

AVALIAÇÃO DA HIDROGEOLOGIA E HIDROQUÍMICA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG) NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL

Didier Gastmans¹ e Chang Hung Kiang²

Recebido em 25/06/2004, aceito em 13/10/2004

RESUMO Este trabalho apresenta uma avaliação do comportamento hidrogeológico e hidroquímico do Sistema Aquífero Guarani (SAG) em sua área de ocorrência no Estado de Mato Grosso do Sul. Mapas potenciométrico e de fácies hidroquímicas do SAG no Estado de Mato Grosso do Sul foram elaborados a partir de informações hidrodinâmicas e hidroquímicas existentes na base de dados da SANESUL. A análise da superfície potenciométrica do SAG, na porção ocidental da Bacia Sedimentar do Paraná, indica a existência de áreas de recarga ao norte e ao sul da área estudada, respectivamente no Estado de Goiás e na divisa do Estado de Mato Grosso do Sul com o território da República do Paraguai, com fluxo direcionado para oeste, em direção às zonas de afloramento das formações constituintes do SAG, e para o centro da Bacia Sedimentar do Paraná, em direção às zonas de maior confinamento do aquífero. Do ponto de vista hidroquímico, as águas contidas no SAG são principalmente bicarbonatadas cálcicas nas regiões próximas à recarga, passando a sódicas com o aumento do grau de confinamento. Termos magnesianos podem estar associados à contribuição do aquífero basáltico sotoposto ao SAG.

Palavras Chave: Hidrogeologia, Hidroquímica, Sistema Aquífero Guarani no Estado de Mato Grosso do Sul.

ABSTRACT The present study shows an overview of hydrogeology and hydrochemistry of the Guarani Aquifer System in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil. Groundwater flow patterns in the western portion of the sedimentary Paraná Basin indicate recharge areas located northwards and southwards of the study area, in the State of Goiás state and in the border region of Mato Grosso do Sul and Paraguay. Potentiometric surface and hydrochemistry facies maps for the Guarani Aquifer System in the State of Mato Grosso do Sul were constructed using hydrodynamic and hydrochemical data compiled from SANESUL database. Groundwater flows towards the western outcropping areas and in the confining portions of the aquifer, towards the center of the Paraná Basin. From the hydrochemical point of view, SAG groundwaters can be classified as calcium bicarbonate in the recharge regions changing to sodium bicarbonate with increasing confinement. The magnesium contribution is likely associated to the basalt aquifer overlying SAG.

Keywords: Hydrogeology, Hydrochemistry, Guarani Aquifer System in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil

INTRODUÇÃO

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) está inserido no contexto geológico da Bacia Sedimentar do Paraná, estendendo-se pelos territórios brasileiro, argentino, paraguaio e uruguaio, representando um exemplo típico de aquífero transfronteiriço.

No território brasileiro, ocorre nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. Neste último, ocupa toda porção centro-leste com área de aproximadamente 213.200 km², dos quais, cerca de 36.000 km² correspondem às áreas de afloramento das formações Botucatu e Pirambóia.

Atualmente, o Sistema Aquífero Guarani representa um importante manancial de fornecimento de água potável para o Estado de Mato Grosso do Sul, respondendo por 25% do abastecimento de água da população (CHANG, 2001). Vários municípios do Estado possuem sistemas de abastecimento de água sustentados total ou parcialmente pelo SAG, destacando-se Campo Grande, Dourados, Ponta Porã, Cassilândia, Inocência, Camapuã.

Apesar dos diversos estudos visando o aprofundamento do conhecimento sobre o Sistema Aquífero Guarani, (GILBOA et al., 1976; GALLO; SINELLI, 1980; SILVA, 1983; REBOUÇAS, 1994, ARAÚJO et al., 1995 e 1999; CAMPOS, 2000), são poucos os trabalhos que detalham o comportamento hidrogeológico e hidroquímico do SAG na porção oeste da Bacia do Paraná, mais especificamente no Estado de Mato Grosso do Sul.

A maior concentração de informações ocorre na borda oriental da Bacia, principalmente no Estado de São Paulo, em decorrência de inúmeras perfurações efetuadas para o abastecimento de água potável, o que resultou na maior exploração do SAG.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar um panorama das características hidroquímicas e do comportamento hidrogeológico do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado do Mato Grosso do Sul, baseando-se em informações extraídas de estudos prévios.

¹ Doutorando, Instituto de Geociências e Meio Ambiente – IGCE – UNESP (gastmans@rc.unesp.br)

² Departamento de Geologia Aplicada – DGA, Instituto de Geociências e Meio Ambiente – IGCE – UNESP (chang@rc.unesp.br.)

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo está localizada na porção centro-leste do Estado de Mato Grosso do Sul, entre as coordenadas 17°30' e 24° N e 51° e 56° E (Figura 1), apresentando como limite oeste a faixa de afloramentos das formações Botucatu e Pirambóia, que praticamente divide o Estado ao meio, estendendo-se até as divisas com os Estados de São Paulo a leste, Minas Gerais e Goiás a norte e Paraná a sudeste, além do território da República do Paraguai ao sul.

A porção leste do Estado de Mato Grosso do Sul insere-se no arcabouço geológico da Bacia Sedimentar do Paraná onde se encontram

representados os sedimentos arenosos pertencentes às formações Botucatu e Pirambóia, que afloram em uma faixa de direção NNE, com largura variável, na região central do Estado de Mato Grosso do Sul, representando o início do Pantanal Matogrossense, que se estende a oeste da área estudada. Estas unidades são recobertas pelos derrames de rochas basálticas da Formação Serra Geral, que afloram na porção sul da área estudada, e que por sua vez são recobertos pelos sedimentos pertencentes ao Grupo Bauru, aflorantes na porção leste do Estado de Mato Grosso do Sul. Capeando esta sucessão, ocorrem as coberturas terciárias, distribuídas por toda área.

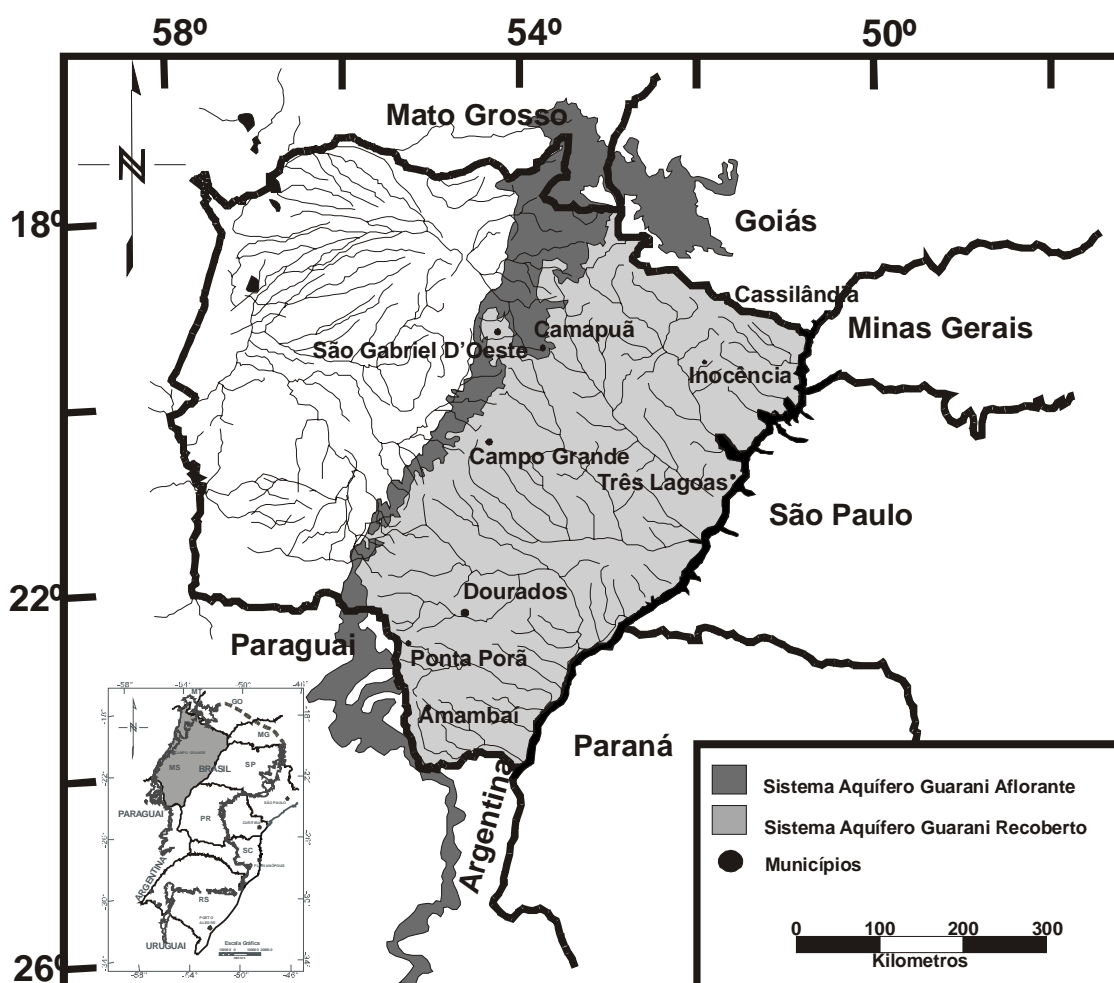


Figura 1 – Mapa de Localização da Área de Estudo

BASE DE DADOS UTILIZADA

A partir de cadastro de poços tubulares profundos pertencentes às diversas Companhias de Saneamento que atuam no Estado de Mato Grosso do Sul, disponibilizado pela SANESUL, contendo informações relativas ao posicionamento geográfico, de características construtivas e hidrogeológicas dos poços, além

de dados hidroquímicos referentes aos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral, foi elaborado o presente trabalho. Esta base de dados foi gerada quando da realização do trabalho intitulado “Estudos Hidrogeológicos de Mato Grosso do Sul”, nos anos de 1997-1998, pela Empresa TAHAL Consulting Engineers, em parceria com a SANESUL (SANESUL/TAHAL, 1998).

O conjunto de dados foi complementado com informações de novos poços perfurados pelas companhias de saneamento, além de poços pertencentes a particulares, que exploram as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani, e de dados existentes em estudos prévios (LASTORIA, 2002).

SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG)

O Sistema Aquífero Guarani constitui aquífero de dimensões continentais, localizado nas Bacias Sedimentares do Paraná e Chaco-Paraná, formado pelo conjunto de rochas arenosas das formações triássicas (formações Pirambóia e Rosário do Sul, no Brasil, e Buena Vista no Uruguai) e jurássicas (formações Botucatu, no Brasil, Misiones no Paraguai e Tacuarembó na Argentina e no Uruguai) destas bacias (ARAÚJO et al., 1995, 1999; GEF, 2001).

Ocupa área aproximada de 1.194.000 km², sendo 840.000 km² em território brasileiro, 225.000 km² na Argentina, 72.000 km² no Paraguai e 58.000 km² em território uruguaio, encontrando-se em quase toda sua extensão sobreposto por rochas basálticas pertencentes à formação Serra Geral, cuja espessura pode chegar a 1000 metros (ARAÚJO et al., 1995).

As principais características hidrodinâmicas do aquífero são apresentadas na tabela 1, compiladas a partir de informações contidas nos trabalhos de ARAÚJO et al. (1999) e SRACEK; HIRATA (2002), elaboradas principalmente a partir de informações obtidas nos estados de São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, onde se concentra a maior parte das informações, reflexo do maior número de poços existentes nestes estados, quando comparados ao restante da área de ocorrência do SAG na Bacia do Paraná.

Tabela 1 – Principais Parâmetros Hidrodinâmicos do SAG

Parâmetro		SAG - São Paulo (Fonte: SRACEK; HIRATA, 2002)	SAG -Bacia do Paraná (Fonte: ARAUJO et al., 1999)	
			Fm. Botucatu	Fm. Pirambóia
Espessura (m)	Máxima	550	4 – 484	25 – 770
	Média	268	138	139
Porosidade		10 – 15%	17 – 30%	14 – 24%
Condutividade Hidráulica média (m/dia)		12,96	8,7	1,9
Transmissividade (m ² /dia)		39 – 1035 Média 336	2,4 – 552	-
Coeficiente de Armazenamento		$4 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$	-	-

O primeiro mapa potenciométrico do SAG foi elaborado por GILBOA et al. (1976), indicando que as áreas de recarga estariam localizadas principalmente nas zonas de afloramento das formações constituintes do aquífero, com fluxo para o eixo central da bacia, e uma zona de descarga localizada na região sudoeste da Bacia do Paraná, no Estado do Rio Grande do Sul.

Estudos mais recentes, contemplando um maior número de poços perfurados no SAG, apresentam uma nova configuração para a superfície potenciométrica do aquífero, inclusive discorrendo sobre a influência das grandes estruturas tectônicas existentes na Bacia do Paraná, e que de alguma maneira podem influenciar o fluxo das águas subterrâneas no aquífero, como por exemplo, o Arco de Ponta Grossa (ARAÚJO et al., 1999 e ROSA FILHO et al., 2003).

A ocorrência de inúmeros diques de diabásio associados ao Arco de Ponta Grossa divide o SAG, segundo ARAÚJO et al. (1999), em dois grandes domínios potenciométricos, o primeiro localizado ao norte, apresentando zonas de recarga associadas aos afloramentos das formações Botucatu e Pirambóia, com fluxo de água preferencialmente centrípeto, todo ele em direção ao centro da bacia, e gradientes hidráulicos entre 5 e 3 m/km próximo às zonas de afloramento, até 0,2 m/km, em direção ao centro da bacia.

O segundo domínio hidrogeológico, localizado ao Sul do Arco de Ponta Grossa, apresenta os maiores gradientes hidráulicos (5 a 0,3 m/km), com fluxo direcionado preferencialmente de leste para oeste, com a zona de recarga localizada no Estado de Santa Catarina, e a principal zona de descarga do

aqüífero situada ao longo dos Rios Paraná e Catarina e no Rio Grande do Sul (ARAÚJO et al., 1999) (Figura 2).
 não sendo descartada a ocorrência de descarga ao longo do Rio Pelotas, em Santa

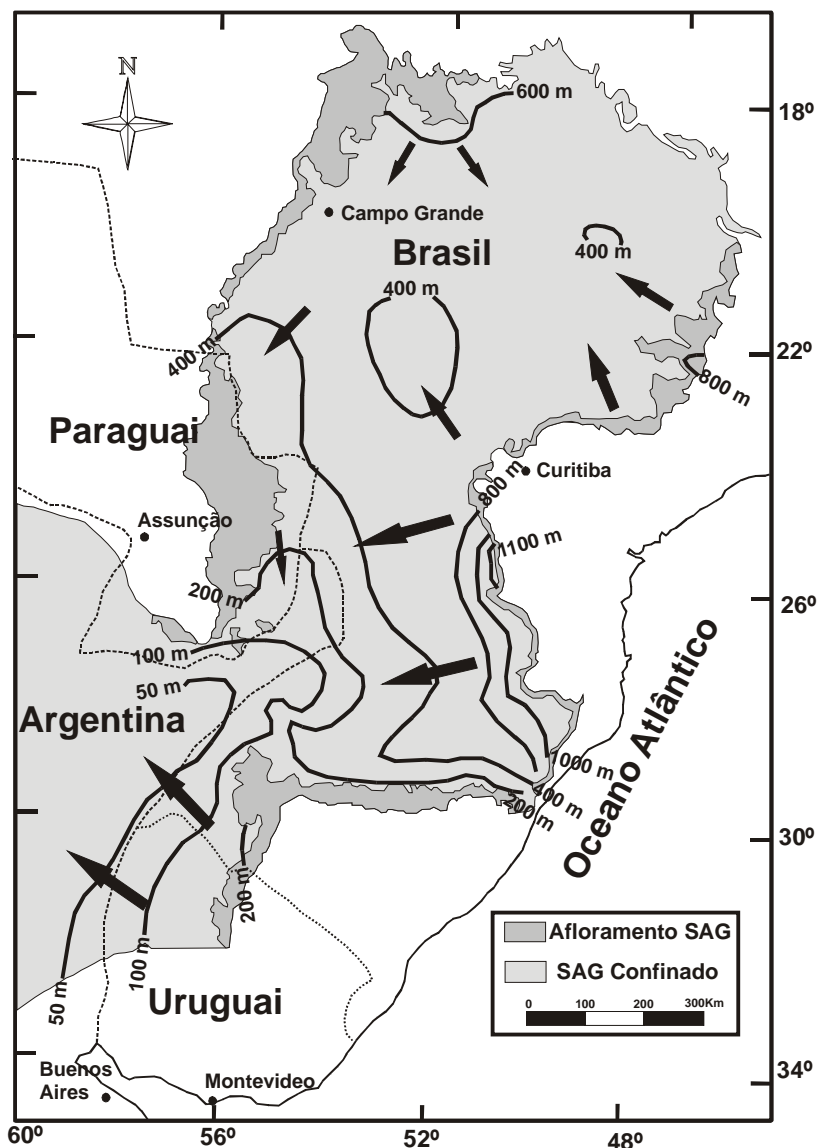


Figura 2 - Mapa Potenciométrico do SAG (Modificado da ARAUJO et al., 1999).

Os principais estudos hidroquímicos para a caracterização das águas do Sistema Aquífero Guarani foram realizados principalmente no Estado de São Paulo, iniciados com o clássico trabalho de SILVA (1983), cujos dados foram posteriormente retomados por diversos autores (MENG; MAYNARD, 2001 e SRACECK; HIRATA, 2002), visando a elaboração de um modelo da evolução hidroquímica destas águas para a porção nordeste da Bacia do Paraná.

SILVA (1983) divide as águas contidas no SAG, no Estado de São Paulo, em dois grupos principais, divisão esta relacionada

principalmente ao grau de confinamento do aquífero.

Na região de afloramentos, a autora identifica predominância de águas bicarbonatadas magnesianas e cálcio-magnesianas. Em direção oeste, numa faixa de cerca de 60 km de largura a partir do contato da zona de afloramentos das formações Botucatu/Pirambóia com os basaltos da Formação Serra Geral, as águas são bicarbonatadas cálcicas e calco-magnesianas. Na porção de maior confinamento, localizada a oeste da faixa de afloramentos, próxima à calha do Rio Paraná, as águas tornam-se bicarbonatadas sódicas, evoluindo no extremo sudoeste do estado

para cloro-sulfatadas sódicas. As principais características hidroquímicas destes dois grupos são apresentadas na tabela 2.

A evolução das águas bicarbonatadas cálcio-magnesianas, com ocorrência nas proximidades das zonas de afloramento, para as águas bicarbonatadas sódicas e cloro-sulfatadas nas zonas de maior confinamento do aquífero, foi estudada por SRACECK; HIRATA (2002). O modelo de troca de cátions (Ca por Na) associado a contribuição de íons cloreto e sulfato, provenientes de depósitos evaporíticos contidos na Formação Pirambóia, explicaria esta evolução hidroquímica.

Para o Estado do Paraná, ROSA FILHO et al. (1987) estudando o quimismo das águas subterrâneas contidas nos basaltos do Sistema Aquífero Serra Geral, observaram em vários pontos a contribuição das águas do SAG na sua composição.

Esta contribuição é facilmente percebida, segundo os autores, pela análise dos cátions maiores, já que as relações características entre os elementos para os dois sistemas aquíferos são distintas.

A comparação entre a composição química das águas contidas no SAG nos estados do Paraná e São Paulo, e no Uruguai, mostra claramente a existência de tipos sulfatados no estado de São Paulo, que não ocorrem no Paraná, e de tipos cloretados cálcicos no Uruguai que não ocorrem no Brasil (GEF, 2001).

Este fato demonstra claramente a variabilidade do quimismo das águas do SAG, principalmente nas zonas confinadas, o que segundo GEF (2001), pode ser explicado por variações faciológicas ou por influência de misturas induzidas por fraturas tectônicas.

Estudos isotópicos efetuados por diversos autores (GALLO; SINELLI, 1980; SILVA, 1983; KIMMELMANN et al., 1987 e KIMMELMANN et al., 1995) apresentam indicações de possíveis variações climáticas durante diferentes períodos de recarga, e idades das águas baseadas em datações por ¹⁴C que variam de 480 até 39.000 anos, estando as águas mais recentes próximas às regiões de afloramento, e as mais velhas localizadas em direção ao centro da bacia.

Tabela 2 – Características das Águas do SAG no Estado de São Paulo (Fonte: SILVA, 1983)

Situação do Aquífero	Classificação das Águas segundo Piper	Faixa de Ocorrência	Geoquímica das Águas	
Não Confinado	Bicarbonatadas Calco – Magnesianas	Próximo à Faixa de Afloramentos (Região Leste do Estado de São Paulo)	TDS < 294 mg/L pH < 7,5	Ca: 0,04 – 2,5 meq/L Mg: < 1,13 meq/L CO ₃ : < 0,04 meq/L Cl: < 0,31 meq/L Na: < 0,9 meq/L HCO ₃ : 0,06-3,16 meq/L SO ₄ : < 0,25 meq/L
Confinado	Bicarbonatadas Sódicas e Cloro-Sulfatadas Sódicas	Regiões Centrais e Oeste do Estado de São Paulo	TDS: 61-650 mg/L pH: 8,2 – 10,4	Ca: 0,02 – 0,84 meq/L Mg: < 0,08 meq/L CO ₃ : < 2,9 meq/L Cl: 0,01 – 3,75 meq/L Na: 0,6 – 9,8 meq/L HCO ₃ : 0,66-3,4 meq/L SO ₄ : < 1,92 meq/L

HIDROGEOLOGIA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL

No Estado do Mato Grosso do Sul, o Sistema Aquífero Guarani é constituído pelas formações Pirambóia e Botucatu, ocupando 213.200 km², dos quais cerca de 36.000 km² representam as áreas de afloramento destas unidades e, no restante da região, encontram-se sobrepostas

pelos basaltos da Formação Serra Geral e por rochas pertencentes ao Grupo Bauru.

A área de afloramento das formações constituintes do SAG ocorre numa faixa de sentido NNS na porção central do Estado de Mato Grosso do Sul, com cerca de 100 km de largura no norte do Estado e estreitando-se em direção ao sul, chegando a desaparecer próximo ao Município de Bela Vista, sendo recoberta

pelos sedimentos das coberturas terciárias na região de São Gabriel do Oeste.

A leste do Município de Chapadão do Sul, na divisa com o Estado de Goiás, ocorre uma estreita faixa de afloramentos com cerca de 50 km de comprimento.

A partir das áreas de afloramento, as formações constituintes do SAG mergulham para leste em direção à área central da Bacia do Paraná, estando recobertas pelos basaltos da Formação Serra Geral, que chegam a apresentar espessuras superiores a 1000 metros próximos à calha do Rio Paraná, e pelos sedimentos relacionados ao Grupo Bauru (SANESUL/TAHAL, 1998).

Atualmente, cerca de uma centena de poços tubulares profundos captam água do Sistema Aquífero Guarani para abastecimento público, rural e industrial no Estado de Mato Grosso do Sul, sendo responsáveis pelo fornecimento de aproximadamente 47.000.000 m³/ano de água para a população do estado (CHANG, 2001).

Segundo SANESUL/TAHAL (1998), os poços perfurados no Sistema Aquífero Guarani apresentam vazões variando de alguns metros cúbicos por hora até 320 m³/h, com grande

número deles apresentando vazões de até 40 m³/h (Figura 4).

Em função da ocorrência dos Sistemas Aquíferos Serra Geral e Bauru, sobrepostos ao SAG em grande parte do Estado de Mato Grosso do Sul, a maioria dos poços tubulares profundos perfurados encontra-se próximo à área de afloramento, onde o SAG apresenta-se livre ou a cobertura basáltica é pequena. Os poços normalmente apresentam penetração parcial, e apenas recentemente os projetos construtivos passaram a prever a instalação de filtros ao longo de todo o aquífero, de modo a obterem-se maiores vazões.

Os parâmetros hidráulicos do Sistema Aquífero Guarani para o Estado de Mato Grosso do Sul, obtidos a partir da análise de ensaios de bombeamento realizados em poços tubulares disponíveis, indicam vazões específicas entre 1 e 7 m³/h/m e transmissividades variando entre 10 e 650 m²/dia (SANESUL/TAHAL, 1998).

A análise da superfície potenciométrica do SAG na borda ocidental da Bacia do Paraná, foi elaborada a partir de dados contidos no estudo da SANESUL/TAHAL (1998), apresentados na tabela 1.

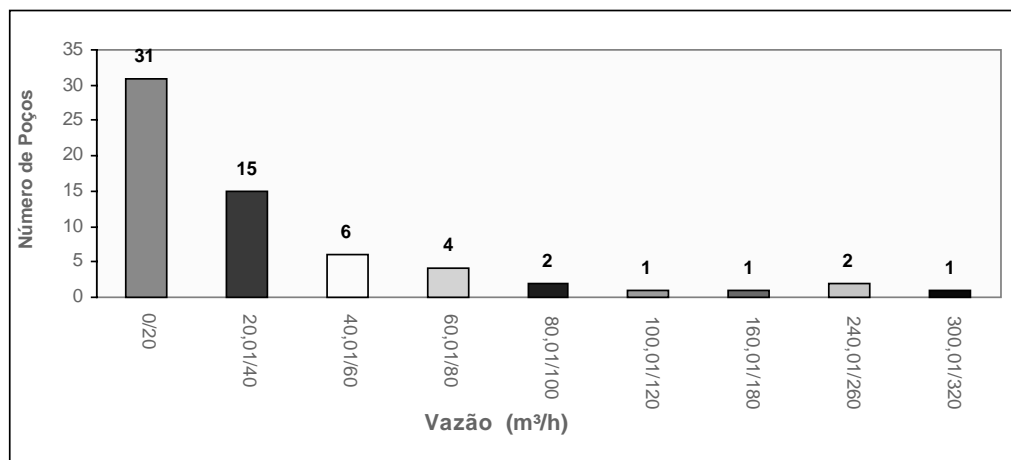


Figura 4 - Vazões dos Poços Perfurados no SAG –MS (Fonte: SANESUL/TAHAL, 1998)

Tabela 3 – Níveis Estáticos dos Poços Utilizados Para a Elaboração do Mapa Potenciométrico

Poço	Latitude	Longitude	Cota NE	Poço	Latitude	Longitude	Cota NE	Poço	Latitude	Longitude	Cota NE
ALC001	18°19'29"	53°42'48"	411,9	CGR001	20°29'15"	48°38'49"	467	ETA003	19°23'07"	48°34'49"	605
ALC002	18°19'29"	53°42'44"	412,7	CGR130	20°31'00"	48°39'12"	457,61	ETA004	19°24'14"	48°35'06"	628
ALC003	18°19'37"	53°42'32"	405	CGR131	20°31'25"	48°39'17"	443,98	ITA003	22°04'52"	48°47'57"	359,8
CAS001	19°07'27"	51°44'01"	468	CGR143	20°31'45"	48°36'08"	453	ITA005	22°05'19"	48°47'41"	356
CTR001	18°32'11"	53°07'40"	614,9	CGR146	20°30'31"	48°34'25"	452	LCA003	22°31'40"	49°09'57"	417,5
CTR005	18°33'01"	53°07'37"	562	CGR150	20°24'42"	48°35'24"	439	MAR002	21°37'08"	49°09'41"	352,7
CTR093	19°01'42"	53°00'51"	548	CGR152	20°33'12"	48°36'31"	443,85	MAR004	21°37'21"	49°09'28"	373,2
FIG001	18°40'52"	53°38'15"	410,99	CGR155	20°33'09"	48°36'30"	459	MAR007	21°36'01"	49°09'36"	364,7
FIG003	18°40'36"	53°38'28"	402	CGR156	20°31'05"	48°37'10"	445	MAR008	21°37'09"	49°10'18"	358
FIG004	18°40'43"	53°38'13"	402,6	CGR160	20°31'05"	48°37'10"	440,85	MCB001	22°08'23"	48°29'10"	335,2
INC005	19°44'04"	51°55'40"	414,02	CGR167	20°25'40"	48°35'14"	442	NAM001	22°29'59"	48°51'55"	389
TLG018	20°51'39"	51°44'29"	410	CGR901	20°29'15"	48°36'50"	449	NIO003	21°09'38"	49°49'25"	193,3
AMA002	23°06'27"	49°14'05"	448	CGR930	20°26'13"	48°40'11"	428	NIO004	21°09'59"	49°49'33"	186,2
AMA003	23°05'47"	49°14'11"	451	CGR170	20°25'13"	48°38'25"	429,25	PNP 025	22°31'56"	49°43'41"	361
AMA005	23°05'55"	49°13'44"	446,3	CGR171	20°25'20"	48°38'49"	430	QBC002	20°45'06"	49°07'02"	374
AMA006	23°05'48"	49°14'11"	455,97	CGR172	20°25'02"	48°33'50"	436	QBC003	20°44'36"	49°06'40"	285
AMA007	23°06'20"	49°12'58"	425,5	CGR173	20°31'18"	48°36'32"	440	RBT006	21°47'28"	48°33'25"	332
AMA123	23°08'21"	49°12'48"	431,8	DIR001	20°41'05"	49°16'27"	259,8	RBT901	21°46'12"	48°34'07"	332
AMA132	23°05'27"	49°11'41"	417	DIR002	20°41'23"	49°16'45"	237,65	ROC196	20°08'45"	48°48'07"	338
ANJ901	22°06'30"	50°15'06"	323	DIR003	20°41'19"	49°16'30"	265,25	ROC197	20°05'44"	48°45'12"	283
ARE001	19°15'11"	48°19'41"	369	DOU018	22°12'47"	48°48'43"	349	SID007	20°56'21"	48°57'34"	404,7
ARE002	19°15'11"	48°19'41"	371	DOU019	22°12'41"	48°49'34"	349,71	SID008	20°54'14"	48°55'34"	402
BFM001	20°03'51"	48°27'07"	462	DOU021	22°16'09"	48°48'44"	366	SID009	20°56'31"	48°58'00"	391,1
CAM001	19°31'48"	48°02'38"	394,99	DOU990	22°51'39"	48°48'45"	348	SID010	21°15'24"	48°57'46"	397
CAM002	19°31'53"	48°02'33"	396	DOU992	22°20'03"	48°50'38"	352,4	TER004	20°26'19"	48°51'43"	325
CAM004	19°32'07"	48°02'30"	391	DRD001	22°02'37"	48°36'41"	330	TER006	20°26'11"	48°52'02"	393
CAM006	19°31'42"	48°02'31"	370,1	DRD003	22°02'09"	48°36'41"	332	TER007	20°29'08"	48°52'04"	265,4
CAM009	19°35'26"	48°02'15"	390	ETA002	19°24'06"	48°34'35"	635				

As condições de fluxo das águas subterrâneas do SAG no estado de Mato Grosso do Sul apresentam algumas peculiaridades quando relacionadas à borda leste da Bacia do Paraná, mais especificamente no estado de São Paulo, onde o fluxo das águas subterrâneas está direcionado a partir das áreas de afloramento, localizadas à leste deste estado, para oeste em direção ao eixo da Bacia do Paraná.

No Estado de Mato Grosso do Sul nota-se que o sentido do fluxo a partir das áreas de recarga é radial, em direção ao centro da Bacia do Paraná, onde o aquífero encontra-se em condições de confinamento, e em direção às áreas de afloramento das formações Botucatu e Pirambóia que representam zonas de descarga locais, alimentando às bacias hidrográficas dos rios Aquidauana, Taquari e Coxim (Figura 5).

São distinguidas três zonas principais de recarga. A primeira encontra-se ao norte da área estudada, no Estado de Goiás, com fluxo direcionado para sul do Estado e também para oeste em direção à região de afloramentos das formações constituintes do SAG, alimentando os rios Coxim e Taquari, formadores do Pantanal Matogrossense.

A segunda área de recarga do aquífero está localizada na região sul do Estado, próxima aos municípios de Ponta Porã e Amambaí, e ao sul do município de Dourados, com fluxo das águas subterrâneas direcionada para leste e nordeste em direção ao Estado do Paraná, e à confluência dos rios Paraná e Paranapanema, e uma segunda direção do fluxo para oeste, também no sentido das zonas de afloramento das formações Botucatu e Pirambóia.

A terceira área de recarga está relacionada ao Chapadão de São Gabriel D'Oeste, uma área topograficamente mais elevada, localizada na porção central do Estado, com fluxo radial em direção às zonas de afloramento localizadas a norte e sul, e em direção leste para a calha do Rio Paraná.

Associado a esta configuração de fluxo das águas subterrâneas, observa-se a existência de um divisor de águas subterrâneas, posicionado, grosso modo, subparalelo a borda ocidental do SAG, divisor este, provavelmente, controlado pelas áreas de recarga localizadas ao norte a sul do Estado.

HIDROQUÍMICA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL

A partir dos resultados das análises físico-químicas de amostras de água, apresentados em trabalhos anteriores por SANESUL/TAHAL (1998) e LASTORIA (2002), foi efetuada a avaliação e classificação hidroquímica das águas contidas no Sistema Aquífero Guarani no Estado de Mato Grosso do Sul (Tabela 3).

Em função das características construtivas e do posicionamento geológico dos poços tubulares profundos, as amostras coletadas foram classificadas em três grandes grupos: SAG Aflorante, que agrupa as amostras de água coletadas nos poços localizados nas zonas de afloramento das formações Botucatu e Pirambóia; SAG Confinado, agrupando as amostras onde o SAG encontra-se confinado pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, com captação de água exclusiva do SAG garantida pelas características construtivas dos poços e um terceiro grupo, denominado de SAG Mistos, onde a penetração no SAG é parcial, a espessura de basaltos sobrepostos normalmente é pequena, e os poços geralmente não são revestidos.

As análises utilizadas para este estudo apresentaram erros de balanço iônico variando entre 7% e 60%, aceitáveis para fins de classificação hidroquímica, quando se empregam os diagramas de Piper e Stiff.

A maioria das águas do SAG no Estado de Mato Grosso do Sul é classificada como bicarbonatada cálcica e subordinadamente como bicarbonatada sódica.

O Diagrama de Piper (Figura 6) mostra claramente a separação dos três grupos de águas contidas no SAG; as águas dos poços localizados na zona de afloramento (SAG Aflorante) são claramente bicarbonatadas cálcicas, com algumas amostras apresentando enriquecimento em cloretos, fato este que pode corroborar a teoria do enriquecimento em cloretos a partir de depósitos evaporíticos associados à formação Pirambóia, proposta por SRACECK; HIRATA (2002), feita para o Estado de São Paulo.

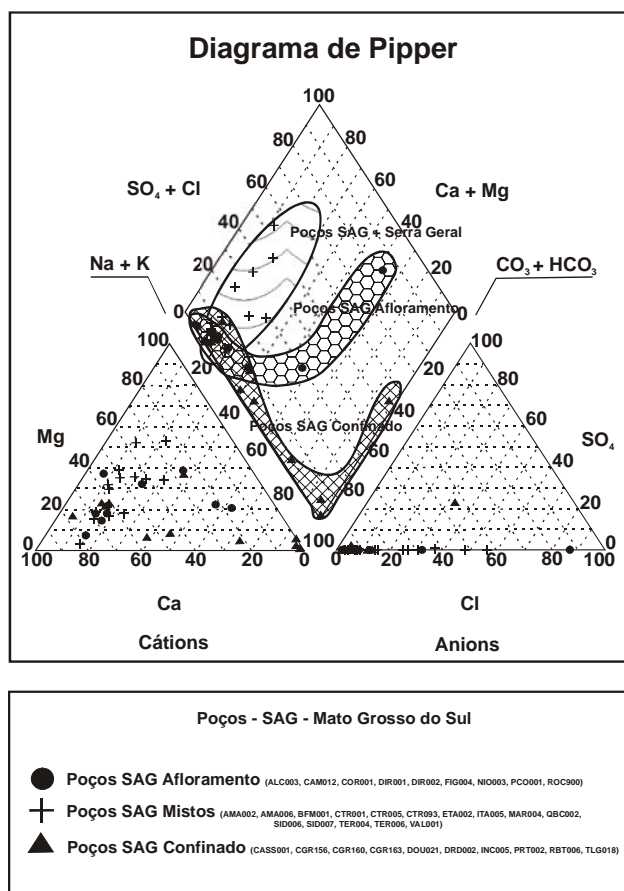


Figura 6 – Diagrama de Piper com os grupos de água contidos no SAG em Mato Grosso do Sul

A figura 7 apresenta a variação das fácies hidroquímicas dentro do SAG no estado de Mato Grosso do Sul, mostrando uma tendência de aumento das salinidades a partir das áreas de recarga, situadas ao norte e ao sul do estado, e na região do município de São Gabriel D'Oeste, em direção a zona de maior confinamento do aquífero, no centro da Bacia.

É interessante observar que este padrão, inferido através da variação da salinidade, é praticamente concordante com o padrão de fluxo derivado da potenciometria dos poços, apresentado no mapa da figura 5.

As amostras coletadas em poços localizados nas áreas de afloramento das formações Botucatu e Pirambóia, ou próximos a elas (TER004 e 006, QBC002, CAM012, PCO001), apresentam teores em sais particularmente elevados, refletindo nestes casos a contribuição do cimento calcífero, cuja dissolução fornece o cátion cálcio e o ânion bicarbonato.

A passagem de águas bicarbonatadas cálcicas, próximas às zonas de recarga e de baixo confinamento do SAG, para águas bicarbonatadas sódicas, na região de Rio Brillhante, Douradina, Prudêncio Tomaz e Três Lagoas, área de maior confinamento do SAG, reporta a tendência já observada por SILVA (1983) para o estado de São Paulo.

As amostras coletadas em poços com águas classificadas como mistas, que captam águas dos aquíferos Serra Geral e Guarani, apresentam águas bicarbonatadas cálcicas e magnesianas com alguma tendência de enriquecimento em magnésio, o que pode indicar contribuição das rochas basálticas na composição final das águas deste grupo.

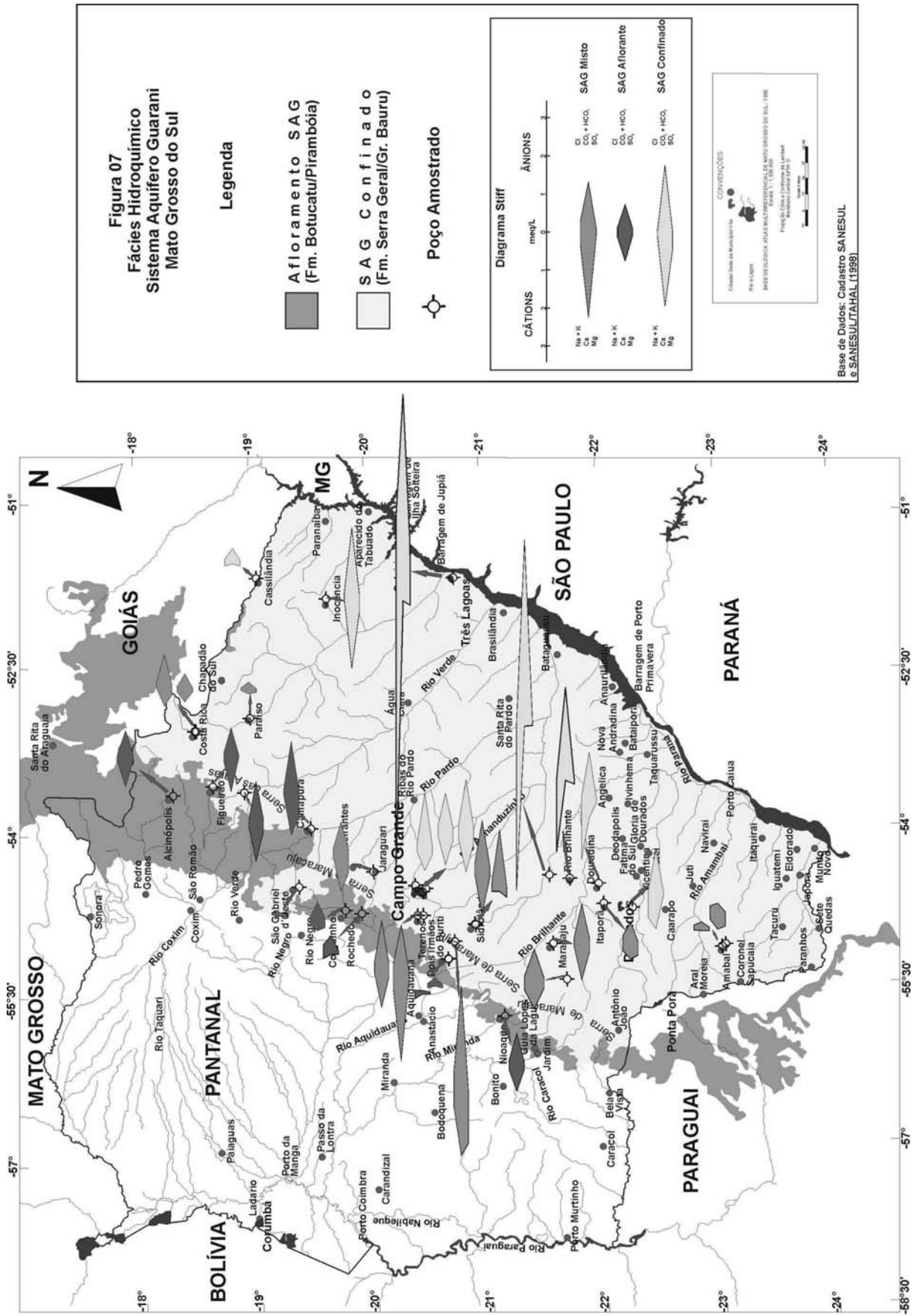
As amostras de águas provenientes dos poços onde o SAG encontra-se sob condição de confinamento evoluem de águas bicarbonatadas cálcicas, coletadas próximo às zonas de recarga do aquífero, para bicarbonatadas sódicas com o aumento das condições de confinamento.

Tabela 3 – Parâmetros Físico Químicos das Águas do SAG – Mato Grosso do Sul

Amostra	Temp. Água (°C)	PH	C. E. (µS/cm)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	CO ₃ ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
ALC003 ¹	26	5,96	100	0,8	7,1	16,8	1,9	1,5	0	39	0	1,1
AMA002 ¹	23	6,2	120	3,9	1,2	9,2	4,6	5,5	0	14	0	3,6
AMA006 ¹	22	6,1	30	0,9	1,8	2	1,2	2	0	8	0	0
BFM001 ¹	25,5	6,5	150	3,8	1,1	21,6	7,3	2	0	45	0	1,4
CAM012 ¹	28,2	7,8	180	1,1	3,9	24	9	0,5	0	78	0	0
CAS001 ¹	27,8	5,9	40	0,3	5	2	1,7	1,5	0	19	0	0
CGR156 ²	30	7,4	121	2	3	12,95	2,68	3,2	0	85,4	0	8,5
CGR160 ¹	35	7,4	135	3,6	1,9	19,6	4,1	1,5	0	55	0	0,1
CGR163 ¹	35	7,5	167	4,8	3,8	23,6	5,3	1,5	0	76	0	0,02
COR001 ¹	26,5	6,2	70	0,5	6,2	6,8	3,1	1,5	0	25	0	0
CTR001 ¹	24,5	6,9	90	2,1	0,9	11,2	3,4	2	0	47	0	0,5
CTR005 ¹	26	6,5	60	1,9	1	7,2	1,2	2	0	22	0	0,2
CTR093 ¹	25	5,5	25	0,7	0,3	2,8	1,2	1	0	11	0	0
DIR001 ¹	26,8	6,3	20	0,6	2,5	1,2	1,2	1	0	11	0	0
DIR002 ²	27,4	5,4	39,5	3,29	1,28	0,96	0,7	1,8	0	2,5	0	16,6
DOU021 ²	38	8,4	179	16	2	14,77	1,6	3,2	0	164	0	0
DOU021 ¹	37,6	7,7	147	14,8	1,6	19,6	1,4	1	0	67	0	0
DRD002 ¹	27	6,8	177	36	1,1	10	1,2	2	0	75	0	0,4
ETA002 ¹	23	4,7	11	0,2	0,1	0,8	0,7	1,5	0	2	0	0
FIG004 ¹	27	6,9	100	1,9	3,9	19,6	1,2	1,5	0	43	0	0,4
INC005 ¹	33	7,5	280	1,4	2,2	39,2	5,8	1	0	107	0	0
ITA005 ¹	23	6,7	50	4,3	1,9	8,8	4,1	6	0	32	0	0,4
MAR004 ¹	26	7,8	108,4	3,6	1,3	21,2	3,9	1,5	0	57	0	0
NIO003 ¹	26,5	6,5	144	3,9	2,2	16	2,9	2	0	45	0	0
PCO001 ¹	28	7,8	170	2,9	3,3	22	3,9	0,5	0	61	0	0
PRT002 ²	35	9,5	398	100	0,75	0,5	0,02	3,55	0	300	1,2	
QBC002 ²	31	6,34	361	6,5	3,58	33,8	16,5	18,5	0	171		32,4
RBT006 ¹	30	9,4	140	44,9	0,6	0	1	1	20	51	1	0
ROC900 ²	25	5,5	58	1	6	1,55	0,93	6,39	0	25	0	0,6
SID006 ²	28,5	7,2	72,8	2	1	2,61	3,3	4,62	0	91,5	0	
SID007 ¹	27	8	180	4,1	1,4	25,2	3,6	0,5	0	73	0	0
TER004 ¹	28	7,8	170	4,8	1,1	23,6	4,6	0,5	0	69	0	0
TER006 ²	28,2	7,1	254	9,1	0,72	46,61	1,29	9,13	0	78,31	0,8	27,92
TLG018 ¹	44,5	9,5	870	169,1	0,7	1,2	1,7	76,5	34	111	70	0
VAL001 ¹	25	7,3	142,2	6,6	1,3	16,4	3,4	1,5	0	46	0	0,5

C.E: Condutividade Elétrica

Fonte: ¹ – SANESUL/TAHAL (1998), ² – LASTORIA (2002)



Base de Dados: Cadastro SANESUL E SANESULTARHAL (1999)

Figura 7 – Fácies hidroquímica do SAG - Mato Grosso do Sul

CONCLUSÕES

A análise preliminar dos dados existentes revela um comportamento distinto do fluxo de águas subterrâneas no Sistema Aquífero Guarani na borda ocidental da Bacia do Paraná, quando comparado com o seu comportamento na borda oriental, mais especificamente no Estado de São Paulo.

São identificadas áreas de recarga ao norte do Estado de Mato Grosso do Sul, nas regiões de afloramento das formações Botucatu e Pirambóia localizadas no Estado de Goiás, e ao sul do Estado, na fronteira com o Paraguai, onde também estão situadas áreas de afloramento. Já no lado matogrossense o aquífero é sobreposto pelos derrames basálticos pertencentes à Formação Serra Geral.

Os fluxos de água subterrânea ocorrem a partir da zona de recarga, situada a norte de Mato Grosso do Sul, para sudoeste, em direção a bacia hidrográfica do Pantanal, e para sudeste, em direção a calha do Rio Paraná. O comportamento do fluxo das águas subterrâneas a partir da área de recarga, localizada ao sul do estado, também indica fluxo em direção ao Pantanal matogrossense e para o centro da Bacia do Paraná. A partir do alto localizado na região de São Gabriel d'Oeste, o fluxo das águas subterrâneas é radial.

Controlado por estas áreas de recarga observa-se a existência de um divisor de águas subterrâneas, paralelo a borda ocidental do SAG, no estado de Mato Grosso do Sul.

Em termos hidroquímicos, as águas subterrâneas contidas no SAG, no Estado do Mato Grosso do Sul, apresentam predominância do tipo bicarbonatada cálcica e, subordinadamente do tipo bicarbonatada sódica.

Acompanhando os sentidos de fluxo das águas subterrâneas observa-se que a evolução hidroquímica das águas se inicia com os termos bicarbonatados cálcicos, nas zonas de recarga e de baixo confinamento do SAG, passando a águas bicarbonatadas sódicas com o aumento das condições de confinamento, observando-se ainda um aumento dos teores de cloretos e sulfatos no poço de Três Lagoas, onde o topo do aquífero encontra-se a 800 metros de profundidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa – CNPq, pela bolsa de estudos concedida através do processo 140471/2003-0, e à Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul – SANESUL, através do geólogo Antônio Carlos Benatti, pela disponibilização da base de dados utilizada no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L.M.; FRANÇA, A.B.; POTER, P.E. – Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai; Mapas Hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacaurémbo. Mapas, UFPR PETROBRÁS, Curitiba, Texto Explicativo, 16p, 1995.
- ARAÚJO, L.M.; FRANÇA, A.B.; POTER, P.E. – Hydrogeology of the Mercosul Aquifer System in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget Aquifer System, USA. **Hydrogeology Journal**, 7- p. 317-336, 1999.
- CAMPOS, H.C.N.S. – Modelación Conceptual y Matemática del Aquífero Guarani, Cono Sur. **Acta Geológica Leopoldinense** – Série Mapas, XXIII (4) 3 – 50, 2000.
- CHANG, H. K. – **Proteção Ambiental e Gerenciamento Sustentável Integrado do Aquífero Guarani–Tema 03**, 2001 (Disponível em http://www.ana.gov.br/guarani/gestao/gest_cbasico.htm)
- GALLO, G., SINELLI, O. – Estudo Hidroquímico e Isotópico das Águas Subterrâneas na Região de Ribeirão Preto (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, V.10 p. 129 – 140, 1980.
- GEF – BANCO MUNDIAL – OEA – **Projeto de Proteção Ambiental e Gerenciamento Sustentável Integrado do Sistema Aquífero Guarani, Componente A, Atividade 1: Caracterização Física e Inventário de Poços**, 94p, 2001. (Disponível em http://www.ana.gov.br/guarani/gestao/gest_cbasico.htm).
- GILBOA, Y.; MERO, F.; MARIANO, I.B. – The Botucatu Aquifer of South América: Model of an Untaped Continental Aquifer. **Journal of Hydrology**, 29, 165 – 179, 1976.
- KIMMELMANN e SILVA, A.A.; REBOUÇAS, A.C.; SANTIAGO, M.M.F.; SILVA, R.B.G. – Isotopic Study of the Botucatu Aquifer System in the Brazilian Portion of the Parana Basin. In **Isotope Hydrology Investigations in Latin America. IAEA – TECDOC – 502**, p. 51 – 71, 1987.

- KIMMELMANN e SILVA, A.A.; FOSTER, M.; COELHO, R.O. – Environmental isotope and hydrogeochemical investigation of Baurú and Botucatu Aquifers, Parana Basin, Brazil. Isotope hydrology investigations in Latin America 1994. Results achieved during the implementation of the project RLA/8/014-ARCAL XIII: IAEA – **TECDOC- 835**. p 57-74, 1995.
- LASTORIA, G. – **Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul**. Tese de Doutorado, IGCE/UNESP, Rio Claro, 197p, 2002.
- MENG, S.X.; MAYARD, J.B. – Use of Statistical Analysis to Formulate Conceptual Models of Geochemical Behaviour: Water Chemical Data From the Botucatu Aquifer in São Paulo State, Brazil. **Hydrogeology Journal**, 250 (2001), 78 – 87, 2001.
- REBOUÇAS, A. C. – Sistema Aquífero Botucatu no Brasil. **Anais 8º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, Recife, 500 – 509, 1994.
- ROSA FILHO, E.F. da; HINDI, E.C.; ROSTIROLLA, S.P.; FERREIRA, F.J.F.; BITTENCOURT, A.V.L. – Sistema Aquífero Guarani – Considerações Preliminares Sobre a Influência do Arco de Ponta Grossa no Fluxo das Águas Subterrâneas. **Revista Águas Subterrâneas** nº17, maio/2003, 91 – 111, 2003.
- ROSA FILHO, E.F. da; SALAMUNI, R.; BITTENCOURT, A.V.L. – Contribuição ao Estudo das Águas Subterrâneas nos Basaltos do Estado do Paraná. **Bol. Paranaense de Geociências** nº 37, p. 22 – 52, 1987.
- SANESUL/TAHAL – **Estudos Hidrogeológicos de Mato Grosso do Sul**. Relatório Final, Campo Grande, mapas V.I e II, 736p, 1998.
- SEPLAN/CRN – **Atlas Multireferencial do Estado de Mato Grosso do Sul**, Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral, Coordenadoria de Recursos Naturais, Mapas, Campo Grande, 28p, 1990.
- SILVA, R.B.G. da – **Estudo Hidroquímico e isotópico do Aquífero Botucatu no Estado de São Paulo**, Tese de Doutorado, IG – USP, 133p, 1983.
- SILVA, R.B.G. da; KIMMELMANN, A.A.; REBOUÇAS, A.C. – Estudo Hidroquímico e Isotópico das Águas Subterrâneas do Aquífero Botucatu – Resultados Parciais para a Região Norte da Bacia do Paraná. **5º Simpósio Regional de Geologia**, São Paulo. V.2, 489 – 502, 1985.
- SRACEK, O.; HIRATA, R. – Geochemical and Stable Isotopic Evolution of the Guarani Aquifer System in the State of São Paulo, Brazil. **Hydrogeology Journal**, 10, 643 – 655, 2002.