

CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO FURNAS NA REGIÃO SUL DO ESTADO DE MATO GROSSO

Joilson José Fonseca da SILVA¹, Renato Blat MIGLIORINI²

- (1) Lógica Consultoria e Meio Ambiente. Rua Birmânia n° 50, Shangrilá, CEP: 78070-260, Cuiabá, Mato Grosso. Endereço eletrônico: joilson@logicaconsultoria.com.br.
(2) Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Fernando Corrêa da Costa n° 2367, Boa Esperança, CEP: 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso. Endereço eletrônico: rena@ufmt.br.

Introdução
Metodologia
Levantamento de Dados
Etapas de Campo
Resultados e Discussão
Temperatura
Potencial Hidrogeniônico
Condutividade Elétrica
Alcalinidade
Cálcio
Magnésio
Potássio
Sódio
Ferro
Cloretos
Sulfatos
Nitrato
Correlações
Classificações das Águas Subterrâneas
Descrição por Poço Tubular
Conclusão
Agradecimentos
Bibliografia

RESUMO - A qualidade da água subterrânea geralmente é boa, no entanto, pouco se conhece quanto aos seus constituintes iônicos. Deste modo, este trabalho teve como objetivo principal caracterizar a hidroquímica das águas subterrâneas do Aquífero Furnas no sul do estado de Mato Grosso. Os municípios que fazem parte deste trabalho são: Jaciara, Juscimeira, São Pedro da Cipa, Dom Aquino e Campo Verde. Regionalmente fazem parte da Bacia Sedimentar do Paraná, a geologia local pertence ao Grupo Paraná, composta pelas Formações Ponta Grossa e Furnas. O aquífero pode variar de livre a confinado. A metodologia envolveu o levantamento de trabalhos anteriores, coleta e encaminhamento das amostras ao laboratório especializado, por fim os resultados analíticos foram interpretados. O estudo permitiu as seguintes conclusões: todos os poços estudados são do tipo artesiano (jorrantes e não jorrantes). As águas subterrâneas possuem pouca concentração de sais dissolvidos, sendo de boa qualidade para a agricultura e pecuária. Ocorre na região o fenômeno de termalismo. Foi possível observar três grupos de águas subterrâneas: Bicarbonatadas Sódicas; Bicarbonatadas Cálcicas e Cloretadas Cálcicas / Sulfatadas Cálcicas. A temperatura, a condutividade elétrica e consequentemente a concentração de íons é maior no centro e sul da área estudada.

Palavras Chave: Hidroquímica, Aquífero Furnas, Mato Grosso.

ABSTRACT – J. J. F. Silva, R. B. Migliorini – *Hydrochemical Study of Furnas Aquifer in the South Region of Mato Grosso State*: The groundwater quality is, in a general basis, good, however, little is known about its ionic constitution. The main objective, of this paper is characterize the hydrochemistry of Furnas Aquifer at the south part of Mato Gosso State. The municipalities that are involved by this work are: Jaciara, Juscimeira, São Pedro da Cipa, Dom Aquino e Campo Verde. They are all situated at the Paraná Sedimentary Basin and the geology is part of Paraná Group, composed by the Ponta Grossa and Furnas formations. The aquifer may be confined or unconfined. The applied methodology involved the assessment of previous works, the sampling and destination to specialized laboratory analysis and the interpretation of analytical results. The study led to the following conclusions: all the studied wells are artesian (flowing or not). The groundwater has a low dissolved salts concentration, which means they are good for agriculture and cattle. It is observed in this region the thermalism phenomena. It was possible to distinguish three different groups of groundwaters: Sodic Bicarbonated, Calcic Bicarbonated and Calcic Chlorine/ Calcic Sulfated. The temperature, electric conductivity and consequently, the ions concentration is bigger on the centre and south part of the study area.

Keywords: hydrochemistry, Furnas Aquifer, Mato Grosso State.

INTRODUÇÃO

O Estado de Mato Grosso apresenta uma extensa rede de drenagem devida principalmente, às elevações topográficas que atravessam todo seu território no sentido leste-oeste. Constituindo um divisor de águas que

abriga nascentes de três importantes bacias hidrográficas brasileiras, a Bacia Amazônica, que no Estado drena uma área de aproximadamente 582.000 Km², a Bacia do Araguaia/Tocantins, que drena 132.000 Km² e a

Bacia Platina com 176.800 Km² de área drenada (Cavinatto, 1995). Está situado na região Centro-Oeste, possui uma área de cerca de 900.000 Km² de extensão territorial, onde se encontra distribuída uma população aproximada de 2.854.642 habitantes (IBGE, 2007). Os municípios que compõem a área de estudo (Jaciará, Juscimeira, São Pedro da Cipa, Dom Aquino e Campo Verde) representam juntos aproximadamente 2% da população de todo o Estado de Mato Grosso, ou seja, cerca de 50.000 habitantes. Destes 21% habita a zona rural e 79% a área urbana (IBGE, 2007). Estão inseridos na sub-bacia do Rio São Lourenço, localizada na região sul do estado de Mato Grosso, entre os paralelos 15^o35' e 16^o5' de latitude sul e os meridianos 54^o37' e 55^o5' de longitude oeste. Geologicamente a região está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, limitando-se a nordeste com a Depressão do Araguaia; a norte, noroeste e oeste com as Depressões do Cinturão Orogênico Paraguai-Araguaia. A geologia local é associada ao Grupo Paraná, onde predominam rochas sedimentares, composto na região pela Formação Ponta Grossa e Formação Furnas. O principal reservatório é o Aquífero Furnas, constituído principalmente por sedimentos arenosos esbranquiçados e avermelhados. Estes sedimentos são petrograficamente classificados como arenitos feldspáticos e arcóseos. A região é conhecida por apresentar os fenômenos de termalismo e artesianismo, que representam divisas econômicas em torno do turismo, que por sua vez, aproveita as águas quentes para prática de lazer e recreação. Essas atividades poderão ser inviabilizadas, como já acontece em alguns casos, pela redução do termalismo e/ou artesianismo, principalmente em função do desperdício, onde poços jorram 24 horas por dia, levando o aquífero a sofrer contínuo rebaixamento potenciométrico. O Aquífero Furnas no sul de Mato Grosso pode variar de livre a confinado, dependendo da ocorrência

dos estratos confinantes subjacentes (Formação Ponta Grossa). Segundo Casarin (2003), encontram-se poços jorrantes com vazões de até 150 m³/h e temperatura acima de 51^oC. Para a maioria dos usos, as qualidades químicas da água são tão importantes quanto às propriedades físicas. Estas condições são fundamentais para o consumo humano e animal, para a agricultura e para os processos industriais. As águas na natureza nunca são puras, elas possuem sais e gases dissolvidos em diferentes concentrações, nas águas subterrâneas não é diferente. A maior parte das substâncias dissolvidas encontra-se no estado iônico e, apresentam em geral, teores mais elevados que as águas superficiais, por estarem em contato com materiais solúveis do solo e das rochas. A composição da água subterrânea é função de diversos fatores, tais como, o pH, o Eh, a temperatura da água, a pressão parcial dos gases dissolvidos, o clima da região, a composição inicial da água na área de recarga, a velocidade do fluxo subterrâneo, o tempo de residência (tempo de contato da água com a rocha), o tipo de sistema de fluxo hidrogeológico e, como não se pode esquecer nos dias atuais, as atividades antrópicas (Feitosa *et al.*, 2008; Fetter, 1994 e Custódio & Llamas, 1996). Em geral, a qualidade da água subterrânea é boa, no entanto, ao se infiltrar no terreno e percolar pelos espaços vazios dos solos e das rochas, tende a se enriquecer no teor de sais dissolvidos, isto ocorre porque a água tem capacidade de dissolução muito elevada (é um solvente natural). Alguns destes constituintes iônicos estão presentes em quase todas as águas subterrâneas e em muitos casos, apresentam concentrações elevadas. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo principal determinar a qualidade físico-química e caracterizar os principais constituintes iônicos, das águas subterrâneas do Aquífero Furnas na região sul do estado de Mato Grosso.

METODOLOGIA

Levantamento de dados

A primeira etapa do trabalho envolveu uma busca por trabalhos anteriores. Foi realizada pesquisa bibliográfica e por bases digitais para subsidiar a criação da planta de

campo. As informações colhidas na bibliografia e nos dados cartográficos digitais foram associadas confeccionando um Mapa Base. Na etapa seguinte foi criada uma rota para

amostragem visando à logística das amostras no menor intervalo de tempo possível.

Etapas de campo

Os equipamentos utilizados no campo foram: mapa base (gerado na etapa anterior), caderneta de campo, GPS Garmin 76CSx, câmera fotográfica digital Sony DSC-W120, pHmetro digital com precisão decimal da marca Instrutherm (modelo PH-1700), condutivímetro com precisão centesimal da marca Instrutherm (modelo CD-8800), termômetro digital com precisão decimal da marca Incoterm (tipo espeto), medidor de nível de água eletrônico HS (modelo HSD-200) e caixas térmicas de isopor e polietileno. Antes da coleta das amostras, os poços ficavam jorrando por alguns minutos para evitar águas subterrâneas estagnadas nas tubulações dos poços e não representativas do aquífero. As amostragens foram realizadas em duplicata, foram acondicionadas em frascos descartáveis de polietileno de cinco litros, e todas as amostras coletadas foram preservadas sob refrigeração em caixas térmicas (temperatura de 4^oC). Com auxílio do GPS, foram georreferenciados e identificados os locais de amostragem em planta e na caderneta de campo. Os frascos, antes de serem acondicionados com as amostras, foram lavados várias vezes com a própria água do poço. Foi tomado cuidado para não deixar espaço vazio no frasco, a fim de evitar a possibilidade de volatilização. Nos frascos de polietileno foram anotados: local, identificação do projeto, número do poço, data da coleta e identificação dos parâmetros a serem analisados no laboratório. Foram identificados no campo (*in situ*) os seguintes parâmetros: temperatura do ar e da água, pH e condutividade elétrica. Os demais parâmetros (cálcio, magnésio, potássio, sódio, ferro, cloretos, sulfatos, nitratos e alcalinidade), foram determinados no laboratório AGROANÁLISE. Sob a orientação do mesmo, as amostras foram preservadas a baixa temperatura, sem qualquer aditivo. A coleta teve início às 7 horas da manhã e às 16 horas as amostras estavam no laboratório para início das análises. Todas as amostras foram

coletadas na boca do poço. As amostras foram coletadas segundo as metodologias indicadas pelo Guia de coletas de amostras de água (CETESB, 1998) e foram analisadas segundo *Standard Methods of Examination of Water and Wasterwater* (APHA, 1985). Os dados de análise de água foram interpretados utilizando um método gráfico (Diagrama Triangular de Piper, 1944). Este diagrama é utilizado para classificar os distintos grupos de águas quanto aos íons predominantes. Uma vez obtidos os resultados das análises químicas dos íons maiores, realizadas no laboratório, foi realizado o balanço iônico dos mesmos e as águas classificadas. Para a determinação do tipo de água, o cálculo do balanço iônico e a apresentação dos resultados das análises químicas dos íons maiores no diagrama de Piper foi utilizado o *software* Qualigraf 2009, Programa para a análise da qualidade de água (G. Möbus Hidrogeólogo. FUNCEME). Embora estas águas subterrâneas estejam sendo utilizadas para consumo humano, não foi objetivo deste trabalho qualificá-las, para este fim, seriam necessários avaliar outros aspectos químicos, físico-químicos, microbiológicos e radiológico. No entanto, foi possível classificá-las para a agricultura e pecuária. Para verificar a qualidade adequada para a agricultura, foi utilizada a classificação do *United States Salinity Laboratory – USSL* (Feitosa *et al.*, 2008). Esta classificação baseia-se na Razão de Adsorção de Sódio (RAS), como indicador do perigo de salinização do solo. O RAS indica a porcentagem de sódio contida numa água que pode ser adsorvida pelo solo e foi calculado pela equação: $RAS = rNa^+ / [(rCa^{+2} + rMg^{+2}) / 2]^{1/2}$. Para a classificação da qualidade adequada para a pecuária foi utilizado os padrões para o consumo animal de Logan (1965, segundo Feitosa *et al.*, 2008), de uma maneira geral, o gado deve consumir água com menos de 5.000 mg/L de sais dissolvidos (STD). O parâmetro STD (sólido totais dissolvidos) foi calculado pela equação $STD = 0,65 \times CE$, segundo Matthes (1982), onde CE é a condutividade elétrica da água medida no campo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes de discutir os achados, torna-se necessário esclarecer que é muito difícil a coleta de amostras de água subterrânea que sejam representativas da qualidade química da água em profundidade. O processo de amostragem do aquífero por meio do bombeamento dos poços pode mudar a pressão original da água, as amostras também podem ser expostas ao oxigênio da atmosfera durante os processos de amostragem. Como resultado, o Eh, pH, e as condições de equilíbrio das águas podem mudar. Outro fator importante de se esclarecer antes de discutir os resultados é que infelizmente, apenas se teve acesso a um relatório construtivo dos onze poços tubulares estudados. Qualquer inferência ou conclusão sobre os achados deve levar estes fatos em conta. A interpretação dos dados expostos a seguir foi feita a partir do estudo dos quadros que ilustram os resultados das análises realizadas no campo e em laboratório, bem como dos gráficos elaborados através destes quadros. Não foi objetivo deste trabalho classificar estas águas para consumo humano, pois seria necessário analisar outros parâmetros. Porém, dos parâmetros analisados todos estão abaixo dos valores máximos permitíveis para confinado consumo humano segundo a Portaria Potabilidade de Agosto 2011 do CITCONASS

(Conselho Nacional dos Secretários de Saúde). O Aquífero Furnas na região estudada se comporta como do tipo confinado, foram estudados onze poços tubulares, todos são do tipo artesiano, seis são jorrantes, e cinco não jorrantes. A figura 1 apresenta o mapa geológico e a localização dos poços tubulares. O quadro 1 apresenta a localização e tipo dos poços. O Quadro 2 ilustra os parâmetros físico químicos e o Quadro 3 apresenta os íons principais (elementos maiores).

Temperatura da água

A temperatura da água é importante por acelerar as reações químicas e reduzir a solubilidade dos gases, bem como acentuar o sabor e odor das águas naturais (Feitosa *et al.*, 2008). Os valores estatísticos da temperatura foram: Máximo=51; Mínimo=27; Média=38.8; Mediana=40 e Desvio Padrão=7,3 (Figura 2).

Para melhor compreensão das faixas de temperatura das águas subterrâneas da região estudada, optou-se por seguir a convenção de Custódio & Llamas (1996), onde as águas são consideradas: Hipotermal <25°C; Mesotermal >25°C e <35°C; Termal >35°C e <45°C e Hipertermal >45°C. Então, segundo esta classificação, das 11 amostras estudadas, 2 são mesotermiais, 7 são termiais e 2 hipertermiais.

Quadro 1. Localização e Tipos dos Poços.

Poço	Município	Localização	Tipo de Poço
P1	Juscimeira	Balneário Chuveirão	Artesiano jorrante
P2	Juscimeira	DAE Juscimeira PT1	Artesiano não jorrante
P3	Juscimeira	DAE Juscimeira PT6	Artesiano não jorrante
P4	Juscimeira	Assentamento Geraldo Andrade	Artesiano não jorrante
P5	Juscimeira	Irenópolis	Artesiano jorrante
P6	Juscimeira	Termas Mariah	Artesiano jorrante
P7	Jaciara	Água Mineral Clarinha do Vale	Artesiano jorrante
P8	Jaciara	BH Acqua Club	Artesiano jorrante
P9	Dom Aquino	DAE Entre Rios	Artesiano não jorrante
P10	Dom Aquino	DAE Bom Aquino	Artesiano não jorrante
P11	Campo Verde	Assentamento 14/08	Artesiano jorrante

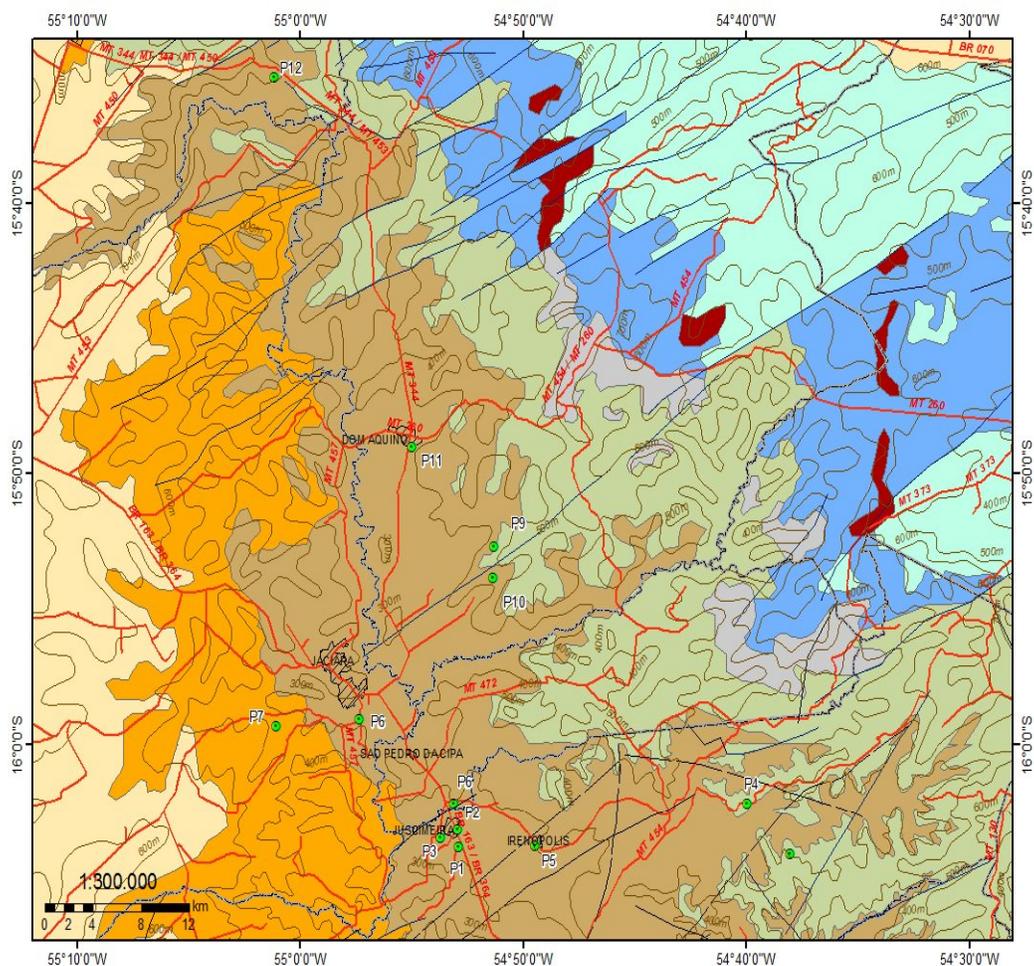


Figura 1. Mapa Geológico com a localização dos poços tubulares

Quadro 2. Parâmetros Físico-Químicos.

Poço	Temp. (°C)	pH	Condut. Elétrica. (µS/cm)	S.T D (mg/L)
P1	42	4,8	9,8	6,37
P2	41	5	50,8	33,0
P3	36	6,3	90,8	59,0
P4	47	6,5	82,9	53,8
P5	51	6,7	108,9	70,7
P6	39	7,2	130	84,5
P7	27	6,8	8,1	5,2
P8	30	6	11	7,15
P9	43	6,2	54	35,5
P10	40	6,5	57	37,0
P11	31	6,3	10	6,5

S.T.D: Sólidos Totais Dissolvidos

Quadro 3. Elementos Maiores (mg/L).

Poço	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃
P1	0,6	0,2	0,8	0,2	<LD	1,4	1,4	<LD	<LD
P2	2,2	1,0	3,2	3,0	<LD	<LD	1,9	<LD	19,5
P3	4,8	1,8	5,5	5,4	<LD	2,8	3,8	<LD	32
P4	3,4	1,6	6,8	4,3	<LD	4,2	2,8	<LD	38
P5	5,0	2,2	7,0	6,0	<LD	2,8	5,5	<LD	34
P6	4,8	2,2	6,7	11,3	<LD	1,4	2,8	<LD	51,2
P7	1,0	0,5	0,3	0,4	<LD	2,8	2,1	<LD	<LD
P8	1,2	0,6	1,1	0,4	<LD	4,2	1,1	<LD	<LD
P9	2,8	1,2	4,0	1,8	<LD	1,4	3,4	<LD	16
P10	1,8	1,0	4,7	2,0	<LD	2,8	1,5	<LD	18
P11	1,4	0,7	0,6	<LD	<LD	1,4	6,1	<LD	<LD

<LD: menor que o limite de detecção do método empregado

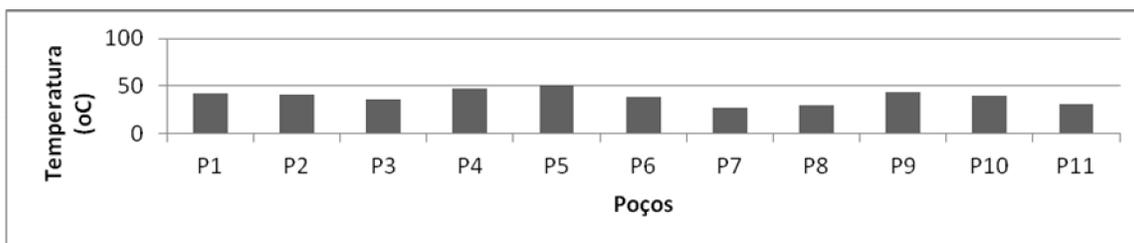


Figura 2. Valores da Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

O fenômeno de termalismo nas águas subterrâneas estudadas é função do grau geotérmico, visto que na região não ocorre gêiser, vulcanismo e radioatividade que poderiam provocar elevação da temperatura. Observando o mapa geológico com a localização dos poços (Figura 1) e os valores de temperatura (Quadro 2), nota-se que os maiores valores encontram-se no centro e sul da área estudada.

Potencial hidrogeniônico

A maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5. Em casos excepcionais, pode variar entre 3 e 11 (Feitosa *et al.*, 2008). Os

valores estatísticos do pH foram: Máximo=7,2; Mínimo=4,8; Média=6,2; Mediana=6,3 e Desvio Padrão=0,7 (Figura 3). Os valores obtidos para o potencial hidrogeniônico foram entre 7,2 e 4,8, com média em 6,2, indicando águas que variam de neutras a ácidas, o que é comum em águas subterrâneas. O processo de dissolução dos minerais é influenciado pelo pH, temperatura e grau de saturação de cada elemento. A Formação Furnas é composta essencialmente por arenito imaturo e arenito conglomerático ricos em quartzo e feldspato. Como não há evidência de rocha ou cimento carbonático nesta formação, é esperado o pH com tendência ácida nas águas subterrâneas.

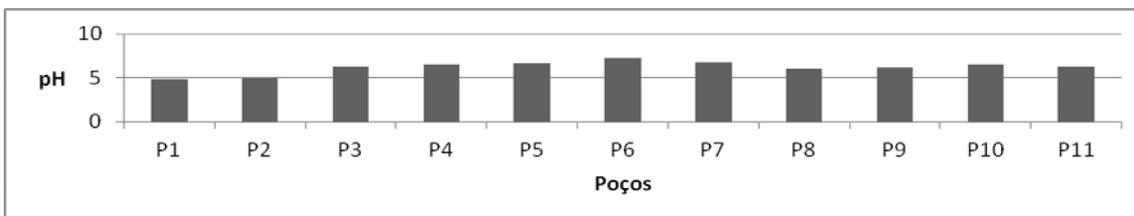


Figura 3. Valores de pH

Condutividade elétrica

A condutividade elétrica está relacionada à quantidade de sais dissolvidos na água sob a forma de íons. O valor da condutividade tende a ser maior com o aumento da temperatura. Os valores estatísticos foram: Máximo=108,9; Mínimo=10; Média=55,7; Mediana=54 e Desvio Padrão=43,3 (Figura 4). Os valores obtidos para condutividade elétrica foram entre 108,9 e 10, com média em 55,7, indicando

águas subterrâneas com baixas concentrações de sais dissolvidos. As rochas da Formação Furnas, de composição essencialmente quartzo-feldspática, possuem baixa solubilidade em água, portanto, fornecem poucos componentes iônicos ao meio aquífero, consequentemente, baixa condutividade elétrica. Soma-se a este fato, a ausência de minerais instáveis como cimento e fragmentos líticos.

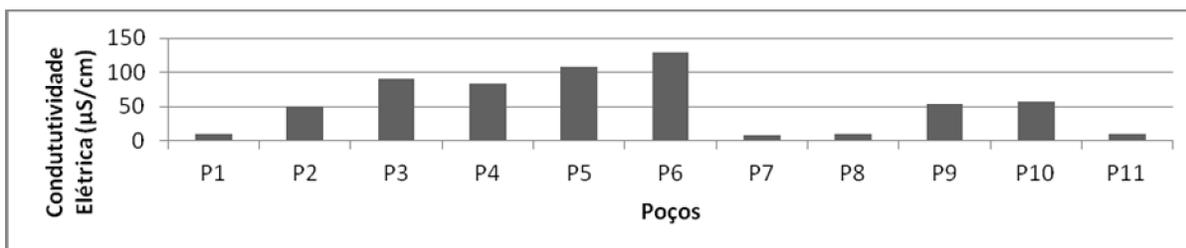


Figura 4. Valores de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Observando o mapa geológico com a localização dos poços (Figura 2) e os valores de condutividade elétrica (Quadro 2), nota-se que os maiores valores encontram-se no centro e sul da área estudada.

Alcalinidade

A alcalinidade é definida como a capacidade de uma água neutralizar ácidos. Em águas subterrâneas a alcalinidade é devida

principalmente aos carbonatos e bicarbonatos e secundariamente aos hidróxidos, silicatos, boratos, fosfatos e amônia. Os valores estatísticos para a alcalinidade foram: Máximo=328; Mínimo=0; Média=44,72; Mediana=18,75 e Desvio Padrão=90,84 (Figura 5). A capacidade de neutralização das águas dos poços amostrados está relacionada à quantidade de bicarbonatos uma vez que os valores de pH se mantiveram abaixo de 8,3.

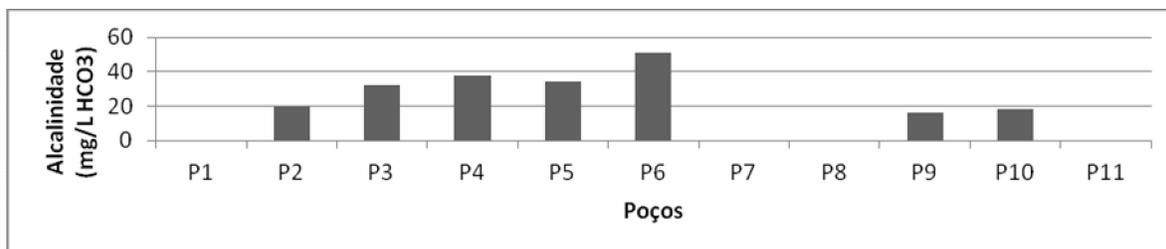


Figura 5. Alcalinidade (mg/L HCO₃)

A alcalinidade das águas subterrâneas do Aquífero Furnas tem origem na decomposição de suas rochas em contato com a água percolada. Como as rochas da Formação Furnas são ricas em quartzo / feldspato, e não sem tem evidência de calcário ou cimento carbonático, que elevariam a alcalinidade destas águas, é de se esperar os baixos valores encontrados.

Cálcio

Os íons de cálcio possuem de moderada a elevada solubilidade. Normalmente se precipita como carbonato de cálcio. Responsável pela dureza da água, é um dos principais constituintes da mesma, confere sabor salgado em concentrações acima de 70 mg/L, apresenta-se, em geral, sob a forma de bicarbonato e raramente como carbonato. É um dos elementos mais abundantes do planeta, ocorrem em minerais como calcita, aragonita, dolomita e

nas rochas calcárias. Os teores nas águas subterrâneas variam, em geral, entre 10 e 100 mg/L. (Feitosa *et al.*, 2008). Os valores estatísticos do cálcio foram: Máximo=5; Mínimo=0,6; Média=2,6; Mediana=2,2 e Desvio Padrão=1,6. (Figura 6). Nota-se que mesmo com pH mais ácido, as águas subterrâneas estudadas apresentam baixas concentrações de cálcio. Como já foi dito anteriormente, a mineralogia das rochas que compõem a Formação Furnas são ricas em quartzo e feldspato, não há evidências de cimento carbonático ou rochas carbonatadas, desta maneira, é esperado as baixas concentrações deste íon. Os valores detectados provavelmente se devem à dissolução de feldspato plagioclásio da Formação Furnas ou é contribuição do Grupo Cuiabá subjacente, que possui mármore calcítico e dolomítico, marga e calcário.

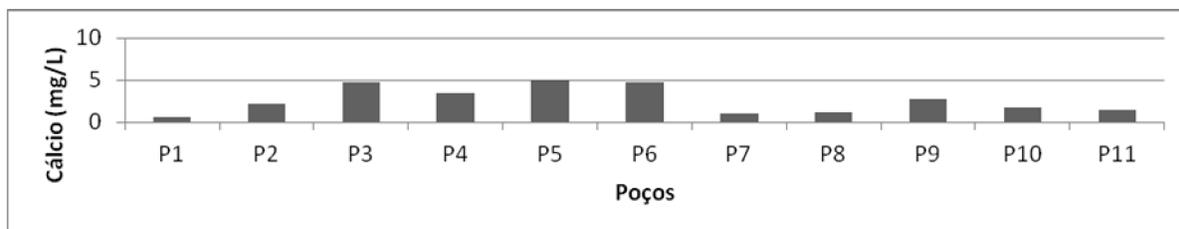


Figura 6. Concentração de Cálcio (mg/L)

Magnésio

O magnésio apresenta características químicas muito semelhantes ao cálcio, porém, é mais solúvel e mais difícil de precipitar, por isto ocorreu em menor concentração nas águas analisadas. Geralmente ocorre na forma de bicarbonato. Tem como principal fonte as rochas carbonatadas (minerais: magnesita, biotita, granada, hornblenda, clorita, alanita e

olivina). Como o cálcio, é responsável pela dureza e produz gosto salobro às águas. Apresentam teores geralmente entre 1 e 40 mg/L nas águas subterrâneas (Feitosa *et al.*, 2008). Os valores estatísticos do magnésio foram: Máximo=2,2; Mínimo=0,2; Média=1,18; Mediana=1 e Desvio Padrão=0,68 (Figura 7).

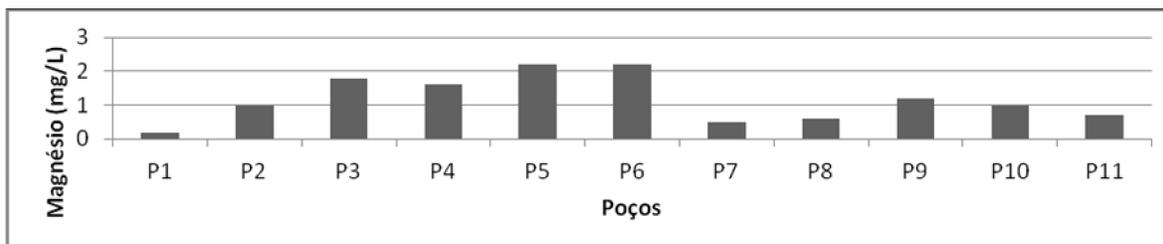


Figura 7. Concentração de Magnésio (mg/L)

Da mesma maneira que o cálcio nota-se que mesmo com pH mais ácido, as águas subterrâneas estudadas apresentam baixas concentrações de magnésio. Como já foi dito anteriormente, a mineralogia das rochas que compõem a Formação Furnas são ricas em quartzo e feldspato, não há evidências de cimento ou rocha calcária, assim é esperado as baixas concentrações deste íon. Os valores detectados provavelmente se devem às rochas carbonatadas do embasamento (Grupo Cuiabá).

Potássio

O potássio (K^+) é um elemento abundante na crosta terrestre. Entretanto, é pouco

observado nas águas subterrâneas devido a sua intensa atividade em processos de troca iônica, além de ser facilmente adsorvidos pelos minerais de argila e bastante utilizados pelos vegetais (Feitosa *et al.*, 2008). Segundo Feitosa *et al.* (2008), os teores de potássio nas águas subterrâneas são inferiores a 10 mg/L, sendo mais frequentes entre 1 e 5 mg/L. Como pode ser observado da Figura 8, os valores encontrados neste trabalho estão dentro desta margem. Os valores estatísticos do potássio foram: Máximo=7; Mínimo=0,3; Média=3,7; Mediana=4 e Desvio Padrão=2,65 (Figura 8).

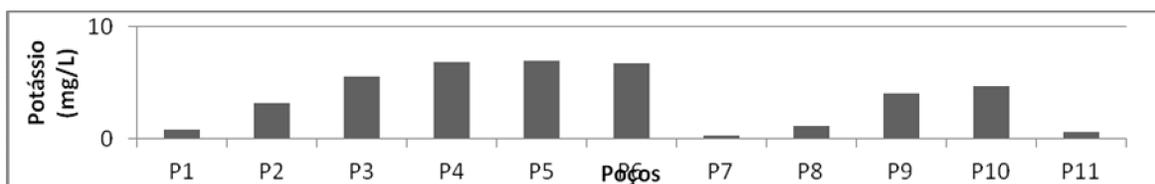


Figura 8. Concentração de Potássio (mg/L)

Embora as águas subterrâneas estudadas apresentem concentrações esperadas de potássio dissolvido, os valores detectados até que foram relativamente elevado, algumas vezes maior que a maioria das águas subterrâneas provenientes de arenitos, como é o caso dos poços P4, P5 e P6. De fato, estas concentrações elevadas estão vinculadas à dissolução dos feldspatos alcalinos, muito comum nas rochas componentes da Formação Furnas.

Sódio

O sódio (Na^+) é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas. Possui ampla distribuição nos minerais fontes, baixa estabilidade química dos minerais que o contém, solubilidade elevada e difícil precipitação quando em solução. Ocorre nas águas subterrâneas geralmente na forma de cloretos, tendo como minerais fontes os plagioclásios, feldspatóides, anfibólios e piroxênios. Em geral, ocorre um aumento

gradativo dos teores de sódio das áreas de recarga, em direção as porções mais confinadas, até as áreas de descarga. Varia nas águas subterrâneas de 1 a 150mg/L. Em teores elevados são prejudiciais às plantas por reduzir a permeabilidade do solo (Feitosa *et al.*, 2008).

Os valores estatísticos do sódio foram: Máximo=11,3; Mínimo foi menor que o limite de detecção do método empregado; Média=3,48; Mediana=2,54 e Desvio Padrão=3,4 (Figura 9). Observa-se na Figura 10 que as concentrações de sódio não são elevadas.

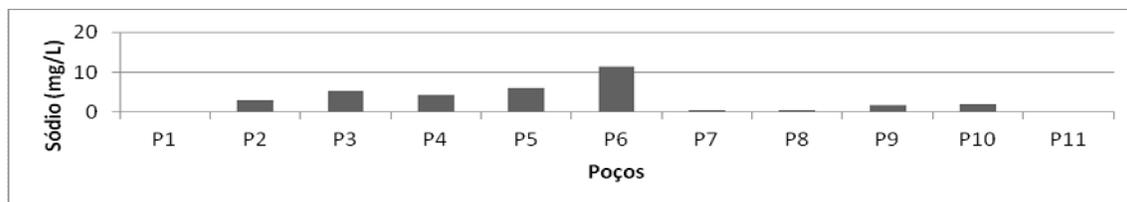


Figura 9. Concentração de Sódio (mg/L)

As rochas que compõem a Formação Furnas são constituídas principalmente por minerais de quartzo, em menor concentração feldspato alcalino e pouco feldspato plagioclásio. Com exceção do poço P6, as águas estudadas apresentam baixas concentrações de sódio. Os valores detectados provavelmente se originam da dissolução de feldspatos plagioclásios das rochas da Formação Furnas.

Ferro total

O ferro (Fe) geralmente ocorre associado ao manganês e confere à água sabor amargo, coloração amarelada e turva, quando oxidado. Geralmente apresenta baixos teores (<0,3 mg/L), quando ocorre em altas concentrações nas águas subterrâneas, pode ser devido à presença de ferrobactérias ou à corrosão do revestimento ou filtro do poço (Feitosa *et al.*, 2008). Os teores de ferro dissolvidos em água referem-se, normalmente, ao Fe^{+3} , pois o Fe^{+2} é instável na presença do oxigênio presente na atmosfera. Assim, mesmo que haja algum íon ferroso presente na água, no ato da amostragem ou outro fator que o coloque em contato com o ar atmosférico, este se tornará férrico, por este motivo os valores são expressos como ferro total. No entanto, em todas as amostras

analisadas a concentração de ferro foi menor que o limite de detecção do método empregado. As concentrações deste íon abaixo do limite de detecção do método empregado podem ser explicadas pela ausência de ferro nas rochas que compõem a Formação Furnas, independente da passagem da perfuração por outras formações (Ponta Grossa e Aquidauana).

Cloretos

Os cloretos (Cl^-) estão presentes em quase todas as águas e normalmente, associado ao sódio. Suas principais características são: alta solubilidade, altamente deliquescente, muito estável em solução e dificilmente se precipita. A alta solubilidade e o lento movimento das águas subterrâneas provocam um aumento gradativo do teor dos cloretos das áreas de recarga, em direção as áreas de descarga. As águas subterrâneas apresentam geralmente teores inferiores a 100 mg/L. São bons indicadores de poluição por lixão ou aterros sanitários (Feitosa *et al.*, 2008). Os valores estatísticos dos cloretos foram: Máximo=4,2; Mínimo: foi menor que o limite de detecção do método empregado; Média=2,52; Mediana=2,8 e Desvio Padrão=1,1(Figura 10). Observa-se na Figura 11 que a concentração de cloreto foi muito baixa.

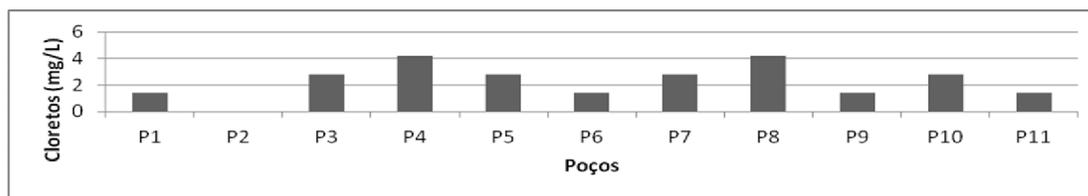


Figura 10. Concentração de Cloretos (mg/L)

Como foi discutido anteriormente, as rochas que compõem a Formação Furnas são constituídas principalmente por minerais de quartzo, em menor concentração feldspato alcalino e pouco feldspato plagioclásio. Como não há minerais responsáveis pela contribuição de cloreto, o pouco que existe, provavelmente se deve as águas de recarga do aquífero, isto é, as águas meteóricas. É interessante observar, que estas águas já se encontram empobrecidas em cloreto, pois a região Centro Oeste (região estudada) se encontra distante do litoral, onde as águas meteóricas são naturalmente mais ricas neste íon.

Sulfatos

O sulfato (SO_4^{-2}) é um componente importante na interpretação da qualidade da água. Em grandes quantidades pode indicar, em

determinadas situações, contaminação por esgoto doméstico, industrial ou práticas agrícolas. Também pode ocorrer naturalmente em grandes quantidades na água subterrânea como resultado da oxidação de minerais contendo enxofre, contudo sua concentração média nas águas subterrâneas é de 100 mg/L (Mestrinho, 1997). Os valores estatísticos dos sulfatos foram: Máximo=6,1; Mínimo=1,1; Média=2,9; Mediana=2,8 e Desvio Padrão=1,6 (Figura 12). Como podem ser observados na figura 11, os poços amostrados apresentam concentrações muito baixas de sulfatos. Como não há indício de minerais contendo enxofre nas rochas da Formação Furnas, a hipótese mais provável para a contribuição deste íon nas águas subterrâneas estudadas é a dissolução das pirritas, que ocorrem disseminadas nos filitos e metadiamictitos do Grupo Cuiabá.

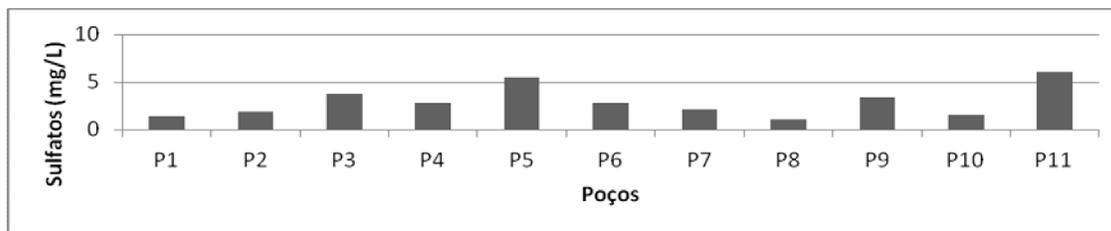


Figura 11. Concentração de Sulfato (mg/L)

Nitrato

O nitrato (NO_3^-) é muito solúvel e dificilmente precipita. Ocorre geralmente em pequenas concentrações, representando o estágio final da oxidação da matéria orgânica. Teores acima de 5 mg/L pode indicar contaminação por esgotos, fossas sépticas, lixão, aterro sanitário, cemitérios, adubos, dentre outros resíduos. Em águas subterrâneas não poluídas, geralmente apresentam teores entre 0,1 e 10 mg/L (Feitosa *et al.*, 2008). Trata-se de um íon de grande mobilidade sendo facilmente movido das camadas superiores do solo para as águas subterrâneas. Todas as amostras apresentaram concentração abaixo do limite de detecção do método empregado. O nitrogênio e seus compostos não são encontrados nas rochas da crosta da Terra, com exceção de algumas ocorrências como sais evaporíticos. Como não há evidência de ambientes de sedimentação evaporítica na região, é de se esperar a ausência de nitrato nestas águas.

Correlações

A seguir será discutida a correlação entre parâmetros hidroquímicos das águas subterrâneas do Aquífero Furnas na região estudada. Serão incluídos a condutividade elétrica, os sólidos totais dissolvidos e alguns cátions e ânions maiores. Os resultados acima descritos foram correlacionados para que sua interpretação pudesse apontar sugestões da mineralogia das rochas por onde a água subterrânea percolou. O fato dos sólidos totais dissolvidos terem sido calculados diretamente a partir da condutividade elétrica pressupõe que esses sólidos sejam constituídos basicamente por íons, que são os responsáveis pela condução de eletricidade no meio aquoso. É de se esperar, portanto, que exista uma boa correlação entre a concentração total de íons e os valores obtidos de condutividade elétrica de cada amostra. A Figura 12 mostra que realmente houve significativa correlação ($r = 1$) entre essas duas variáveis.

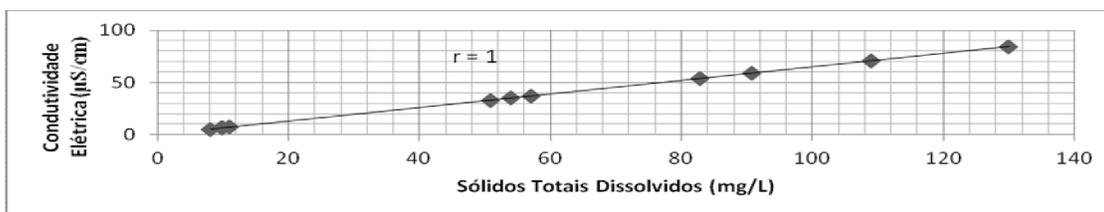


Figura 12. Gráfico de correlação da condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos (STD).

No caso da correlação entre o cálcio e o magnésio, o gráfico resultante (Figura 13) pode ser interpretado como excelente correlação ($r = 0,967$), em que o aumento de cálcio e magnésio tende a manter uma proporcionalidade em todas as amostras, onde o crescimento de um íon é decorrente, ou explicado pelo crescimento do outro íon. A correlação positiva verificada entre

o cálcio e o magnésio, sugere a participação de processos de dissolução de rocha carbonática. Como não há minerais de cálcio e magnésio nas rochas que compõem a Formação Furnas, esta correlação pode ser interpretada como resultante da dissolução de rochas carbonáticas do embasamento subjacente, isto é do Grupo Cuiabá.

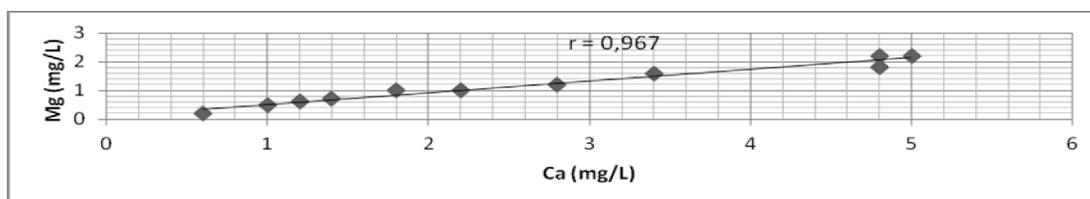


Figura 13. Gráfico da correlação magnésio e cálcio.

Da mesma forma que a relação anterior, cálcio e sódio podem ser interpretados como tendo uma boa correlação ($r = 0,766$),

demonstrando proporcionalidade positiva (Figura 14).

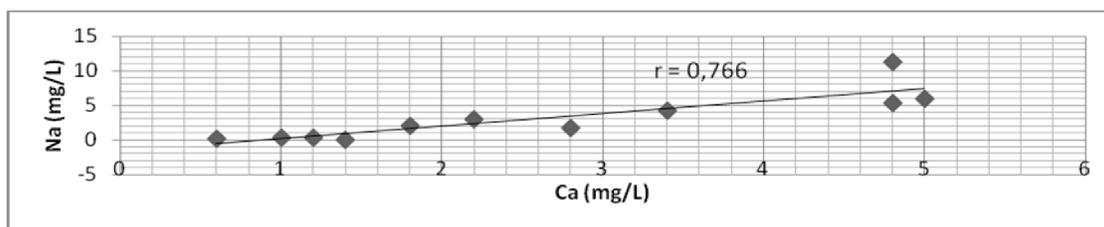


Figura 14. Gráfico da correlação entre sódio e cálcio.

A correlação positiva verificada entre o sódio e cálcio, sugere a participação de processos de dissolução de feldspato plagioclásio. De fato, as rochas da Formação Furnas possuem estes minerais, indicando que a boa correlação entre estes íons pode ser

explicada a partir da dissolução de rochas da Formação Furnas. A correlação entre sódio e potássio (Figura 15), também pode ser interpretada como boa, contudo com uma intensidade mais baixa que as expressas pelos gráficos anteriores ($r = 0,674$).

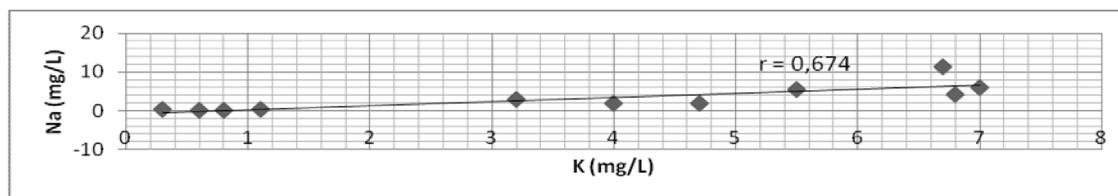


Figura 15. Gráfico da correlação entre sódio e potássio.

A correlação positiva verificada entre o sódio e potássio, sugere a participação de processos de dissolução de feldspato plagioclásio e feldspato alcalino. De fato, as rochas da Formação Furnas possuem estes minerais, indicando que a boa correlação entre estes íons pode ser explicada a partir da dissolução de rochas da Formação Furnas.

Classificações das águas subterrâneas

Em estudos hidroquímicos o balanço iônico e o erro das análises químicas fornecidas

pelos laboratórios especializados devem ser avaliados. Essa avaliação é feita através do cálculo do coeficiente de erro da análise e não pode ser superior a 10%. A precisão dos resultados das análises dos íons maiores foi avaliada mediante o cálculo do erro das mesmas, baseada no balanço iônico. Todas as análises químicas foram aceitas, pois apresentaram erro menor que 10%, portanto, dentro dos limites aceitáveis. O Quadro 4 ilustra os tipos de água e o resultado do balanço iônico das águas subterrâneas estudadas.

Quadro 4. Tipos de água e coeficiente de erro

Poços	Tipo de água	Coeficiente de Erro
PM1	Ca-K-Mg-Cl-SO ₄	4,8%
PM2	Na-Ca- Mg-K-HCO ₃	5,9%
PM3	Ca-Na-Mg-HCO ₃	5,6%
PM4	Na-K-Ca-HCO ₃	9,4%
PM5	Na-Ca-Mg-K-HCO ₃	7,4%
PM6	Na-Ca-HCO ₃	7,2%
PM7	Ca-Mg-Cl-SO ₄	2,8%
PM8	Ca-Mg-Cl	4,5%
PM9	Ca-K-Mg-HCO ₃	5,9%
PM10	K-Ca-Na-Mg-HCO ₃	3,3%
PM11	Ca-Mg-SO ₄ -Cl	7,7%

O diagrama de Piper é útil para classificar e comparar as distintas famílias ou grupos de águas quanto aos íons predominantes. No losango do diagrama encontram-se quatro grupos: Águas Sulfatadas ou Cloretadas Cálcicas ou Magnesianas, Águas Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas, Águas Sulfatadas ou Cloretadas Sódicas e Águas Bicarbonatada Sódica. Para plotar no diagrama, foram transformadas separadamente o valor de cada íon expresso em meq/L em

percentagem dos totais de ânion ou de cátion. Foi possível observar três grupos separados pelos campos do losango do diagrama de Piper (Figura 16):

1. Grupo Bicarbonatadas Sódicas (PM2, PM4, PM5 e PM6);
2. Grupo Bicarbonatadas Cálcicas (PM3, PM9 e PM10) e
3. Grupo Cloretadas Cálcicas (PM1, PM7 e PM8) e Sulfatadas Cálcicas (PM11).

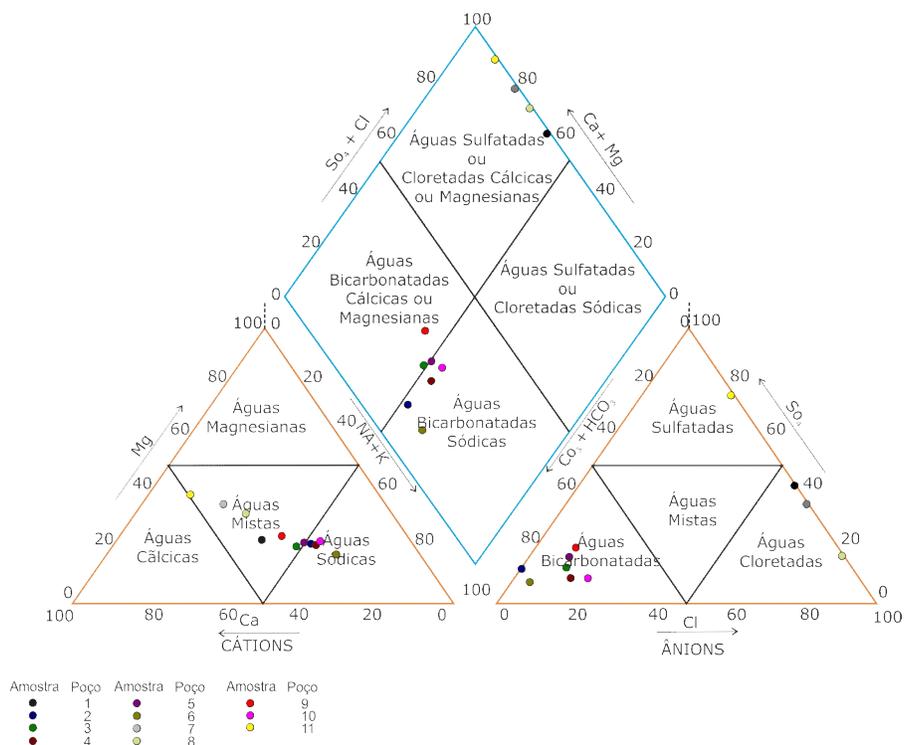


Figura 16. Diagrama de Piper

A classificação das águas subterrâneas para a agricultura utilizada neste trabalho foi a da *United States Salinity Laboratório*, que se baseia na Razão de Absorção de Sódio (RAS) e na condutividade elétrica da água (CE). Quanto

maior o RAS, menos adequada é a água para a agricultura (Feitosa, *et al.*, 2008). O RAS indica a percentagem de sódio contido numa água que pode ser adsorvido pelo solo (Quadro 5).

Quadro 5. Classificação da água para agricultura

Poços	RAS	C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Classificação
P1	0,06	9,8	C ₀ -S ₁
P2	0,43	50,8	C ₀ -S ₁
P3	0,52	90,8	C ₀ -S ₁
P4	0,5	82,9	C ₀ -S ₁
P5	0,56	108,9	C ₁ -S ₁
P6	1,0	130	C ₁ -S ₁
P7	0,09	8,1	C ₀ -S ₁
P8	0,08	11	C ₀ -S ₁
P9	0,23	54	C ₀ -S ₁
P10	0,31	57	C ₀ -S ₁
P11	0	10	C ₀ -S ₁

Segundo a classificação do *United States Salinity* USSL, foram verificados nove (9) poços na categoria C₀-S₁ e dois (2) na categoria C₁-S₁, onde:

C₀: são águas de muito baixa salinidade, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação

C₁: são águas de baixa salinidade. Podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de incidentes quanto à salinização do solo, salvo se a permeabilidade deste for extremamente baixa.

S₁: são águas fracamente sódicas, podem ser utilizadas para quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca. Presta-se ao cultivo de quase todos os vegetais. Para os padrões para a pecuária foi utilizado a classificação para o consumo animal de Logan (1965, segundo Feitosa *et al.*, 2008). O Quadro 2 apresenta os valores de sólido totais dissolvidos (STD), obtidos a partir da condutividade elétrica, que divide os padrões para consumo animal em cinco (5) classes: Boa para STD ≤ 2.500 mg/L; Satisfatória para STD entre 2.500 e 3.500 mg/L; Pobre para STD entre 3.500 e 4.500 mg/L e Insatisfatória para STD ≥ 4.500 mg/L. Pode ser observado no Quadro 2 que a água de todos os poços se encontram na classe Boa para consumo animal.

Descrição por poço tubular

Completada a descrição dos resultados das análises dos elementos estudados, é interessante resumir as principais características das amostras dos diversos pontos de coleta (poços tubulares).

PM 1 (Balneário Chuveirão): O poço do Balneário Chuveirão (PM1) é relatado pelos proprietários como possuindo 150 m de profundidade, está revestido com tubo de aço de 8" de diâmetro e produz cerca de 20 m³/h em regime de artesianismo jorrante. Suas águas são termiais (42⁰C), possuem baixas concentrações de sais dissolvidos. Em ordem decrescente de concentração, os íons encontrados foram: Ca>K>Mg para os cátions e Cl>SO₄ para os ânions. Portanto, são águas classificadas como Cloretadas Cálcicas.

PM 2 (DAE de Juscimeira 1): Este poço foi construído na década de 80 e apesar de se encontrar nas proximidades do poço anterior,

não apresenta artesianismo jorrante. Segundo os responsáveis do DAE de Juscimeira possui 180 m de profundidade. O poço é do tipo artesianismo não jorrante. Suas águas são termiais (41⁰C), possuem baixa concentração de sais dissolvidos. Em ordem decrescente de concentração, os íons encontrados foram: HCO₃⁻ > SO₄⁻² para os ânions e Na⁺ > Ca⁺² > Mg⁺² > K⁺ para os cátions. Portanto, são águas classificadas como Bicarbonatadas Sódicas.

PM 3 (DAE de Juscimeira 6): Poço artesianismo não jorrante. Suas águas são termiais (36⁰C), possuem baixa concentração de sais dissolvidos. Em ordem decrescente de concentração, os íons encontrados foram: HCO₃⁻ > SO₄⁻² e Cl⁻ para os ânions e Ca⁺² > Na⁺ > Mg⁺² e K⁺ para os cátions. Portanto, são águas classificadas como Bicarbonatadas Cálcicas.

PM 4 (Assentamento Geraldo Andrade): Poço artesianismo não jorrante. Suas águas são hipertermiais (47⁰C), também possuem baixas concentrações de sais dissolvidos. Em ordem decrescente de concentração, os íons encontrados foram: HCO₃⁻ > Cl⁻ SO₄⁻² para os ânions e Na⁺ > Ca⁺² e K⁺ > Mg⁺² para os cátions. Possui 550 m de profundidade e revestimento metálico. Portanto, são águas classificadas como Bicarbonatadas Sódicas.

PM 5 (Distrito de Irenópolis): É um dos poços mais antigos da região, possui artesianismo jorrante. Suas águas são hipertermiais (51⁰C), também possuem baixas concentrações de sais dissolvidos, porém com teores ligeiramente mais altos. Em ordem decrescente de concentração, os íons encontrados foram: HCO₃⁻ > SO₄⁻² e Cl⁻ para os ânions e Na⁺ > Ca⁺² > Mg⁺² e K⁺ para os cátions. Portanto, são águas classificadas como Bicarbonatadas Sódicas.

PM 6 (Thermas Marihá): É interessante observar, que o poço P6 mesmo localizado próximo aos poços P1, P2 e P3, apresenta comportamento hidroquímico contrastante. Este fato provavelmente se deve às zonas de falhas que ocorrem na região, estas provavelmente interceptam as rochas do Grupo Cuiabá (embasamento subjacente), que contribuem com íons que não ocorrem nas rochas da Formação Furnas. Este poço foi construído em 2005, possui 289 m de profundidade, está revestido até 176 m e mantém uma produção ao

redor de 50 m³/h em regime de artesianismo jorrante. Suas águas são termais (39°C), da mesma maneira que o poço anterior as águas do PM 6 também possuem baixas concentrações de sais dissolvidos, porém com teores ligeiramente mais alto que os demais. Em ordem decrescente de concentração, os íons encontrados foram: HCO₃⁻ > SO₄⁻² e Cl⁻ para os ânions e Na⁺ > Ca⁺² > Mg⁺² e K⁺ para os cátions. Portanto, são águas classificadas como Bicarbonatadas Sódicas.

PM 7 (Água Mineral Clarinha do Vale): Poço artesiano jorrante. Suas águas são mesotermais (27°C), também possuem baixas concentrações de sais dissolvidos. São águas classificadas como. Em ordem decrescente de concentração, os íons encontrados foram: Cl⁻ > SO₄⁻² para os ânions e Ca⁺² > Mg⁺² > Na⁺ > K⁺ para os cátions. Portanto, são classificadas como águas Cloretadas Cálcicas.

PM 8 (BH Acqua Club): Poço do tipo artesiano jorrante. As águas mesotermais (30°C), também possuem baixas concentrações de sais dissolvidos. Em ordem decrescente de concentração, os íons encontrados foram: Cl⁻ > SO₄⁻² para os ânions e Ca⁺² > Mg⁺² > K⁺ > Na⁺ para os cátions. Portanto, são águas classificadas como Cloretadas Cálcicas.

PM 9 (Distrito de Entre Rios): Segundo relato do responsável do DAE de Entre Rios, este poço possui 502 m de profundidade com

nível estático de 104 m. O poço é artesiano não jorrante. Suas águas são termais (43°C), também possuem baixas concentrações de sais dissolvidos. Em ordem decrescente de concentração, os íons encontrados foram: HCO₃⁻ > SO₄⁻² > Cl⁻ para os ânions e Ca⁺² > Mg⁺² e K⁺ > Na⁺ para os cátions. Portanto, são águas classificadas como Bicarbonatadas Cálcicas.

PM 10 (Dom Aquino): Está localizado junto à sede do DAE de Dom Aquino. Poço artesiano não jorrante, possui profundidade de 463 m, nível estático de 37,5 m e nível dinâmico de 40,4 m para uma produção de 125 m³/h. Suas águas são termais (40°C), também possuem baixas concentrações de sais dissolvidos. Em ordem decrescente de concentração, os íons encontrados foram: HCO₃⁻ > Cl⁻ > SO₄⁻² para os ânions e K⁺ > Ca⁺² > Na⁺ > Mg⁺² para os cátions. Portanto, são águas classificadas como Bicarbonatadas Cálcicas.

PM 11 (Assentamento 14 de agosto): Poço artesiano jorrante. Suas águas são mesotermais (31°C), também possuem baixas concentrações de sais dissolvidos. Em ordem decrescente de concentração, os íons encontrados foram: SO₄⁻² > Cl⁻ para os ânions e Ca⁺² > Mg⁺² > K⁺ > Na⁺ para os cátions. Portanto, são águas classificadas como Sulfatadas Cálcicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados neste trabalho permitiu inferir as seguintes considerações finais:

O Aquífero Furnas é a unidade basal da Bacia Sedimentar do Paraná, possui extensão regional, iniciando-se a oeste da cidade de Chapada dos Guimarães e ultrapassa os limites da divisa dos estados de Mato Grosso do Sul e Goiás. Litologicamente é constituído por arenitos avermelhados e brancos, ortoquartzíticos, com lentes conglomeráticas, intercalações siltico-argilosas e com conglomerado basal. Possuem estratificação cruzada, são bastante fraturados. É um dos principais aquíferos do estado de Mato Grosso, possui excelentes condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas. Predominam condições de aquífero do tipo

confinado, porém, na porção sul do estado, onde ocorrem suas áreas de afloramento, caracteriza-se como do tipo livre. Ocorrem na região os fenômenos de artesianismo e termalismo. O aquífero é explorado por poços artesianos jorrantes e não jorrantes. As águas subterrâneas possuem baixa concentração de sais dissolvidos, sendo de boa qualidade para a agricultura e pecuária. A baixa salinidade se deve a ocorrência de minerais pouco solúveis na Formação Furnas, principalmente quartzo e feldspato, colaborada pelo alto índice pluviométrico da região centro oeste, com taxas de recarga elevadas e consequente diluição dos sais em solução. A temperatura, a condutividade elétrica e consequentemente a concentração de íons é maior no centro e sul da área estudada. A correlação linear verificada

entre Na/Ca e Na/K, indica que a participação destes íons pode ser explicada a partir da dissolução de feldspato alcalino e feldspato plagioclásio da Formação Furnas. A correlação linear verificada entre Mg/Ca, sugere que a participação destes íons pode ser explicada a partir da dissolução de rochas carbonáticas do embasamento subjacente (Grupo Cuiabá). As

análises dos íons maiores destas águas permitiu detectar três grupos de águas subterrâneas: o Grupo Bicarbonatadas Sódicas (com quatro amostras), o Grupo Bicarbonatadas Cálcicas (com três amostras) e o Grupo Cloretadas Cálcicas e Sulfatadas Cálcicas (com quatro amostras).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a LÓGICA CONSULTORIA, pelo apoio financeiro no custeio analítico e de trabalho de campo e ao Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Mato Grosso.

BIBLIOGRAFIA

1. CASARIN, J. C. **Qualidade da água superficial e subterrânea da área urbana de Rondonópolis-MT**. Cuiabá, 2003. 112p. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade Federal de Mato Grosso.
2. CAVINATTO, V. M. **Caracterização Hidrográfica do Estado de Mato Grosso**. Programa de Desenvolvimento Agroambiental de Mato Grosso. PRODEAGRO/SEPLAN/FEMA, 300p, 1995.
3. CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Coleta e Preservação de Amostras de Água**. São Paulo: Procedimento Técnico, 1988.
4. CONASS. Conselho Nacional dos Secretários de Saúde. **Competências relativas aos procedimentos de controle e da vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Brasília: 64p, 2011.
5. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2004. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso**. 1 CD-ROM.
6. CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. Ed. Omega. 2ª Ed. Barcelona: 2V, 2350p, 1996.
7. FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; e DEMETRIO, J. G. A. (Coordenadores). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM - LABHID, 3 Ed, 812p, 2008.
8. FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**. Prentice-Hall, Inc. 3ª Ed. New Jersey. 691p, 1994.
9. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **Censo 2007**, Disponível: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>> acesso 25/02/2009.
10. MATTHESS, G. **The properties of groundwater**. 1 ed. New York, John Wiley & Sons. 406p, 1982.
11. MESTRINHO, S. S. P. **Geoquímica e Contaminação de Águas Subterrâneas**. In: Curso de Atualização. Convênio Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS e Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, Recife – PE, 1997.
12. **STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER**. APHA, AWWA, WPCF, 16th, ed., Port City Press, Baltimore, p. 373, 1985.

*Manuscrito recebido em: 21 de Agosto de 2013
Revisado e Aceito em: 19 de Fevereiro de 2014*