCl	(rCl-rNa)/rCl
VG-11	40-75	5-7	8-14	10-15	11-20	150-300	1	0/(-)
VG-04	40-75	4-8	7-10	9-15	9-20	130-220	1	(-)
VG-14	40-75	5-9	10-13	10-15	13-18	150-250	0-21	(-)
VG-12	35-65	6-8	9-15	11-18	8-13	80-200	1	(-)
GU-02	7-12	3-7	11-17	14-23	1-2	50-80	1	(-)
GU-07	6-8	3-7	7-9	6-10	1-3	35-55	1	(-)

COMPOSIÇÃO TÍPICA DO RIO VERDE GRANDE EM ESTIAGEM

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ H ⁻	rSO ₄ /rCl	(rCl-rNa)/rCl
ppm	55	7	11	12	14	200	1	(-)
meq/l	2,8	0,6	0,5	0,3	0,4	3,3		

ii) O efeito das enchentes é mais notável a jusante da Colônia do Jaíba e em geral acarreta uma diluição moderada, que indica um predomínio da contribuição subterrânea, porém o teor em cloreto é mais elevado que o teor em água de chuva. A diminuição de SO₄⁼ e Mg⁺⁺ pode estar relacionada com uma saída preferencial da parte superior do terreno, onde não existiria SO₄⁼ e Mg⁺⁺ solúvel (terreno lavado), mas o CO₃Ca seria dissolvido pelo CO₂ incorporado pela água na faixa não saturada. Essa água mostraria assim a marca de concentração por evaporação no solo.

iii) As águas de estiagem são muito similares em qualquer ponto do rio Verde Grande, e em especial fora do efeito das enchentes. A diminuição final de Ca⁺⁺ seria devido à precipitação de CO₃Ca ou talvez à diluição com água de afluentes.

Estudando a relação entre condutividade elétrica e vazão, em linhas gerais obtêm-se:

1) As variações das águas a montante da Colônia do Jaíba são menores, de acordo com uma maior regularidade na contribuição subter

rânea

- 2) No trecho entre Colônia do Jaíba e Gado Bravo os valores de condutividade acusam bem o período de estiagem (maio a outubro, águas mais condutoras) e de chuva (outubro em diante, águas menos condutoras), com boa sensibilidade nos meses mais chuvosos (aporte dos pequenos tributários que descem da Serra do Sabonetal e Serra do Jaíba).
- 3) O trecho final tem maiores variações, que podem ser explicadas por uma maior contribuição de águas superficiais. Esta maior contribuição superficial procedente dos afluentes pode explicar que, na estiagem, as águas se mantenham menos condutoras até o final da mesma (momento em que domina o aporte subterrâneo do rio Verde Grande).

A evolução do conteúdo de cloretos não é sempre coincidente com a condutividade elétrica uma vez que a época de maior condutividade coincide com uma de menor conteúdo em Cl^- , e depois, ao diminuir a condutividade, aumentam os cloretos. Só na época úmida é que a diminuição é paralela, mesmo assim com grande dispersão. Este comportamento é explicável pelo fato de que a condutividade elétrica está dominada pelos ions Ca^{++} e CO_3H^- , que formam a parte maior do conteúdo iônico.

Ao terminar o período chuvoso, passam a dominar as águas mais condutoras (esta água pode representar um aporte de águas subterrâneas ao rio Verde Grande) e algo menos cloretadas, que as águas das primeiras chuvas. Parece que águas restituídas na época mais seca são algo mais cloretadas e menos condutoras que as de circulação superficial, possivelmente devido a um equilíbrio com os carbonatos a partir de águas recarregadas em áreas com menor pressão parcial de CO_2 no solo (zona de rocha fraturada).

No rio Gortuba existem, em geral, valores de pH inferiores a 7,0 que mostram a menor proporção de contribuição de aquíferos calcários. Esse menor pH se reflete mais claramente na menor condutividade da água (menos CO_3H^-) com valores menores no trecho próximo a sua confluência com o Verde Grande, possivelmente por perda de gás e precipitação de CO_3Ca ou diluição com o aporte de baixa condutividade do afluente rio Pacuí.

A mesma observação vale para o conteúdo em cloretos. Suas águas a montante têm conteúdo de Cl^- similar as do rio Verde Grande,

ó que indica um aporte subterrâneo preferencial neste trecho. Nas águas a jusante registram-se menores valores de Cl^- , possivelmente devido ao maior aporte de água superficial ou subsuperficial.

Pode-se concluir que os dados químicos vêm indicar que o rio Verde Grande é um rio com um aporte de água subterrânea, dominante, ainda que a contribuição mais importante corresponda ao trecho a montante da Colônia do Jaíba. A jusante, o intercâmbio de água com o aquífero parece pequeno. No trecho final modifica ligeiramente a sua composição química, possivelmente por perder CO_2 para a atmosfera e precipitar algo de CO_3Ca .

4. CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

1) Variações Temporais

Observa-se uma notável variação dos valores químicos de um ponto a outro e de uma época a outra, especialmente em algumas áreas. Isto indica que o sistema responde a situações com um marcado caráter local (época de chuva ou época seca, maior ou menor facilidade de infiltração, condições de exploração, etc.).

Os dados disponíveis não permitem estudar as variações temporais da composição química das águas subterrâneas. Essas variações existem, ainda que não mudem essencialmente o caráter químico da água. No entanto parece que: a) a área do Morro Catarino mostra variações estacionais, sinal de um pequeno armazenamento; b) a área ao redor da Colônia do Jaíba apresenta uma composição pouco variável ou com uma pequena diluição depois do início dos períodos de chuva (o armazenamento deve ser importante); c) a área da Serra do Sabonetal mostra uma tendência para uma diluição depois do início dos períodos de chuvas (o armazenamento é moderado aumentando para leste e oeste, onde a variação química é menor); d) a área perto da parte final do riacho Serraria apresenta variações rápidas de mineralização, o que indica influências locais.

Muitas destas variações dependem do equilíbrio hidrodinâmico entre as diversas fendas interceptadas pelos poços e por isso as mudanças podem ser rápidas.

2) Variações Espaciais

Não existem aquíferos superpostos de tal maneira que seja necessário uma representação separada segundo a profundidade ou a formação geohidrológica. Não é possível separar as contribuições das diferentes fendas nem se sabe se a variável contribuição das fendas altera substancialmente a fácies química da água obtida.

Utilizando-se um mapa de diagramas de Stiff (modificado) foi possível identificar áreas com semelhantes fácies químicas e fazer agrupações. Estas agrupações permitem identificar os diversos tipos de água que por sua vez poderão ser classificados por números e letras (ordenação de ânions e cátions de maior para menor) segundo o método de Schoeller (Custódio e Llamas, 1976).

Para a área em apreço, tem-se:

- | | |
|---------------------------|----------------------|
| 1) $rCl > rSO_4 > rCO_3H$ | a) $rNa > rMg > rCa$ |
| 2) $rCl > rCO_3H > rSO_4$ | b) $rNa > rCa > rMg$ |
| 3) $rSO_4 > rCl > rCO_3H$ | c) $rMg > rNa > rCa$ |
| 4) $rSO_4 > rCO_3H > rCl$ | d) $rMg > rCa > rNa$ |
| 5) $rCO_3H > rCl > rSO_4$ | e) $rCa > rNa > rMg$ |

"r" corresponde a valores em meq/l.

Não se verifica a ocorrência do tipo "3" e "4" (sulfatadas) e daquelas dos tipos "e" e "d" (magnesianas); se registra apenas um caso de "d". Os tipos dominantes são "5" e "6" (bicarbonatadas) e "e" e "f" (cálcicas). Em áreas restritas (Figura 2) na Serra do Sabonetal aparecem águas do tipo 6b, bicarbonatada sódica, que possivelmente correspondem ou derivam de áreas de arcôseos ou feldspatos. O tipo 2e (cloretadas cálcicas), ocasionalmente ligado a 6d (bicarbonatada magnésiana), aparece numa faixa restrita, na região próxima da Colônia do Jaíba e parece representar uma zona de circulação preferente que concentra águas poluídas pelas atividades humanas na área da Colônia do Jaíba.

Infelizmente a área central não tem dados e não é possível fazer extrapolação com segurança. No entanto, o tipo básico de água é "6e" (cloreto e magnésio minoritários) o qual pode mudar para o 6f (cloreto e sódio minoritários) em função provavelmente da litologia local da área de origem da água. Em

áreas com menor recarga, onde a concentração de água de chuva por evapotranspiração é maior, passam a dominar as águas do tipo "5f" e "5e", devido ao aumento de cloreto e sulfato. É provável que as águas do tipo "6e" (Morro Catarino e alguns pontos dispersos na Colônia do Jaíba) e "5e" (periferia da Serra do Sabonetal e provavelmente a área central) indiquem uma predominância de silito e arcóseo sobre o calcário, devido a que a alteração dos feldspatos do arcóseo permite que o sódio domine sobre o magnésio.

Não é possível tirar conclusões imediatas sobre a circulação da água. É claro que algumas áreas perto do rio São Francisco apresentam características que indicam uma influência da água fluvial, possivelmente por recarga das enchentes. A variabilidade da mineralização das águas dos poços nessa área concorda com isto.

Na área da Serra do Sabonetal os diagramas modificados de Stiff mostram notáveis variações da salinidade, ainda que valores menores apresentam uma tendência de se localizarem perto dos córregos, apesar de que nestas zonas também são encontradas águas mais salinas. Tudo isso indica que as influências locais são dominantes e que não se pode falar de um aquífero principal mas sim de um conjunto de zonas mais ou menos permeáveis com certo grau de interconexão. Isto também explica as variações verticais de composição química entre diferentes fendas ou trechos permeáveis.

Na área da Colônia do Jaíba, as águas fortemente mineralizadas rapidamente diluem-se em direção a Mocaminho e as suas características peculiares desaparecem. Essa deve ser uma área de circulação preferente ressaltada pelo efeito de poluição humana. Outras áreas com poluição humana aparecem em pontos isolados em Gado Bravo e Matias Cardoso.

A área do Morro Catarino é singular e restrita, vindo a indicar que a recarga ali deve ser pequena, e o seu efeito fica logo mascarado por outras águas.

Entre os diferentes mapas de isolinhas desenhados só uns poucos proporcionaram dados interpretativos adicionais. Para o estudo da área deve-se considerar que normalmente os íons dominantes são CO_3H^- e Ca^{++} (às vezes Na^+) que procedem do terreno. Estes íons normalmente dominam as variações de conduti-

vidade elétrica que consequentemente representam aspectos litológicos e de solo. O íon Cl^- é normalmente minoritário e portanto não evolui de forma paralela à condutividade elétrica. Este íon depende mais das condições climáticas, pois pode-se supor que o aporte natural pelo terreno é desprezível.

Observando-se os diversos mapas onde foram estabelecidas zonas homogêneas pode-se destacar:

a) Condutividade elétrica (Figura 3). Aparece numa faixa irregular de elevada condutividade que se estende desde a Colônia do Jaíba em direção a oeste, abrangendo a baixa do rio Serraria. Ocasionalmente ocorrem pontos de muito alta condutividade na Colônia do Jaíba e em outros pontos diversos. A Serra do Sabonetal propriamente dita mostra áreas de baixa condutividade, o mesmo acontece nas margens do rio São Francisco, exceto em pontos em que a água possa estar submetida à evaporação. Na área norte só aparecem elevadas condutividades no Morro Catarino, sendo o resto desta área constituído de águas pouco condutoras, salvo em pontos isolados junto aos rios, possivelmente devido à evaporação. Fora dessas zonas de evaporação em lagoas ou naquelas com características de poluição humana, as áreas de maior condutividade elétrica parecem corresponder àquelas onde a dissolução de carbonato do terreno é maior (maior teor de CO_2 no solo ou solo carbonatado).

As zonas de baixa condutividade elétrica na Serra do Sabonetal e ao redor do Morro Catarino possivelmente correspondem a áreas com solos menos desenvolvidos ou com rochas menos carbonáticas. Como a condutividade elétrica é aproximadamente inalterável, pode-se tirar as seguintes conclusões sobre o movimento da água:

- a recarga no Morro Catarino não tem efeito regional e portanto é pequena;

- as águas recarregadas na região da Serra do Sabonetal parecem ter um componente para a Colônia do Jaíba, outra para Mocambiño, e possivelmente outra seguindo o riacho Serraria, ainda que nos dois últimos casos os efeitos de diluição no caminho são notáveis.

b) Dureza da água - A distribuição é semelhante a da condutividade elétrica dado que os alcalinos terrosos são os cátions dominantes. Onde os valores são mais elevados parecem dominar os calcá-

rios. Na área oeste da Serra do Sabonetal, a elevada condutividade elétrica não corresponde a altos valores de dureza porque na área parecem dominar os siltitos e arcóseos onde os solos liberam uma maior quantidade de cátions alcalinos.

- c) Conteúdo em cloretos - (Figura 4) - Existem em geral uma tendência de valores de cloreto em torno de 40 a 50 ppm, na área entre a Serra do Sabonetal e o Morro Catarino. Ao redor desta área e na Colônia do Jaíba existem zonas menos cloretadas. As zonas com maior conteúdo em cloreto não coincidem necessariamente com as de alta condutividade elétrica, com exceção do Morro Catarino. O menor conteúdo em cloretos indica uma maior recarga nessas zonas, talvez em áreas com solos menos retentivos. As zonas de maior retenção, onde a recarga seria menor, situam-se em uma faixa na Serra do Sabonetal (área do riacho Serraria até a cabeceira do Córrego Escuro) e na área central. As faixas entre Colônia do Jaíba e Mocambinho (excetuando o trecho poluído) e situada ao norte da estrada de Gado Bravo e Matias Cardoso são onde a infiltração profunda deve ser maior.

A forma das curvas de distribuição de cloretos parece mostrar que existe uma linha de circulação ao longo do riacho Serraria e outra da Colônia do Jaíba para Mocambinho.

- d) Conteúdo em sulfatos - A distribuição das zonas com maior conteúdo em sulfato (normalmente baixo) segue uma distribuição com certo paralelismo à da condutividade e a da dureza, o que pode sugerir que o mesmo fenômeno que produz o aumento da condutividade e dureza, produz também um aumento nos sulfatos. Possivelmente, os sulfatos procedem, em boa parte, da dissolução da rocha carbonática, sendo menor a contribuição pela chuva, tal como deduzido no estudo dos dados químicos das águas superficiais.
- e) Índice de desequilíbrio entre cloretos e alcalinos (Figura 5). - Expressado como $(rCl-rNa)/rCl$. Existe uma razoável coincidência entre a área mais cloretada na Serra do Sabonetal e a faixa com valores positivos do índice. Essa coincidência também apresenta-se parcialmente na área central até o Morro Catarino, ainda que a densidade dos dados seja insuficiente. Nestas regiões a maior proporção dos sais atmosféricos deve explicar o valor mais perto do equilíbrio, enquanto que nas zonas menos cloretadas, os peque

nos aportes de sódio pelo terreno vão diminuir notavelmente o índice devido a sua maior importância relativa.

- f) Relações iônicas - Outros valores químicos não dão novas informações. A relação rSO_4/rCl tem uma distribuição semelhante a da dureza. Nas proximidades da Colônia do Jaíba essa relação fica muito pequena, o que parece indicar que o cloreto procede preferentemente de poluição.

A relação rNa/rCa é útil para ressaltar os fenômenos que conduzem a uma dissolução preferente de Ca^{++} ou de Na^+ . Os valores maiores que 1, que indicam já um predomínio da alteração de silicatos sódicos sobre carbonatos, aparecem nas faixas de baixa dureza, alto teor em cloretos e alto índice de desequilíbrio entre cloretos e alcalinos. Nestas, dominariam os siltitos e mesmo os arcóseos, devido a que essa relação chega a valores muito altos, superiores a 20 (junto às áreas da Colônia do Jaíba, Gado Bravo e Matias Cardoso pode ser devido a poluição mas não em outras áreas). Os contornos das isolinhas hidroquímicas indicam que provavelmente a Serra do Sabonetal tem uma drenagem preferente para o rio São Francisco e menor para o rio Verde Grande.

- g) Valores de pH - Os dados de pH de campo indicam valores geralmente entre 6,5 e 7,5. Os valores menores que 7,2 são dificilmente compatíveis com a presença de calcário, exceto se as fendas tiverem um revestimento de argila ou sílica que retarda notavelmente a dissolução do carbonato.

Em geral, não parece que as águas com contaminação superficial (que mostram elevado conteúdo em NO_2^- , Fe^{++} e às vezes Mn^{++}) apresentem anomalias químicas significativas.

5. MOVIMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Com os comentários e deduções é possível avançar algumas idéias gerais, que estão representadas na Figura 6.

6. RELAÇÃO RIO-AQUÍFERO

Não é aparente nenhuma recarga de água dos rios para o aquífero. Na área perto do São Francisco podem aparecer águas subterrâneas semelhantes às do rio, mas ocorre principalmente devido ao efeito das enchentes.

Também não se percebem saídas de água no aquífero para os rios na área do projeto. No caso do rio São Francisco isso é explicável devido a sua grande vazão, que dilui imediatamente todo o aporte, por o r e m e s s a i d a s a i d a s e x i s t e m.

No caso do rio Verde Grande confirma-se o que anteriormente foi discutido. A jusante da Colônia do Jaíba o intercâmbio de água rio-aquífero é pequeno, mesmo em épocas de estiagem; possivelmente menor que 20% da vazão, ou seja, menos de 600 /s. Qualquer saída importante de água para o rio deveria ser facilmente detectável a t r a v e s o s o d e s a s m o d i f i c a d o s m o d i f i c a d o s a g u a s d o r i o.

7. RECARGA DOS AQUÍFEROS POR INFILTRAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA

O único método disponível para tentar quantificar a recarga dos aquíferos por infiltração de águas de chuva é o balanço de cloretos entre a água de chuva e a água freática, não alterada por aportes de outras áreas ou por atividades humanas. Os dados disponíveis do Planoroeste (CETEC-1981) parecem indicar que o valor do conteúdo em cloretos na água de chuva é pouco variável de um lugar para o u t r o n e s t a r e g i a õ o (pode estar entre 0,10 e 0,30 ppm de Cl^- com um v a l o r m é d i o d e m a i s o m e n o s 0 ,20 ppm). Com estes dados como base de partida, pode-se estimar os coeficientes de infiltração ($I = \text{recarga} / (\text{pluviometria} - \text{escoamento superficial})$) supondo-se que a maior parte do i o n Cl - nas águas subterrâneas seja de origem atmosférica (Quadro 2). É evidente que estes resultados podem ter um grande e r r o, portanto devem ser utilizados com grande prudência.

Os cálculos realizados supõem ainda que a água dos poços a m o s t r a d o s r e p r e s e n t a á g u a d e r e c a r g a, o que só é admissível em sistemas locais ou no caso de uma amostragem da parte superior do nível freático (o que ocorre sempre).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método geohidroquímico produz bons resultados em aquíferos cársticos quando se faz uma interpretação cuidadosa e seleciona as características químicas mais apropriadas em cada caso. No entanto, é um método que deve ser usado conjuntamente com outros métodos clássicos que definam a situação geohidrológica (mapeamento hidrogeológico, piezometria e outros) ou menos clássicos (estudo do movimento

da água nos poços com traçadores, isótopos ambientais). É sobretudo um método confirmativo de hipótese e um método fornecedor de alterações e orientações.

QUADRO 2 - INFILTRAÇÃO ANUAL MÉDIA DE ÁGUA DE CHUVA PARA O AQUÍFERO

Z O N A	TEOR DE Cl ⁻ NA ÁGUA SUBTERRÂNEA (ppm)	COEFICIENTE INFILTRAÇÃO (I)		INFILTRAÇÃO PRO- FUNDA PARA P-E = 800mm/ano
		MÉDIO	EXTREMOS	
Áreas arenosas per- to do rio São Fran- cisco	10	0,020	0,010-0,030	16 (8 a 24)
Bacia do riacho Serraria	40	0,005	0,002-0,007	4 (2 a 6)
Serra do Sabonetal, parte alta	10	0,020	0,010-0,030	16 (8 a 24)
Serra do Sabonetal e Serra Azul, con- torno Norte	15	0,015	0,007-0,020	12 (6 a 16)
Colônia do Jaíba	15	0,015	0,007-0,020	12 (6 a 16)
Plano Central	45 (?)	0,004	0,002-0,006 (?)	3 (2 a 5)*

* estes dados não concordam com os isotópicos.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CETEC- Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1981 - 2º Plano de Desenvolvimento Integrado do Nordeste Mineiro - Recursos Naturais. Série de Publicações Técnicas SPT-002, Belo Horizonte (Brasil).
- COSTA, P.C.G., 1978 - Geologia das folhas de Janaúria, Mata do Jaíba, Japoré e Manga, Minas Gerais. Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia, vol. I, Recife (Brasil).
- CUSTÓDIO, E. e LLAMAS, M.R., 1979 - Hidrologia Subterrânea, Ediciones Omega, vol. II, cap. 10.3, Barcelona (Espanha).
- ESCODINO, P.C.B e SILVA, A.B., 1980 - Aplicação de Métodos de Prospecção Geo-elétricos na Pesquisa de Aquíferos Cársticos. Anais do I Congresso Brasileiro de Aguas Subterrâneas. ABAS, novembro de 1980, Recife (Brasil).

PLATA, A.; SILVA, A.B. e ESCODINO, P.C.B., 1978 - Perfilagem de Poços Tubulares utilizando-se Isótopos Artificiais. Anais I Congresso de Aguas Subterrâneas, Recife (Brasil).

SILVA, A. B., 1979 - Pesquisa e Avaliação de Recursos Hídricos Subterrâneos em "Karst", por meio de Sensores Remotos. Rev.Mineração e Metalurgia, ano XLII, nº 415, outubro/novembro, Rio de Janeiro (Brasil).

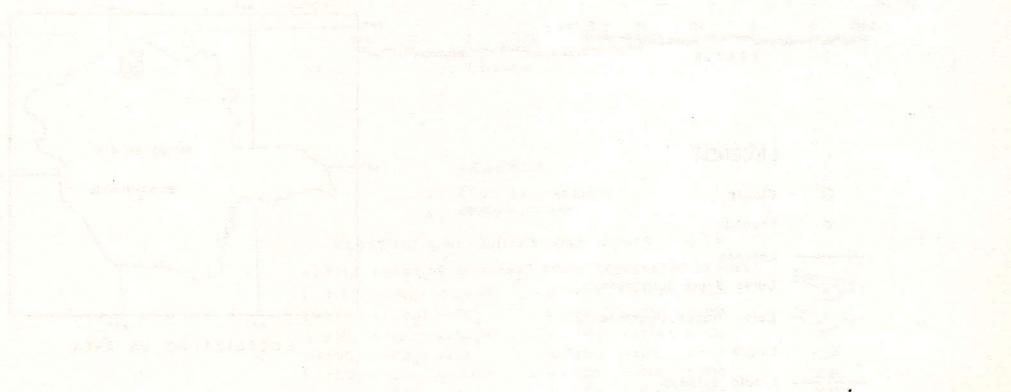
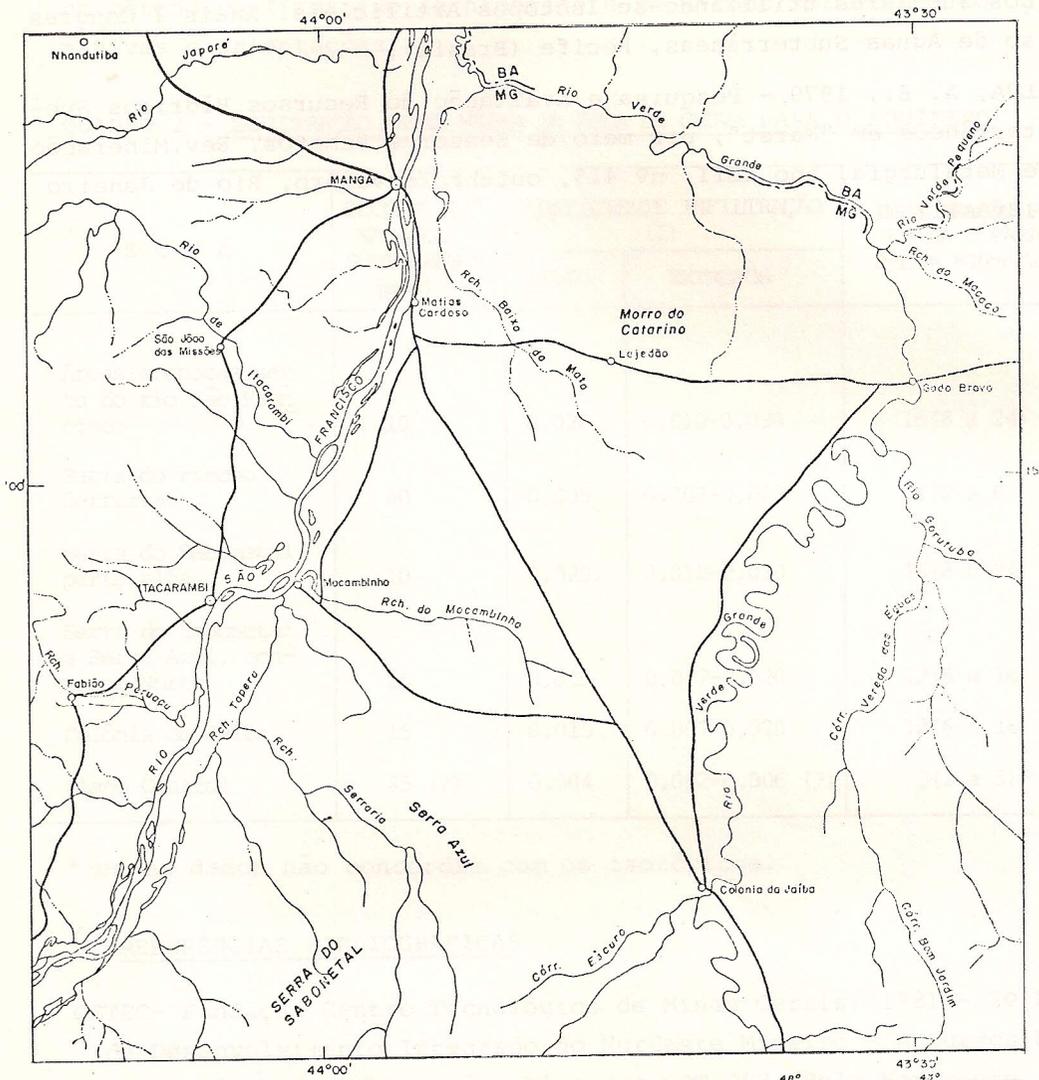
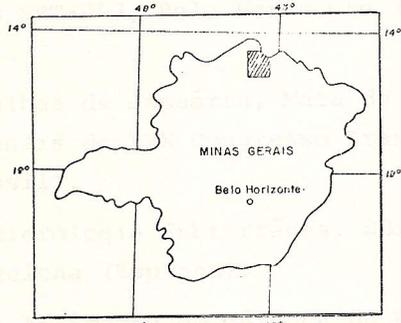


FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO



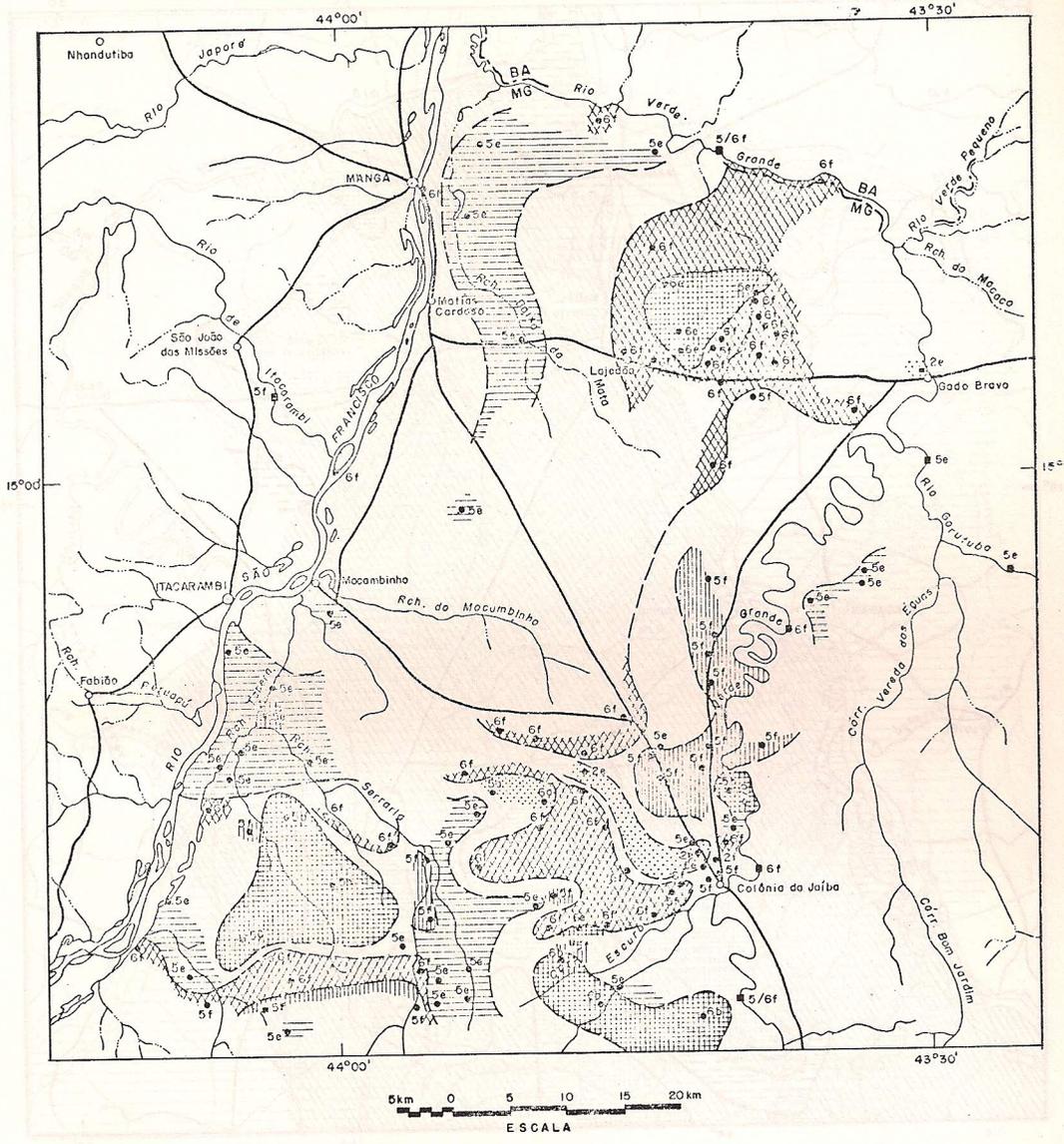
LEGENDA

- Cidade
- Povoado
- Estrada
- ~ Curso d'água permanente
- - - Curso d'água intermitente
- ◡ Lagoa
- BA
— MG Limite estadual



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

FIGURA 2 - CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS



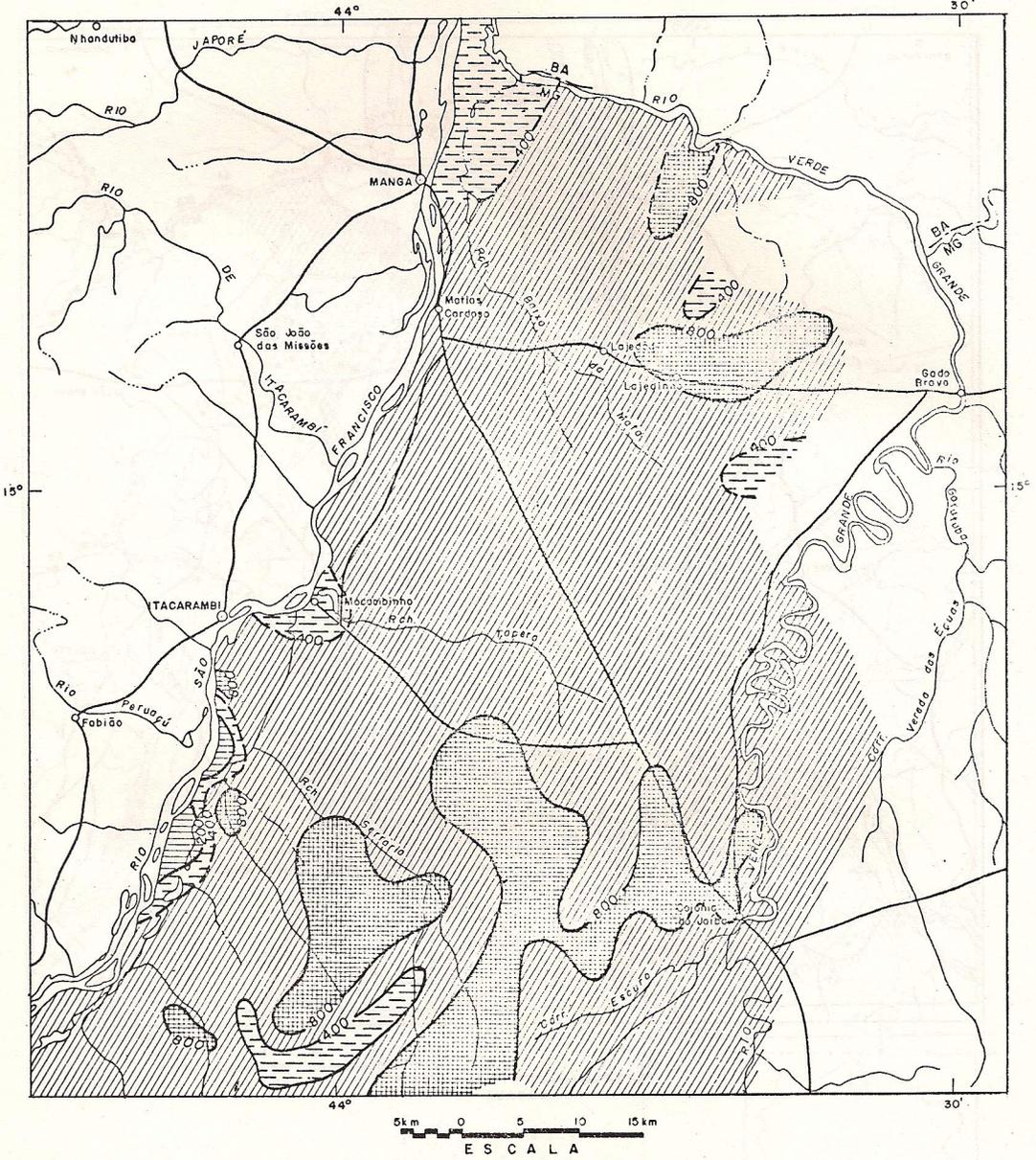
LEGENDA

- ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
- ÁGUAS FLUVIAIS

CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS

A) PELA FORMA DE DIAGRAMA STIFF (ORDENAÇÃO DE IONS)	
1 - rCl > rSO ₄ > rCO ₃ H	a - rNa > rMg > rCa
2 - rCl > rCO ₃ H > rSO ₄	b - rNa > rCa > rMg
3 - rSO ₄ > rCl > rCO ₃ H	c - rMg > rNa > rCa
4 - rSO ₄ > rCO ₃ N > rCl	d - rMg > rCa > rNa
5 - rCO ₃ H > rCl > rSO ₄	e - rCa > rNa > rMg
6 - rCO ₃ H > rSO ₄ > rCl	f - rCa > rMg > rNa

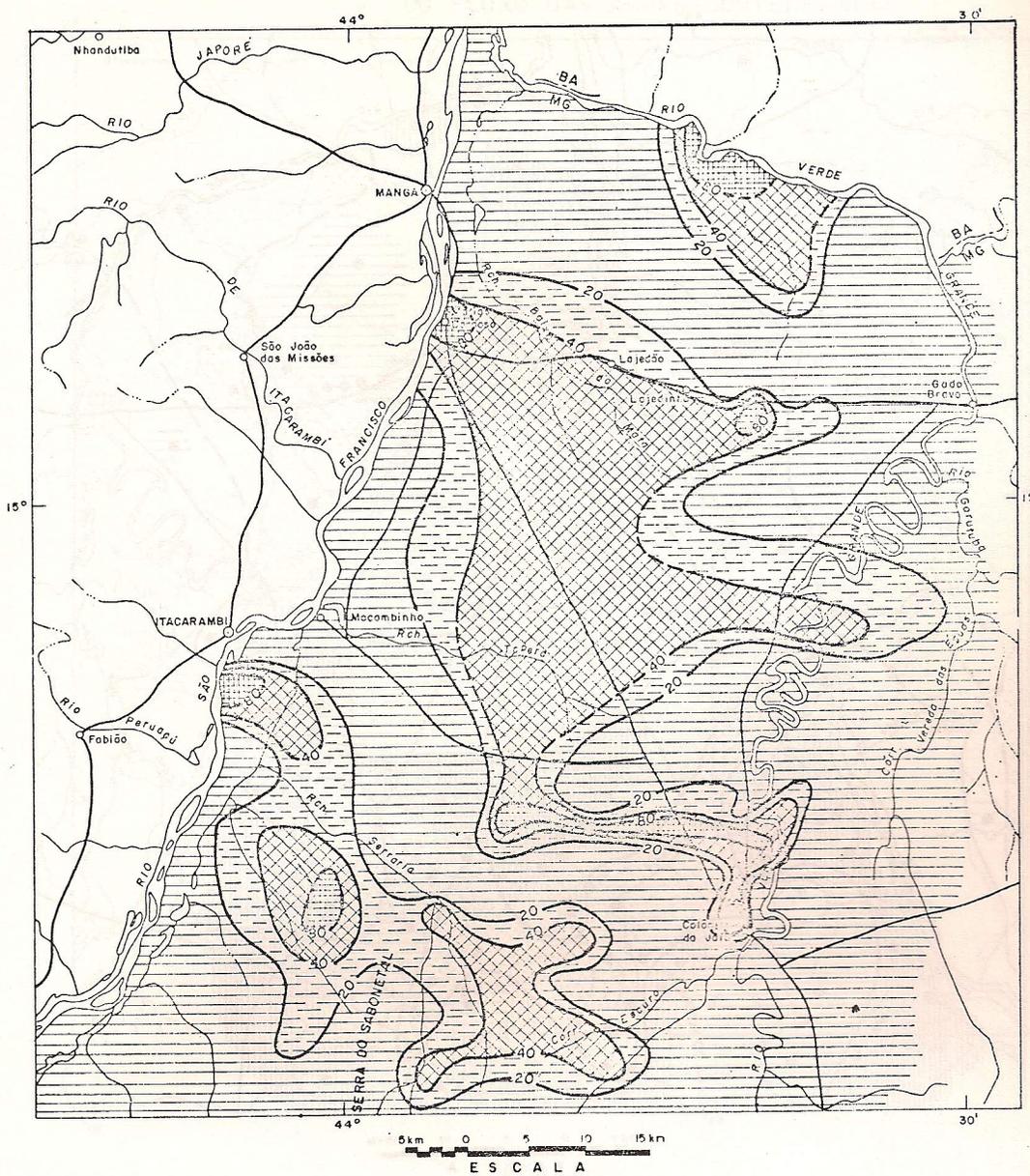
FIGURA 3 - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA - $\mu\text{mhos}/\text{cm}$ a 25°C



LEGENDA

- | | |
|---|-----------|
|  | < 200 |
|  | 200 - 400 |
|  | 400 - 800 |
|  | > 800 |

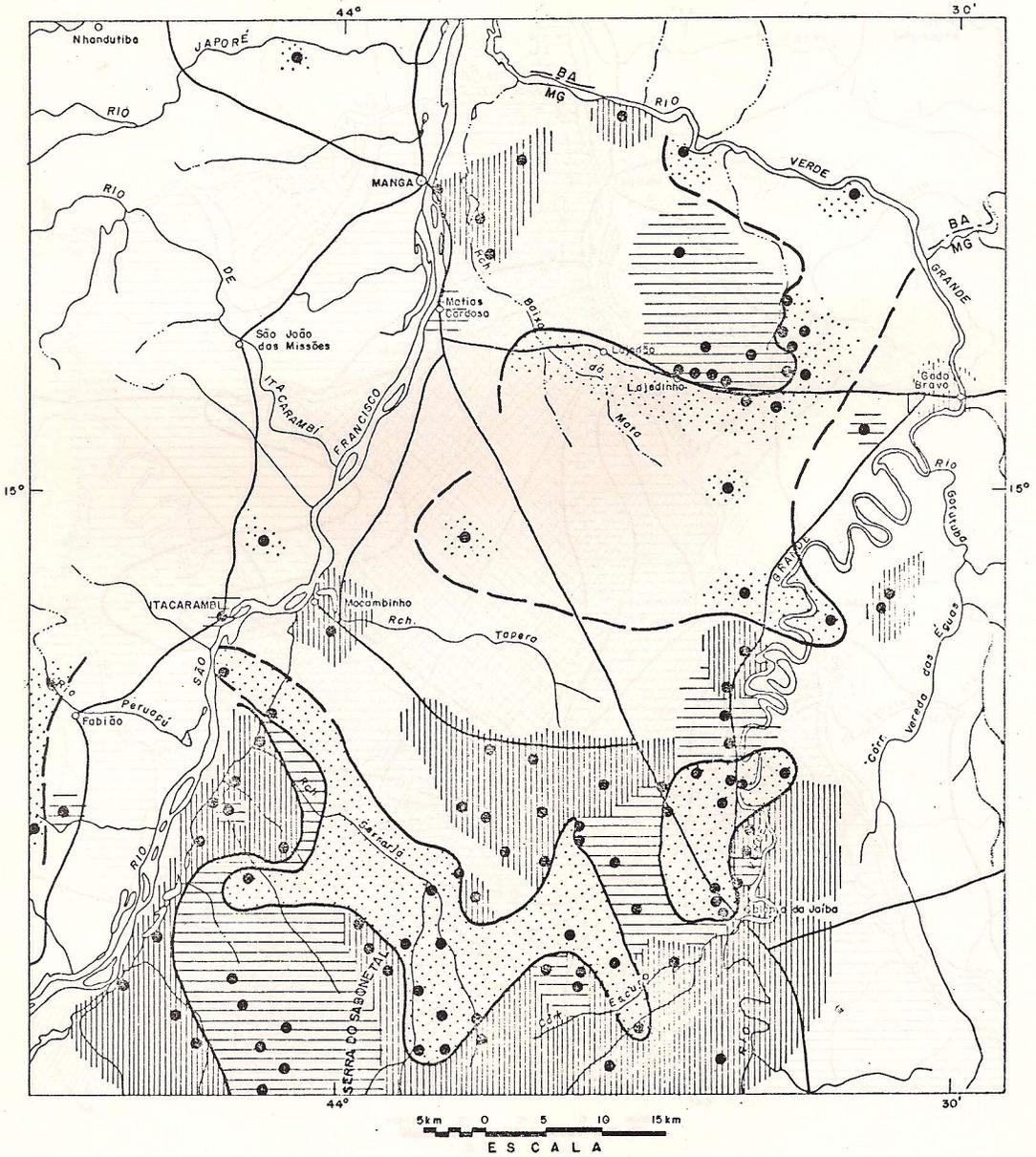
FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO DE CLORETOS (mg/l)



LEGENDA

-  < 20
-  20 - 40
-  40 - 80
-  > 80

FIGURA 5 - ÍNDICE DE DESEQUILÍBRIO RELATIVO HALOGENÍOS-ALCALINOS



LEGENDA

● Pontos de Análise - Águas Subterrâneas

$$Itb = \frac{rCl - rNa}{rCl} \quad (\text{Índice de Troca de Base})$$

r = meq/l

	Itb > 0
	Itb < 0
	Itb < -1

