

HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MÉDIO JEQUITINHONHA, MINAS GERAIS, BRASIL

Leila Nunes MENEGASSE¹
Fernando R. OLIVEIRA²
Maria Antonieta de Alcântara MOURÃO³
Uriel DUARTE²
Rebeca E. de CASTRO¹
Alexandre M. A. DINIZ⁴
Marcos A. T. ELMIRO⁴
Paulo B. PEREIRA⁵
Hélio N. DINIZ⁵

RESUMO

A área de estudos é dominada por um clima semi-árido, com precipitação média de 808 mm/ano e evapotranspiração média de 1567 mm/ano. Esta consiste numa das regiões mais pobres do país, compreendendo 18 municípios que se estendem por 11.700 km². A extração da água subterrânea por meio de poços tubulares é a principal alternativa de abastecimento, especialmente nas áreas rurais. Os aquíferos explorados são predominantemente do tipo fraturado (granitóides e xistos), apresentando vazões da ordem de 8 m³/h. A elevada salinidade da água subterrânea é um dos motivos de abandono dos poços, se revertendo em prejuízos econômicos e sanitários às populações. O objetivo desse estudo é a caracterização hidroquímica das águas subterrâneas a partir de 255 poços tubulares. Foram investigadas correlações entre diversos parâmetros hidroquímicos, entre as características hidroquímicas e as litologias dos aquíferos, e correlações da salinidade com os parâmetros climáticos. O cloreto é o principal responsável pelo caráter salobro das águas, predominando em 46,2% do conjunto das amostras com STD acima de 500 mg/L e em 71,4% das amostras com STD acima de 1000 mg/L. Águas cloretadas ocorrem indistintamente nos aquíferos, entretanto, a baixa concentração do cloro nas rochas e a correlação significativa entre a precipitação e o cloreto, permitem inferir a influência do clima no processo de salinização dessas águas.

ABSTRACT

The area studied has a semi-arid climate, characterized by an average annual rainfall of 808 mm/yr and average annual transpiration of 1,567 mm/yr. This is one of the poorest regions in the country and has 18 municipalities covering 11,700 km². The extraction of groundwater through wells is the main means of supply, especially in rural areas. The aquifers exploited are predominantly of the fractured type (granitoids and schists) with a flow of 8 m³/h. The high salinity of the groundwater is one of the reasons for the abandoning of the wells, which mean economic and sanitary losses for the population. The objective of this study is the hydrochemical characterization of groundwater analyzed from 255 wells. Correlations were studied between various hydrochemical parameters, between hydrochemical characteristics and the lithologies of the aquifers, and correlations of salinity with climatic parameters. chloride is the main factor responsible for the salinity of water, present in 46,2% of the set of samples with STD above 500 mg/L and in 71,4% of samples with STD above 1000 mg/L. Chlorinated water appears in all the aquifers, however, the low concentration of chloride in the rocks and the significant correlation between atmospheric precipitation and chlorate make it possible to infer the influence of the climate in the salinization process of these waters.

¹ Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais – IGC-UFMG
Tel.: 55 31 3499 5424 - depegeol@igc.ufmg.br

² Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais – IGC-UFMG
Tel.: 55 31 3499 5421 - depegeog@igc.ufmg.br

³ Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – IG – USP. Tel.: 55 11 33091 4226 urduarte@usp.br, fro@usp.br

⁴ Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais – CPRM. Tel.: 55 31 0261 0384 antonieta@cprmbh.gov.br

⁵ Instituto Geológico de São Paulo – IG. Tel.: 55 11 5585 9994 heliodiniz@igeologico.sp.gov.br

keywords: chemical quality, salinity, semi-arid

1 INTRODUÇÃO

A área de estudo localiza-se na porção nordeste do estado de Minas Gerais estando inserida no setor médio da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha (Figura 1). Possui extensão de 11.700 km² sendo limitada pelos paralelos 16°00' e 17°00' e os meridianos de 41°30' e 42°30'. Envolve integral ou parcialmente 18 municípios com população total de 254.684 habitantes (IBGE, 2000).

A região do Médio Vale do Jequitinhonha é marcada pela pobreza e pela precariedade da estrutura econômica. Os indicadores sócio-econômicos revelam a menor participação na produção interna bruta e o mais baixo PIB *per capita* do estado. Este quadro é agravado pela escassez dos recursos hídricos decorrente do clima semi-árido, que assola parte significativa da região. Há também sérios comprometimentos dos aspectos qualitativos e quantitativos da água. Estes são promovidos pelas atividades econômicas de caráter extrativista, como é o caso das lavras e minerações, pelo manejo inadequado do solo para uso agrícola e pela remoção, em larga extensão, da cobertura vegetal original e o reflorestamento por eucalipto e pinho. Os programas governamentais de emergência nos períodos estivais têm sido conduzidos sem uma orientação técnica que tenha como concepção a gestão dos recursos e a adoção de critérios bem fundamentados para a prospecção e a exploração. Esta situação decorre da ausência de diretrizes na adoção de medidas de combate à seca e da falta de estudos hidrogeológicos no Vale do Jequitinhonha.

O recurso hídrico subterrâneo figura como a principal alternativa para abastecimento

doméstico, em especial na zona rural. Grande parte dos cursos d'água apresentam regime intermitente e a qualidade das águas dos cursos maiores exigem tratamento convencional para seu uso. A captação da água subterrânea é feita principalmente através de poços tubulares profundos, e, secundariamente, por meio de poços escavados e nascentes.

As restrições ao uso mais abrangente da água subterrânea devem-se ao fraco potencial hidrogeológico, dado pelo predomínio de aquíferos fissurados, e pela ocorrência de águas com elevada salinidade, conduzindo muitas vezes ao abandono dos poços. Isto motivou a proposição deste estudo, em que é feita uma investigação dos fatores dessa salinização e da influência climática em particular.

2 OBJETIVOS

Este estudo visou ao diagnóstico das características hidroquímicas das águas subterrâneas do Médio Vale Jequitinhonha e a uma avaliação da influência dos condicionantes litológicos e climáticos sobre a salinização dessas águas, testando-se a hipótese da "Concentração progressiva por evaporação".

Como parte integrante do "Projeto Hidrogeologia do Médio Jequitinhonha", apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Duarte et. al., 2001), os resultados contribuem com subsídios à continuação do projeto, em particular na avaliação da irrigação de cultivos mais tolerantes às elevadas salinidades das águas subterrâneas comumente encontradas na região.

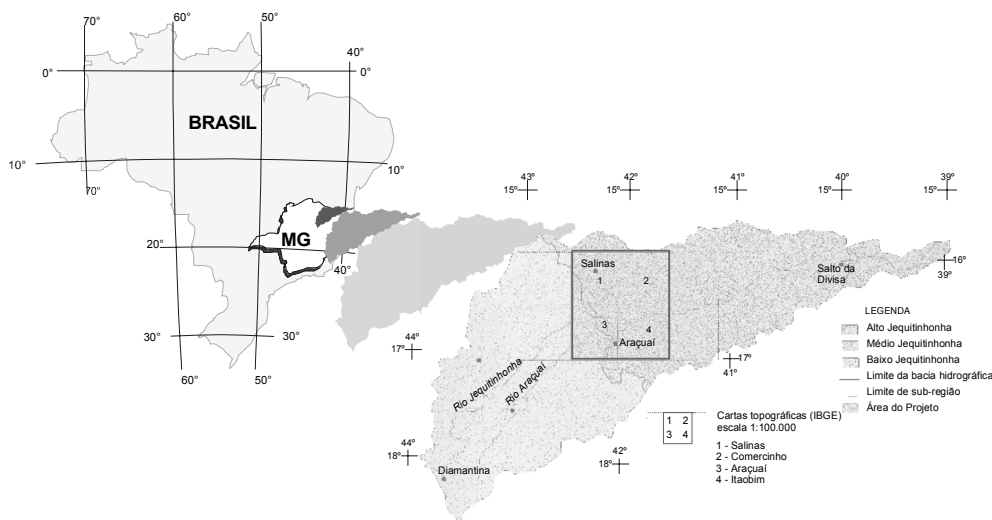


Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo.

3 METODOLOGIA

Os parâmetros hidroquímicos foram selecionados em função dos usos básicos da água subterrânea na região, o consumo humano e agrícola, bem como aqueles indicadores de salinidade. Os parâmetros mais importantes analisados foram: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Dureza, SAR e STD. Utilizou-se um banco de dados de 255 poços tubulares públicos e privados cadastrados, atualizado até 2001.

As correlações intrínsecas entre os parâmetros hidroquímicos, bem como os parâmetros climáticos e hidroquímicos foram realizadas utilizando-se técnicas de geoprocessamento.

Os parâmetros climáticos empregados foram: precipitação (P), evapotranspiração Potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), *deficit* hídrico (DEF) e a razão P/ETP. Com exceção da Precipitação, os demais parâmetros foram obtidos por meio do balanço hídrico climático pelo método de Thorntwaite-Mather (1956), sendo esta função da temperatura, precipitação, latitude e altitude.

As interpolações dos parâmetros climáticos foram geradas pelo método de Thiessen seguido da obtenção desses valores em cada ponto provido de um poço, pelo método "overlay" utilizando-se o programa IDRISI. As análises geoestatísticas das variáveis foram executadas no programa Statistical Package for the Social Science - SPSS.

A salinidade também foi correlacionada com a produção dos poços (vazão) e esta por sua vez com as variáveis climáticas, testando-se a hipótese de que os poços seriam mais produtivos nas áreas de maior pluviosidade e neste caso as concentrações em sais dissolvidos estariam mais diluídas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: PROCESSOS DE SALINIZAÇÃO

A resolução CONAMA 20/86 (BRASIL, 1986) classifica as águas do território nacional em doces ($\text{STD} < 500 \text{ mg/L}$), salobras ($500 < \text{STD} < 30.000 \text{ mg/L}$) e salgadas ($\text{STD} > 30.000 \text{ mg/L}$).

A salinização em aquíferos fraturados, pela natureza da porosidade fissural e pelo domínio de fluxos mais locais do que regionais, configuram, normalmente, aquíferos de baixa salinidade. Os cátions maiores (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), ocorrem em abundância nas rochas, solo e manto de intemperismo, sendo de fácil incorporação às águas. A salinidade depende, portanto, da disponibilidade dos ânions maiores (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-), cujo aporte é normalmente associado a fatores extrínsecos (clima, poluição, etc.).

Numa tentativa de explicar as causas e processos da salinização das águas subterrâneas, diversos autores realizaram vários estudos na região do Polígono das Secas, onde os teores salinos atingem até 7913 mg/L (Santos et. al, 1984) nos aquíferos cristalinos do nordeste brasileiro. Várias hipóteses foram levantadas, destacando-se a "Salinização por concentração progressiva" (Cruz & Melo, 1968, *apud* Santos et. al, 1984), no qual o fator climático atual é admitido como fator preponderante no enriquecimento em sais da água subterrânea. Assim, a salinização progressiva por evaporação, obedeceria ao mecanismo: precipitação \Rightarrow saturação do solo \Rightarrow evaporação (efeito da capilaridade) \Rightarrow infiltração de solução mais concentrada durante as chuvas posteriores. Em função das solubilidades dos sais, precipitam-se primeiramente o CaCO_3 , seguido dos sulfatos e do NaCl , este em condições de evaporação mais extremas.

Os estudos de Santos et. al. (1984) consideraram a hipótese da salinização do aquífero freático determinada pelo solo, com base nas análises químicas dos extratos dos diferentes tipos de solos e das águas subterrâneas. Os autores concluíram que são os solos que mais decisivamente contribuem para a salinização, apontando o clima como fator indireto através dos solos.

5 ASPECTOS CLIMÁTICOS

O estudo da distribuição e caracterização da precipitação na área foi realizado a partir de dados de 13 estações pluviométricas operadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

Há uma ampla predominância de temperaturas elevadas e estáveis, superiores a 22° C, com média geral de 25,9 °C e oscilação anual de 22,8 e 28,1 °C.

A precipitação média anual é de 808 mm, sendo o trimestre mais chuvoso correspondente aos meses de Dezembro a Fevereiro (58,8% do total) e o mais seco, de Junho a Agosto. A maior concentração ocorre no extremo NO (estações Açude Vacaria (1166 mm) e Berilo (891 mm) diminuindo no sentido SE atingindo os mais baixos índices na estação S. J. Grande (Figura 2).

A ETP é elevada, oscilando, espacialmente entre 1510 mm (Berilo) e 1623 mm/ano (Itaobim), bem acima da P média da área (807,5 mm). O baixo índice médio de P/ETP (0,52) permite classificar o clima da área como semi-árido, contendo no extremo oeste uma variação para clima Seco Sub-úmido, entretanto, esta porção teria influência apenas local uma vez que abrange uma pequena extensão relativa.

O deficit ocorre ao longo de todo o ano na maior parte da área, com valores anuais entre 502mm (estação Açude Vacaria) e 870mm (estação S.J. Grande).

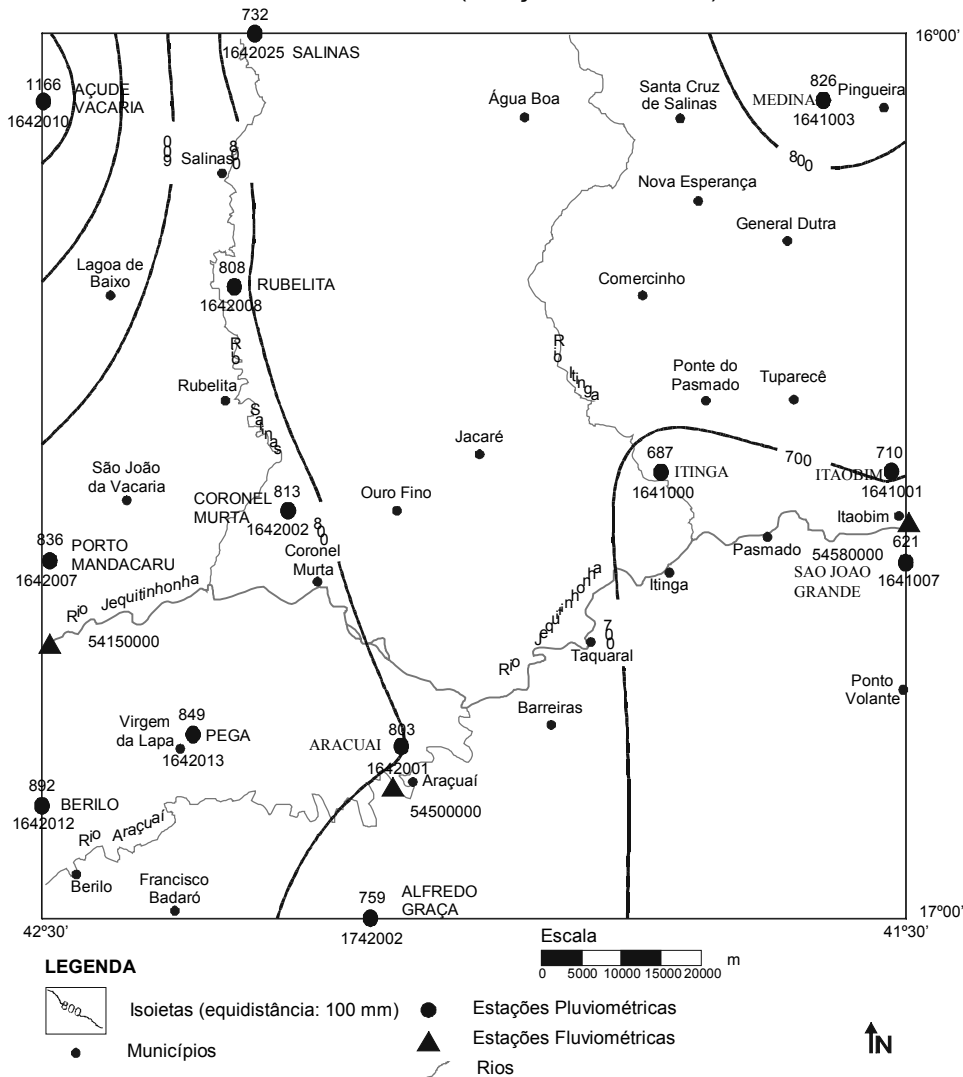


Figura 2 – Isoietas anuais

6 HIDROGEOLOGIA DA ÁREA

Quatro grandes unidades aquíferas foram individualizadas tendo como critério os aspectos litoestruturais e a natureza da permeabilidade. Relacionam-se, respectivamente, aos depósitos aluviais, às coberturas detríticas, às rochas graníticas e granito-gnáissicas e aos litotipos xistosos (Figura 3).

A unidade associada aos depósitos aluviais é pouco expressiva, normalmente constituída de cascalhos e areias grossas na base do pacote e de sedimentos mais finos no topo (CETEC, 1980). Não há poços tubulares que captam água exclusivamente deste aquífero.

A unidade relacionada às coberturas detríticas engloba o manto de decomposição das rochas - saprolitos, elúvios e colúvios, os depósitos de cobertura do terciário-quadernário e

os sedimentos detríticos terciários da Fm. São Domingos. Consiste de aquíferos potencialmente fracos, mas importantes no processo de recarga dos aquíferos fissurados subjacentes através de infiltração vertical (RURAL-MINAS, 1995).

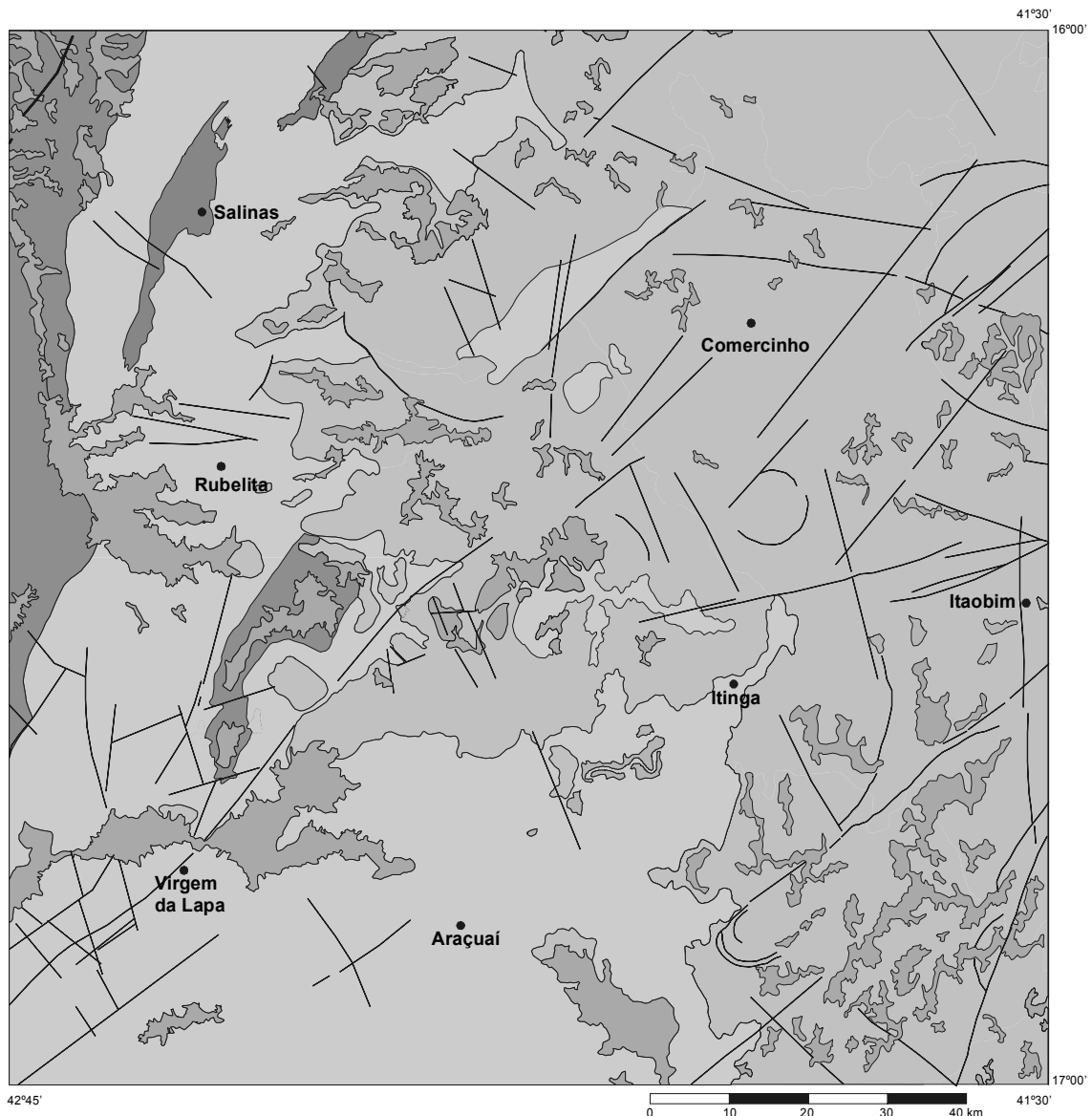
A unidade aquífera em granitóides é superficialmente mais expressiva na porção oriental da área, englobando as rochas granitóides e granito-gnáissicas. A potencialidade hidrogeológica é de grau baixo a médio, apresentando vazão média de 8,0 m³/h, não contabilizando o numero expressivo de poços improdutivo.

A unidade aquífera em xistos abrange os litotipos micáceos do Gr. Macaúbas. Fundamentando-se nas diferenças composicionais, que implicam em variações no potencial hidrogeológico, estabeleceu-se a divisão em três

subunidades: i) xistos da Fm. Salinas; ii) xistos carbonáticos da Fm. Salinas e iii) metadiamiclitos e metapelitos das Fms Chapada Acauã e Nova Aurora. As superfícies estruturais de maior significância, xistosidade e clivagem de crenulação, mostram planos particularmente fechados que dificultam a percolação da água, refletindo no valor reduzido da vazão média, 8,25 m³/h. Embora este valor seja equiparado ao obtido nos aquíferos em granitóides há uma tendência de maiores vazões nestas rochas como atestado pelos resultados mais elevados da moda e da mediana (Tabela 1).

Un. Aquífera	Vazão (m ³ /h)			
	Média	D.P.	Mediana	Moda
Coberturas (12)	5,73	5,4	4,27	-
Granitóides (103)	8	10,48	4,11	0,79
Xistos (206)	8,25	9,99	6	9
Total	8,05	10	5,4	9

Tabela 1 - Vazão de poços tubulares nas unidades aquíferas (Duarte et. al., 2001)



Fonte: Baseado nos mapas geológicos de Pedrosa Soares (1994 e 1995), Pedrosa Soares & Oliveira (1994) e Perillo (1995).

LEGENDA:

- Unidade de aquíferos aluvionares
- Unidade de aquíferos em coberturas
- Unidade de aquíferos em granitóides
- Sub-unidade de aquíferos em xistos da Fm. Salinas
- Sub-unidade de aquíferos em xistos carbonáticos da Fm. Salinas
- Sub-unidade de aquíferos em metadiamiclitos e metapelitos das Fms. Chapada Acauã e Nova Aurora
- Falhas e lineamentos indiscriminados

Figura 3 – Mapa de unidades aquíferas

7 RESULTADOS

7.1 Fácies hidroquímica

Dentre as análises de 105 poços, 70 (59,8%) são válidas para efeito da classificação hidroquímica pelo critério de Logan (1965). As Figuras 4 e 5 representam os tipos hidroquímicos dos dois aquíferos mais importantes, granitóides (33) e xistosos (31), respectivamente. Em ambos aquíferos predominam águas bicarbonatadas (78% e 79%, respectivamente), seguidas das cloretadas e sulfatadas. Relativamente aos cátions, predomina o Na, seguido do Ca e do Mg nos aquíferos granitóides e o Ca, seguido do Na e do Mg nos aquíferos xistosos.

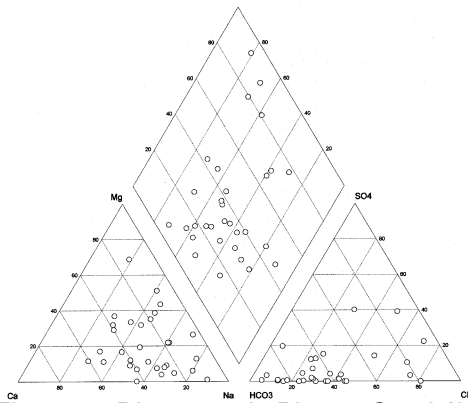


Figura 4 - Diagrama de Piper – Granitóides

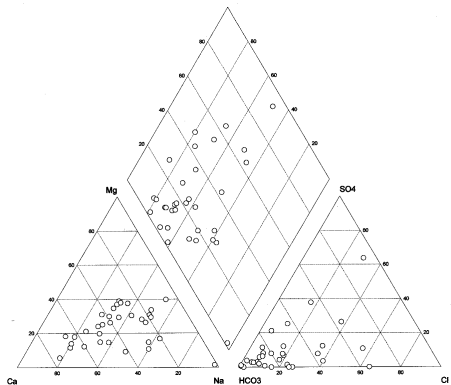


Figura 5 - Diagrama de Piper - Xistosos

As águas cloretadas ocorrem em 14% (9) do conjunto das amostras em xistosos e granitóides. Considerando-se a natureza destas rochas é pouco provável que a concentração de cloreto esteja relacionado com estas litologias, permitindo inferir uma influência climática sobre esta evolução hidroquímica, cujo estudo será abordado a seguir.

As águas sulfatadas nos xistosos indicam a presença de sulfetos comumente encontrados em grande quantidade nestas rochas. O predomínio do sódio sobre o cálcio e o magnésio nas águas dos aquíferos granitóides podem

indicar a natureza dos feldspatos constituintes dessas rochas.

7.2 Salinidade

De acordo com os padrões e práticas internacionais, a potabilidade relativa à salinidade é classificada segundo faixas de variação (COPASA/ Hidrossistemas, 1995). Verifica-se uma tendência à salinização denotada pela classificação de apenas 16,1% das amostras com “potabilidade boa”. A mediana dos STD, de 412 mg/L, ratifica a elevada salinidade dessas águas (Tabela 2).

Varição (mg/L)	Potabilidade	Dados	% total
STD ≤ 150	Boa	20	16,1
150 < STD ≤ 500	Razoável	61	49,2
500 < STD	Tolerável	27	21,8
STD > 1000*	Inaceitável	16	12,9
Total		124	100

*VMP Portaria 1469/2000

Tabela 2 - Potabilidade segundo a salinidade

Os valores de CE guardam uma forte correlação com a salinidade apresentando coeficiente de correlação, R=0,97 e erro alfa, P<0,0001). Os valores mais elevados de CE ocorrem nos aquíferos xistosos em relação aos granitóides (Tabela 3). Ao menos dois fatores explicam este comportamento: i) a composição argilosa e frequentemente carbonática nos xistos; ii) a natureza dos fraturamentos nos xistos, de maior frequência e menor espaçamento das aberturas, promovendo a uma maior interação água-rocha. Os aquíferos de cobertura apresentam águas menos salinizadas, recebendo influência direta da água precipitada.

Condutividade Elétrica (µS/cm)			
Un. Aquífera	Xistos	Granitóides	Cobertura
Nº	37	24	5
Média	1149,5	926,3	65,9
Mínimo	241,5	8,4	0,3
Máximo	6820,0	4775,7	236
Mediana	842,0	430,0	13,6
Desvio	1198,1	1153,4	113,6

Tabela 3 - Dados estatísticos da CE em função da litologia

Os principais ânions responsáveis pela salinidade das águas, ou seja o cloreto, bicarbonato e o sulfato guardam correlações variáveis com a Condutividade Elétrica, abaixo apresentadas (Tabela 4):

Parâmetros	ρ	p
cloreto – C.Elétrica	0,830	0,000
bicarbonato - C.Elétrica	0,652	0,000
sulfato - C.Elétrica	0,603	0,000

Tabela 4 – Correlações entre a C.E. e ânions maiores

O cloreto possui o maior índice de correlação com a CE, demonstrando a sua importância no processo de salinização, e ratificando a maior solubilidade deste íon em relação aos demais. Quando presente como íon predominante, o cloreto proporciona a característica salobra à água (STD entre 500 e 30.000 mg/L). De fato, do total de 124 amostras, 43 (34,7%) possuem STD acima de 500 mg/L, sendo que 39 destas possuem análise iônica total. Dentre estas 39 amostras, 18 (46,2%) possuem o cloreto como íon predominante, 3 (7,6%) o íon sulfato, e 18 (46,2%) o íon bicarbonato.

Além disso, dentre as 16 amostras com STD acima de 1000 mg/L, alcançando um máximo de 4456 mg/L, 14 possuem dados iônicos completos, sendo que 10 amostras (71,4%) são predominantemente cloretadas e 2 (14,3%) sulfatadas. Constata-se abaixo (Tabela 5) os diferentes graus de correlação positiva entre os ânions predominantes em solução. A maior correlação verificada, cloreto – sulfato, pode indicar uma procedência comum dos mesmos, possivelmente a água de chuva, pois ambos são normalmente abundantes na precipitação atmosférica. Outro aspecto importante é que os ânions, cloreto e sulfato, são mais solúveis, nesta ordem, em relação ao íon bicarbonato, permitindo a concentração dos mesmos nas águas de maior salinidade.

Parâmetros	ρ	p
cloreto – sulfato	0,624	0,000
cloreto - bicarbonato	0,440	0,000
sulfato - bicarbonato	0,222	0,033

Tabela 5 – Correlações entre os íons maiores

As correlações abaixo entre o sódio e os ânions cloreto e sulfato, e com a CE mostra ratificam a elevada solubilidade desses íons (Tabela 6).

Parâmetros	ρ	p
sódio - cloreto	0,785	0,000
sódio – sulfato	0,549	0,000
sódio - CE	0,741	0,000

Tabela 6 – Correlações entre o sódio e íons maiores e CE.

A Tabela 9 apresenta os resultados das seguintes correlações estatísticas: i) parâmetros

climáticos – parâmetros hidroquímicos e ii) parâmetro de produtividade (vazão) - parâmetros hidroquímicos. As correlações abaixo relativas ao cloreto (Tabela 7) corroboram no sentido de haver uma influência climática sobre a salinidade da água subterrânea, pois mostram que a presença do cloreto está associada aos locais de menores P e ETR e maiores ETP e DEF.

Parâmetros	ρ	p
Cl – P	-0,244	0,013
Cl/HCO ₃ ⁻ - P	-0,328	0,001
Cl/HCO ₃ ⁻ - DEF	0,247	0,014
Cl/HCO ₃ ⁻ - ETR	-0,222	0,028
Cl/HCO ₃ ⁻ - P/ETP	-0,257	0,028

Tabela 7 – Correlações relativas ao cloreto e parâmetros climáticos

As correlações abaixo relativas ao bicarbonato (Tabela 8) também corroboram no sentido de haver uma influência climática sobre a salinidade da água subterrânea. Estas relações indicam que a água de chuva constitui num importante aporte do íon bicarbonato.

Parâmetros	ρ	p
HCO ₃ ⁻ - ETP	-0,218	0,030
Cl/HCO ₃ ⁻ - DEF	0,247	0,014
Cl/HCO ₃ ⁻ - P	-0,328	0,001

Tabela 8 – Correlações relativas ao bicarbonato e parâmetros climáticos

Não foi constatada associação entre as vazões e as variáveis climáticas, indicando que o fator geológico deve influenciar mais efetivamente na produção dos poços.

A vazão apresentou correlações estatisticamente significativas com o sulfato ($\rho=0,224$), Mg ($\rho=0,209$) e com a razão Na⁺/Cl⁻ ($\rho=-0,269$). O incremento do sulfato deve estar associado à presença abundante de sulfetos nos aquíferos xistosos, os quais tendem também a apresentar vazões mais elevadas na área (Duarte et. al., 2001). A correlação negativa da vazão com o Na⁺/Cl⁻ estaria relacionada a uma diminuição dos teores de sódio, uma vez que o cloreto não apresenta associação significativa com as litologias e ocorre indistintamente em ambos os aquíferos. De fato os xistos são pobres em sódio em relação às rochas granitoides e também tendem a apresentar vazões mais elevadas (Duarte et. al., 2001), ratificando a hipótese acima levantada.

7.3 Dureza

As águas da região possuem tendência de se apresentarem duras, com apenas 17,5% das amostras enquadradas como brandas, sendo elevado o índice de águas muito duras (41,5%),

Tabela 10. Em termos de potabilidade, a situação é mais razoável, apresentando 8% das amostras classificadas como inaceitáveis. Os elevados índices de dureza na área encontram

explicação na ampla ocorrência de xistos de matriz carbonática na Fm. Salinas, a qual abrange cerca de 40% da área .

Variáveis		Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Mg ²⁺	SAR	Cl ⁻ /HCO ₃ ⁻	Na ⁺ /Cl ⁻	
Spearman's	DEF	Coef. Correl.					0,411**	0,247*		
		N					54	98		
	ETP	Coef. correl.		-0,218*				0,293*		
		N		100				54		
	ETR	Coef. Correl.	-0,18						-.222*	
		N	103						98	
	ETP	Coef. Correl.								
		N								
	PREC	Coef. Correl.	-0,244*					-0,335*	-0,328**	
		N	103					54	98	
	P/ETP	Coef. Correl.							-0,257*	
		N							98	
	VAZÃO	Coef. Correl.			0,224*			0,209*		-0,269*
		N			94			97		57

** Correlação é significativa até .01;* Correlação é significativa até .05; cél.vazias: ausência de correlação.

Tabela 9 - Correlações de Spearman's entre os parâmetros climáticos e químicos.

Enquadramento		Amostras	
Variação (mg/L CaCO ₃)	Enquadramento	Nº	% total
Dt ≤ 60	Brandas	35	17,5
60 < Dt ≤ 120	Moderada-	40	20,0
120 < Dt ≤ 180	Duras	42	21,0
Dt > 180	Muito duras	83	41,5
Potabilidade		Amostras	
Variação (mg/L CaCO ₃)	Potabilidade	Nº	% total
Dt < 120	Boa	75	37,5
120 < Dt ≤	Razoável	42	21,0
180 < Dt ≤	Tolerável	67	33,5
> 500	Inaceitável	16	8,0

Tabela 10 - Enquadramento das águas e classificação da potabilidade relativa à dureza total

7.4 Potabilidade para consumo humano

As águas subterrâneas apresentam restrições ao consumo humano para a maioria dos parâmetros analisados sendo eles: turbidez (79%), cor (33%), salinidade – STD (11,9%), dureza (8%), cloreto (7%), sulfato 1,7%, ferro (54,1%), manganês (53,9%), coliformes totais (67,8%), coliformes fecais (45,8%) e estreptococos fecais (45,8%). Os problema de turbidez, cor e bacteriológicos, ferro e manganês

podem, a princípio, serem atribuídos a falhas construtivas dos poços como verificado na maior parte dos poços da área.

7.5 Qualidade da água para a irrigação

Constata-se o baixo risco de Na (Figura 6), entretanto, o risco de salinidade varia de médio a alto, com raras amostras dentro das situações de riscos extremos baixo a muito alto. A associação dos valores de SAR (Risco de absorção do sódio) com as litologias (Tabela 6) não mostra uma diferença significativa entre os aquíferos granitoides e xistosos, lembrando que as águas dos granitoides são predominantemente bicarbonatadas sódicas a mistas. Provavelmente os teores em cálcio nos granitoides fazem com que o SAR nestes não se eleve muito.

Un. aquífera	Xistos	Granitoides
Nº amostras	62	46
Média	2,07	2,15
Mínimo	0,11	0,18
Máximo	17,72	6,83
Mediana	1,55	1,73
Desvio Padrão	2,42	1,35

Tabela 11 - Dados estatísticos do SAR em função da litologia

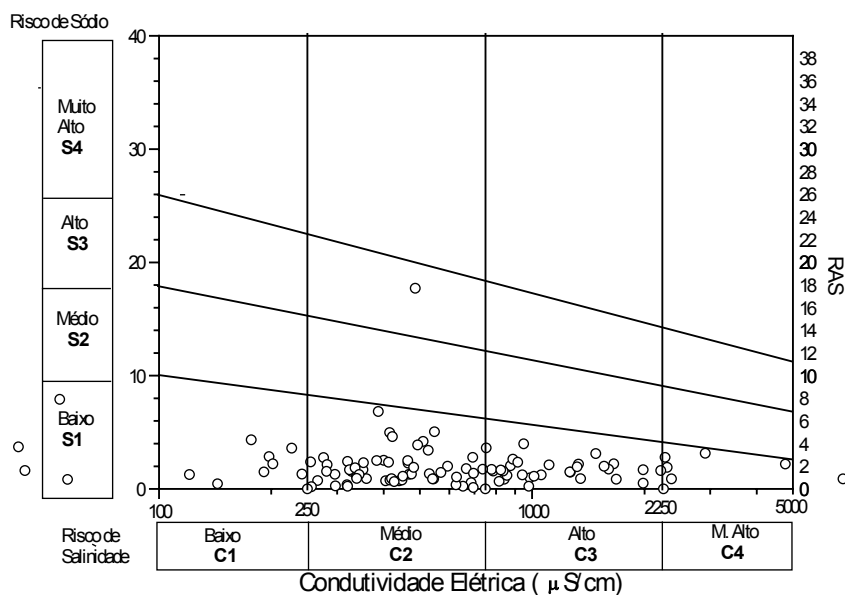


Figura 6 - Diagrama de Wilcox para todas as amostras da área de estudos (U.S. Department of Agriculture Salinity Laboratory)

8 CONCLUSÕES

Dois tipos hidroquímicos caracterizam as águas da região, segundo as litologias predominantes, os xistos e os granitóides. Nos xistos predominam as águas bicarbonatadas cálcicas e mistas e nos granitóides, as bicarbonatadas sódicas e mistas. No primeiro caso o cálcio deve-se à presença de lentes mais carbonáticas dentro do xisto. O sódio nos aquíferos granitóides indicam uma composição predominantemente sódica dos feldspatos.

As águas cloretadas ocorrem indistintamente nos dois aquíferos, portanto, não parecem guardar uma associação significativa com a composição mineralógica das rochas. Entretanto esta investigação deverá ser ainda melhor estudada. O cloreto constitui o principal íon responsável pelo caráter salobro das águas, o qual é concentrado pelas altas taxas de ETP, ou seja, em locais onde a P é mais baixa.

Os resultados obtidos foram favoráveis à hipótese da “salinização por concentração progressiva”, em particular por meio das correlações entre o cloreto e as variáveis climáticas. A forte associação do cloreto com o sódio corrobora este resultado. A origem do sódio merece uma investigação mais

aprofundada, contudo, o fator geológico ou pedológico deve ser predominante.

A vazão, diferentemente do se esperava, não apresentou correlação com os parâmetros climáticos, atribuindo-se aos fatores geológicos e estruturais a maior influência na produção dos poços. As vazões guardam associação com o sulfato, magnésio e com a razão Na^+/Cl^- , esta última negativa. Este resultado é coerente com as características litológicas da área, pois os poços mais produtivos estão nos xistos carbonáticos sendo os mesmos portadores de sulfetos, magnésio e são pobres em sódio.

A qualidade das águas para a irrigação mostra dois tipos principais, C_2S_1 e C_3S_1 , ou seja, um baixo risco de sódio e médio a alto risco de salinização.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, à Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – CPRM, Superintendência de Belo Horizonte e ao Centro de Sensoriamento Remoto do Instituto de Geociências da UFMG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. 1986. Resolução CONAMA n.20 - 18 de Junho de 1986. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional.. Brasília: DOU de 30/07/86.
- BRASIL. 2000. Ministério da Saúde. Portaria 1426 de 29 de Dezembro de 2000. Aprova a Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano, que dispõe sobre procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelece o padrão de potabilidade da água para consumo humano. Brasília. www.in.gov.br
- CETEC - 1980. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Projeto Estudos Integrados do Vale do Jequitinhonha. Estudos Hidrogeo-lógicos*. Belo Horizonte, CETEC, v.4.

- COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Hidrosistemas – Engenharia de Recursos Hídricos Ltda. 1995. *Disponibilidades hídricas subterrâneas no estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, Ed. Sergio Menin Teixeira de Souza, 525 p.
- CRUZ, W.B. da. 1985. A qualidade química da água em rochas fraturadas. In: I Simpósio Nacional de Água Subterrânea, 1985, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABAS-MG, 1985. p. 40 – 54.
- CRUZ, W.B. & MELO, F.A. P. 1968 – *Estudo geoquímico preliminar das águas subterrâneas do nordeste do Brasil*. Recife, SUDENE/Divisão de Documentação. SUDENE, Hidrogeologia, 8. 16p.
- DUARTE, U.; OLIVEIRA, F. R.; MENEGASSE, L.N. 2001. *Hidrogeologia do médio vale Jequitinhonha*. Rel. Fapesp. 210 p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2000. Sinopse preliminar do Censo Demográfico - 2000. Rio de Janeiro, IBGE, v.7.
- LOGAN, J. 1965. *Interpretação de análises químicas de água*. Recife: U.S. Agency for International Development. 67 p.
- PEDROSA SOARES, A.C. 1994. *Mapa Geológico da Folha Araçuaí*, escala 1:100.000. Projeto Espinhaço. Companhia Mineradora de Minas Gerais (COMIG)/Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte.
- PEDROSA SOARES, A.C. 1995. *Mapa Geológico do Médio e Baixo do rio Araçuaí e adjacências, noroeste de Minas Gerais*, escala 1:50.000. Potencial Aurífero do Vale do Araçuaí, MG: História da exploração, geologia e controle tectono-metamórfico. Tese de doutorado. Universidade de Brasília, 177 p.
- PEDROSA SOARES, A.C. & OLIVEIRA, M.J.R. 1994. *Mapa Geológico da folha Salinas*, escala 1:100.000. Projeto Espinhaço. Companhia Mineradora de Minas Gerais (COMIG)/ Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte.
- PERILLO, I.A. 1995. *Programa Levantamentos Básicos do Brasil*. Carta de ocorrências minerais sobre fundo geológico. Folha Almenara (SE.24-V-A), escala 1:250.000. CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- RURALMINAS – Fundação Rural Mineira, Colonização e Desenvolvimento Agrário. 1995.
- PLANVALE. *Plano Diretor de Recursos Hídricos para os Vales do Jequitinhonha e Pardo*. Belo Horizonte, SEAPA/ GEVALE/ RURAL-MINAS/ SEAGRI/ GEPAR - Consórcio Geotécnica/DHV Consultantes, Anexo B – Hidrogeologia, 133p., inclui mapas.
- RURALMINAS – Fundação Rural Mineira, Colonização e Desenvolvimento Agrário. 1999a. Hidrogeologia. In: *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia de Afluentes do Rio São Francisco, em Minas Gerais*. Belo Horizonte, MMA/SRH/ SEAPA/ RURALMINAS/ SEMAD/IGAM – Consórcio Ecoplan/Magna/ Cab, Tomo 8, v.1. 120p., inédito.
- SANTOS, P. dos; AZEVEDO, S. G.de; MISTRETA, G. 1984. Novos aspectos da Salinização das Águas subterrâneas do Cristalino do Rio Grande do Norte. IPT. Comunicação Técnica nº. 314.