

HIDROQUÍMICA DO AQUÍFERO CABEÇAS NA BORDA SUDESTE DA BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA – PI

Francisco Lages C. Filho¹; Adson Brito Monteiro²; A. Reinaldo Soares Filho³; Edilton Carneiro Feitosa⁴ & Ney Gonzaga de Sousa⁵

Resumo - A área situa-se no extremo sudeste do Estado do Piauí, próximo às fronteiras com os Estados da Bahia e Pernambuco, na borda da Bacia Sedimentar do Parnaíba. O objetivo deste trabalho foi a caracterização hidroquímica do aquífero Cabeças quanto ao íon dominante, a parâmetros físicos e ao uso. Aflora na maior parte da área e seu comportamento hidrodinâmico é predominantemente de aquífero livre. Apenas no canto noroeste da área, na região de Canto do Buriti, se comporta como confinado, uma vez que é recoberto por sedimentos argilosos da formação Longá. Sua caracterização hidroquímica foi realizada utilizando-se os resultados de análises de amostras de água de 54 poços selecionados, cadastrados pelo Projeto Cadastro de Fonte de Abastecimento por Água Subterrânea do Estado do Piauí. Foi efetuado um balanço químico entre cátions e ânions, uma análise de consistência dos dados e, realizado um estudo estatístico dos parâmetros físico-químicos. Os resultados mostram uma predominância de água bicarbonatada mista, branda, doce, levemente ácida, adequada para consumo humano (desde que sejam observados os parâmetros bacteriológicos), consumo animal e irrigação. Indústrias de suco de frutas, laticínios e alimentícias podem ser instaladas sem muita restrição. Para as demais tipologias devem ser feitas pesquisas específicas.

Abstract - The area lies in the extreme southeastern Piauí State, near the border of states of Bahia and Pernambuco, at the edge of the Parnaíba Sedimentary Basin. This work was the hydrochemistry characterization of the Cabeças Aquifer such as the dominant ion, physical parameters and use. This aquifer shows outcrops on most of the studied area and their hydrodynamic characteristic is predominantly of free aquifer. The Cabeças Aquifer is confined only in the northwest corner of the area (in the region of Canto do Buriti, PI) since it is covered by clay sediments of the Longá Formation. The hydrochemical characterization of the aquifer was done using selected water chemical analyses from 54 wells registered by the project “Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea do Estado do Piauí”.

¹Geólogo/Especialista em Recursos Hídricos – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Av. Goiás, 312 – Ilhotas – Teresina – PI. Fone: (86)3222-4153. E-mail: lages@te.cprm.gov.br ²Geólogo/Mestre em Geociências – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Av. Goiás, 312 – Ilhotas – Teresina – PI. Fone: (86)3222-4153. E-mail: amonteiro@te.cprm.gov.br ³Geólogo – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Av. Goiás, 312 – Ilhotas – Teresina – PI. Fone: (86)3222-4153. E-mail: reinaldo@te.cprm.gov.br ⁴Geólogo/Mestre em Geociências – Universidade Federal de Pernambuco – (UFPE). Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n – Cidade Univ. – Recife – PE. Fone: (81)2126-8239. E-mail: ediltonf@yahoo.com.br ⁵Técnico em Mineração – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Av. Goiás, 312 – Ilhotas – Teresina – PI. Fone: (86)3222-4153. E-mail: ney@te.cprm.gov.br

A chemical balance between cations and anions was done, as well as analysis of the data consistency, and statistical study of the physical-chemical parameters. The results indicate that the water is predominantly mixed bicarbonated, soft, sweet, slightly acid, adequate for human consumption (when observed bacteriological parameters), animal consumption e irrigation. Industries of fruit juice, milk and food can be installed without much restriction. For other uses, more specific research should be done.

Palavras-Chave - Aquífero Cabeças, Hidroquímica, Parnaíba

1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho constitui um apêndice das atividades desenvolvidas no Projeto Borda Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba (Correia Filho et al., prelo), situado na região sudeste do Piauí, executado pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Trata-se de um estudo de pesquisa hidrogeológica, voltado para a avaliação dos aquíferos Serra Grande e Cabeças no que tange suas potencialidades como mananciais para o abastecimento regional.

No aquífero Cabeças foram executadas 54 análises físico-químicas de amostras de água coletadas, durante os trabalhos de campo. Foi feito o balanço iônico, com base nessas análises, descartadas as amostras com erro superior a 10% e realizado um estudo estatístico dos parâmetros estudados, objetivando a caracterização hidroquímica do aquífero.

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área situa-se no extremo sudeste do Estado do Piauí, próximo às suas fronteiras com os Estados da Bahia e Pernambuco, perfazendo um total de 24.346 km² (Figura 01).

O acesso, a partir de Teresina, capital do estado, se faz pelas BR-316/BR-343 até a cidade de Floriano. Daí, pela rodovia estadual, PI-140, pavimentada, até São Raimundo Nonato. De São Raimundo Nonato para Caracol, situada no extremo sudoeste da área, o acesso é feito pela PI-144, num percurso de 90 km. Para São João do Piauí, situada na porção nordeste, existem duas opções a partir de São Raimundo Nonato. A primeira, pela BR-020 (Brasília/Fortaleza), passando por Coronel José Dias, margeando o Parque Nacional Serra da Capivara e a outra, mais distante, através das PI-140/PI-141. A Foto 01 mostra uma vista parcial da região estudada.

3 - OBJETIVO

Caracterização hidroquímica do aquífero Cabeças e sua classificação, quanto ao íon dominante, parâmetros físicos e as diversas finalidades do uso de suas águas.

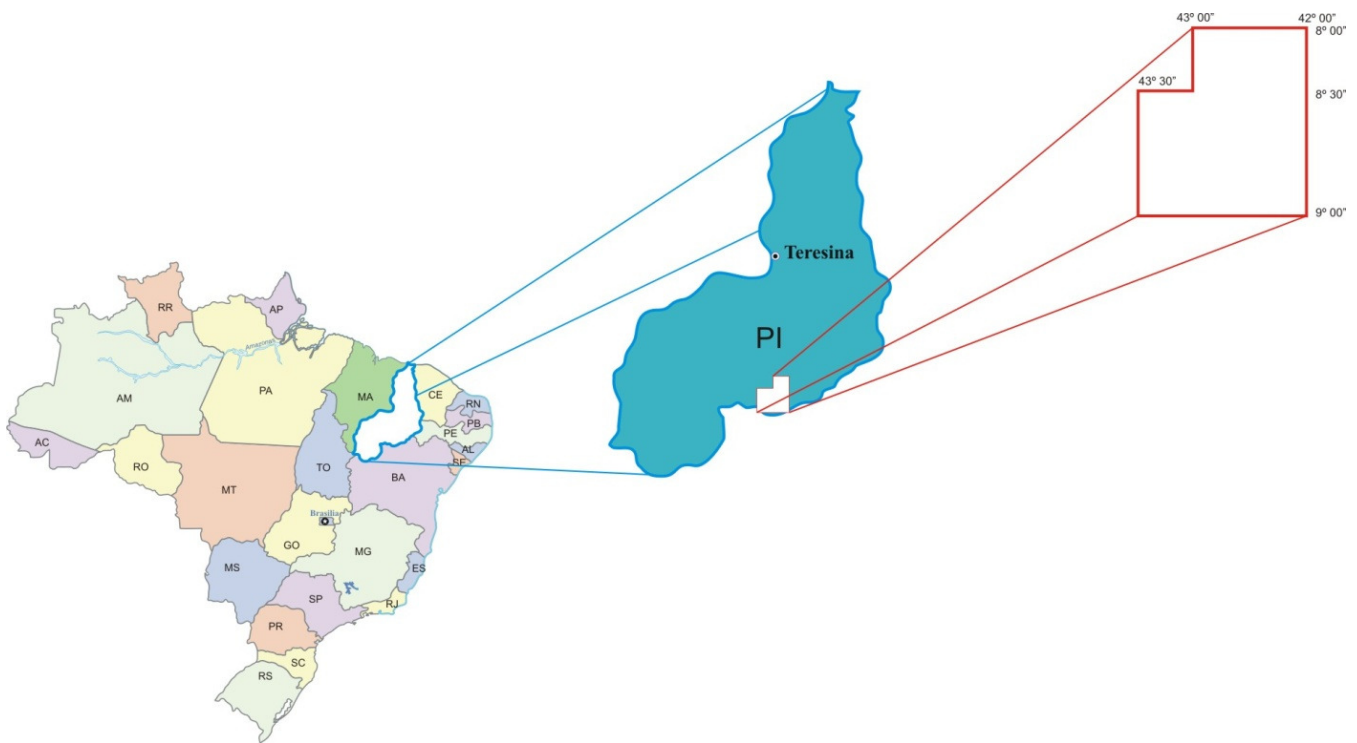


Figura 01 – Localização da Área de Estudo.



Foto 01 - Vista Parcial da Região Mostrando a Formação Cabeças.

4 - ASPECTOS GEOLÓGICOS

4.1 - Considerações Gerais

A Bacia Sedimentar do Parnaíba situa-se na porção nordeste ocidental brasileira, compreendendo territórios dos Estados do Piauí, Maranhão e Tocantins, além de porções restritas dos Estados do Ceará e Bahia. Ocupa uma área aproximada de 600.000 km², apresentando formato

poligonal alongado na direção NE-SW, com limites atuais erosivos que refletem as reativações tectônicas das estruturas de seu embasamento.

Góes et al. (1993) adotam como hipótese mais aceita para a implantação dessa bacia uma suposta fragmentação de um super continente no neoproterozóico, deixando como subproduto um megasistema de fraturas que deu início à construção da depressão intracratônica do Parnaíba, cuja espessura máxima do pacote sedimentar é cerca de 3.400m.

4.2 - Grupo Canindé

Denominação original utilizada por Rodrigues (1967) e Carozzi (1975) para agrupar as formações Pimenteiras, Cabeças e Longá. Caputo e Lima (1984) incluíram posteriormente neste grupo a formação Itaim. Em função de estudos mais recentes, incorporados à coluna estratigráfica, será adotada a proposta de Góes et al. (1992, apud Góes e Feijó, 1994), que redefiniram a unidade como representada pelas formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti. Para os objetivos deste estudo será descrita, apenas a formação Cabeças.

4.2.1 - Formação Cabeças

É a unidade geológica da Bacia Sedimentar do Parnaíba que ocupa a maior superfície aflorante em sua borda sudeste, distribuindo-se em larga faixa de direção NE-SW, podendo alcançar cerca de 75 km de largura na porção central da área investigada. Acompanha a linha de “*cuesta*”, através de uma faixa contínua, sobrepondo-se aos pelitos da formação Pimenteiras, culminando com o relevo escarpado que ajuda a sustentar o limite da bacia.

Aflora em todos os vales dos drenos que nascem no topo dos contrafortes da margem sedimentar e corre no sentido norte, até alcançar o rio Piauí pela margem esquerda. A maioria desses vales é profundo, encaixados em escarpas íngremes, sustentadas pelos arenitos dessa formação, onde podem medir cerca de 150m de espessura, notadamente no Baixão do Bate/Riacho dos Macacos, a sudoeste de Tamboril do Piauí. Forma todo o relevo do planalto arenoso da Serra de Bom Jesus do Gurguéia, entre as cidades de São Raimundo Nonato e Canto do Buriti, com cotas que variam de 360m a pouco mais de 600m.

As características das rochas dessa formação foram observadas e descritas em vários locais, pela equipe do Projeto Borda Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba (Correia Filho et al., prelo), cujos termos mais comuns são representados por arenitos rosados, cremes, esbranquiçados, amarronzados e marrons-avermelhados, acamadados, granulação fina a média, indo até grosseira, grãos subangulosos a arredondados, foscos, alguns pouco brilhosos, bem selecionados, bem estratificados, exibindo, freqüentemente, estratificação cruzada planar e ondulada, tanto de pequeno como de grande porte. Geralmente são micromicáceos, porosos, de boa permeabilidade e friáveis,

exibindo-se em grandes áreas de afloramentos, freqüentemente com intenso fraturamento ou sob a forma de “casco de tartaruga”, comuns na região. Na base e porção mediana do pacote ocorre alternância com siltitos e folhelhos arroxeados a rosados, micromicáceos e finamente acamadados, mormente no contato com a formação Pimenteira, assim como a presença de níveis conglomeráticos, com seixos de quartzo angulosos a subangulosos.

5 - ASPECTOS HDROGEOLÓGICOS

O aquífero Cabeças é a unidade hidrogeológica que ocupa a maior expressão geográfica na área investigada, distribuindo-se por toda sua porção norte, indo além de seus limites. Apresenta suave mergulho monoclinal para noroeste, em direção ao interior da bacia, onde repousa sobre os pelitos da formação Pimenteirias, sendo recoberto por extensos depósitos Terciário-Quaternários detrítico-lateríticos, muito importantes como manancial de trânsito na alimentação do aquífero, durante o período chuvoso. Seu comportamento hidrodinâmico é predominantemente de aquífero livre, passando a confinado na parte noroeste da área, na região de Canto do Buriti, onde está sotoposto pelos sedimentos argilosos da formação Longá.

6 - ASPECTOS HIDROQUÍMICOS

6.1 - Considerações Gerais

Do total de 930 poços cadastrados na área do Projeto Borda Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba, pelo Projeto Cadastro de Fonte de Abastecimento por Água Subterrânea (CPRM 2004), só foi possível selecionar 54 no aquífero Cabeças, cujas amostras coletadas forneceram igual número de resultados de análises físico-químicas. Desse total, 30 análises foram feitas pela UFC (Universidade Federal do Ceará) e 24 pela CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará). Os poços considerados estão localizados nos municípios de Brejo do Piauí (CE033, CE103, CE107, CE221, CE223), Canto do Buriti (CE230, GU148, GU172, GU176, GU209, GU293, GU314, GU782, GU783), João Costa (CE034, CE035, CE340, CE342), Nova Santa Rita (CE245, CE247, CE279, CE280, CE407, CE412, CE417, CE436, CE445), Pajeú do Piauí (GU036, GU052, GU220), Pedro Laurentino (CE026, CE329, CE306, CE331), Ribeira do Piauí (GU543, GU729, GU736, GU737), São João do Piauí (CE028, CE655, CF093) e Tamboril do Piauí (GU605, GU616, GU617, GU618, GU623, GU627, GU629, GU633).

Inicialmente foi realizada a complementação das análises incompletas pela ausência dos íons HCO_3 (bicarbonato) e CO_3 (carbonato). Para cálculo destes íons foram utilizadas as fórmulas de Logan (1965), baseadas na alcalinidade total e no pH como segue:

a) para o Bicarbonato

$$\text{HCO}_3 = \frac{[(\text{Alcalinidade Total}) + 10^{3-\text{pH}} - 10^{\text{pH}-11}]}{1 + (9,38 \times 10^{\text{pH}-11})} \quad (1)$$

b) para o Carbonato

$$\text{CO}_3 = (\text{HCO}_3) \times 9,38 \times 10^{\text{pH}-11} \quad (2)$$

Onde o bicarbonato, carbonato e a alcalinidade total são expressos em meq/L e depois, transformados em mg/L.

O segundo critério de avaliação consistiu no cálculo do coeficiente de erro dos resultados das análises químicas, estimado através do balanço iônico, tendo como base que numa análise química completa, a concentração total de cátions deve ser aproximadamente igual à de ânions.

Considera-se o valor de $e\%=10$ como valor máximo de erro para que a análise esteja correta. As principais causas dos valores maiores que 10 foram devidos a análises incompletas, erros analíticos e erros de cálculos. Das 54 análises apenas 5 apresentaram erro percentual superior a 10 % representando 9,26% do total e não foram considerados no estudo. O Quadro 01 mostra uma síntese dos dados utilizados neste trabalho, com os erros das análises. Os cátions, ânions, sólidos totais dissolvidos (STD) e dureza total (DT) estão em mg/L e a condutividade elétrica (CE) em $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Após a análise de consistência dos dados e descarte das amostras com erro foi realizado um estudo estatístico dos parâmetros físico-químicos, objetivando a caracterização hidroquímica do aquífero. As águas do aquífero Cabeças foram classificadas, quanto ao íon dominante, quanto a parâmetros físicos e quanto ao uso.

A Classificação Iônica serve para identificar a água com relação aos íons dominantes, tanto de ânions como de cátions. Diz-se que certos íons são dominantes quando sua concentração ultrapassa 50% da soma em miliequivalentes de todos os íons monovalentes. Se os íons têm valores menores ou iguais a 50% da soma em miliequivalentes de todos os íons monovalentes, então a água é denominada de acordo com os ânions e cátions mais abundantes. Para classificar a água, quanto aos íons dominantes, foi elaborado o Diagrama de Piper e representados os resultados em gráficos circulares.

Quanto aos Parâmetros Físicos classificou-se a água do aquífero com relação aos Sólidos Totais Dissolvidos (STD), a Dureza Total (DT) e o pH.

Quadro 01 – Síntese dos Dados Utilizados.

<i>COD</i>	<i>mE</i>	<i>mN</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>Fe</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>SiO₂</i>	<i>STD</i>	<i>DT</i>	<i>CE</i>	<i>PH</i>	<i>e%</i>
CE033	0755369	9063162	0,5	2,10	4,0	1,0	ND	7,4	ND	2,0	6,0	0,9	10,9	23,1	10,0	31,4	5,57	8,92
CE221	0745888	9062125	3,2	1,90	4,0	4,0	ND	22,2	ND	1,0	7,9	1,2	11,2	45,8	16,0	58,0	5,69	1,27
CE230	0734192	9102680	6,4	4,8	5,0	5,0	ND	50,5	ND	1,1	6,0	0,5	12,6	78,9	36,0	92,1	6,63	1,91
GU148	0726289	9096236	9,6	6,7	5,0	7,0	ND	70,2	ND	1,1	4,0	0,3	12,5	103,9	52,0	130,4	6,83	5,17
GU172	0727481	9101762	6,4	5,8	5,0	3,0	ND	41,9	ND	1,1	11,9	0,6	13,8	75,1	40,0	110,5	6,04	2,12
GU209	0727788	9108059	2,4	1,9	4,0	3,0	ND	24,6	ND	0,5	6,4	0,6	11,8	42,8	14,0	49,3	5,81	6,01
GU314	0721135	9106403	4,0	4,3	4,0	6,0	ND	34,5	ND	1,1	9,9	0,8	12,9	65,1	28,0	76,3	6,56	0,75
CE034	0764330	9062278	26,4	16,8	40,0	10,0	ND	110,9	ND	1,6	97,3	5,9	13,4	308,6	136,0	520,0	7,29	1,07
CE340	0784363	9055909	72,8	17,8	27,0	58,0	ND	19,7	ND	348,5	47,6	0,3	23,5	592,1	256,0	832,0	7,17	7,00
CE245	0829315	9095100	25,6	22,1	8,0	13,0	ND	219,3	ND	6,8	17,9	0,2	11,0	313,1	156,0	381,0	8,01	5,81
CE279	0818500	9099483	37,4	55,3	49,0	42,0	ND	25,0	ND	297,4	148,9	8,4	56,3	663,6	324,0	989,0	7,10	5,79
CE280	0818303	9101883	18,7	28,2	88,0	40,0	ND	59,1	ND	227,1	93,3	6,1	57,3	560,7	164,0	816,0	7,30	1,37
CE407	0819272	9108795	19,2	6,7	18,0	16,0	ND	93,6	ND	10,7	31,8	1,3	18,2	210,8	76,0	291,0	7,48	0,89
CE412	0822001	9113295	1,6	2,9	5,0	5,0	ND	20,2	ND	1,1	6,0	4,3	20,3	45,0	16,0	65,2	7,24	5,66
CE445	0823954	9099383	33,6	26,9	38,0	21,0	13,3	220,6	ND	1,1	53,6	5,2	10,6	412,8	196,0	594,0	8,30	4,16
GU052	0738138	9107453	0,3	1,7	5,0	2,0	ND	7,4	ND	0,8	11,9	0,1	11,8	29,5	8,0	56,5	4,88	5,60
CE026	0811486	9086681	41,6	10,6	4,0	5,0	ND	172,5	ND	23,0	4,0	ND	11,4	261,2	148,0	322,0	7,66	2,54
CE329	0800898	9110704	21,2	56,4	23,0	27,0	6,1	183,6	6,1	233,	31,8	ND	10,5	582,6	288,0	715,0	7,91	9,64
CE417	0828382	9110174	230,4	583,7	485	120,0	1,59	239,0	33,9	1,3	2273,1	19,6	17,5	3986	3008,0	5420,0	8,39	9,47
CE331	0796475	9109043	9,6	5,8	9,0	10,0	ND	29,6	ND	1,1	33,7	3,3	42,9	102,9	48,0	182,2	7,41	4,72
GU737	0758841	9112379	0,8	1,9	8,0	1,0	ND	2,5	ND	1,0	17,9	2,5	11,0	36,2	10,0	95,6	4,42	0,26
CE655	0795709	9086083	37,6	9,6	9,0	13,0	ND	150,3	ND	20,5	33,7	0,5	14,6	274,6	134,0	391,0	7,18	6,24
CE028	0811486	9086681	26,4	13,0	24,0	12,0	ND	138,0	2,4	1,3	37,7	4,0	12,0	258,9	120,0	363,0	7,69	4,25
GU616	0720411	9066029	20,8	21,1	17,0	19,0	ND	135,5	ND	1,3	69,5	2,9	19,4	287,5	140,0	456,0	6,91	2,56
GU617	0720874	9072695	16,8	8,2	15,0	12,0	0,16	103,5	ND	2,3	23,8	2,1	28,5	183,6	76,0	261,0	6,10	1,16
GU623	0725861	9084408	6,4	5,8	5,0	7,0	ND	39,7	ND	2,7	9,9	4,5	36,5	80,6	40,0	116,1	5,93	2,49
GU627	0723826	9075476	2,4	2,4	2,0	3,0	ND	22,2	ND	1,1	4,0	0,2	14,8	37,1	16,0	43,80	5,96	1,91
GU629	0732210	9075275	38,4	16,3	15,0	28,0	0,1	283,4	ND	2,1	11,9	ND	19,7	395,1	164,0	457,0	7,53	4,13
GU605	0725596	9068707	4,0	2,4	9,0	6,0	0,1	22,2	ND	1,1	21,8	1,0	12,8	67,0	20,0	112,8	5,32	3,08

Continuação do Quadro 01.

<i>COD</i>	<i>mE</i>	<i>mN</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>Fe</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>Cl</i>	<i>NO₃</i>	<i>SiO₂</i>	<i>STD</i>	<i>D, T⁽¹⁾</i>	<i>CE</i>	<i>PH</i>	<i>e%</i>
CE107	0757545	9089643	2,4	2,8	4,1	2,1	1,59	21,94	0,013	5,07	10,0	1,72	1,72	34,0	18,0	65,0	7,11	7,51
CE103	0747504	9095263	4,8	2,8	5,8	2,9	0,09	11,02	0,001	3,67	12,0	3,48	3,48	45,0	24,0	86,0	6,16	10,00
CE223	0754059	9106567	16,8	7,6	10,0	6,6	0,2	67,61	0,327	19,79	9,0	0,89	0,89	99,0	74,0	191,0	8,02	7,33
GU176	0731750	9098329	22,4	10,5	7,3	8,2	0,15	104,36	0,277	4,68	10,0	1,46	1,46	125,0	100,0	241,0	7,76	8,88
GU293	0726086	9104381	1,6	3,8	6,3	3,3	0,08	10,56	0,000	5,11	9,0	4,35	4,35	44,0	20,0	84,0	4,48	10,00
GU783	0799256	9058758	2,4	2,8	3,0	15,2	0,1	42,49	0,096	5,36	2,0	1,68	1,68	38,0	18,0	73,0	7,69	0,10
GU782	0801175	9057422	2,4	2,8	3,0	13,1	0,09	32,82	0,055	4,29	3,0	1,77	1,77	37,0	18,0	71,0	7,56	6,66
CE342	0784151	9060859	30,4	6,7	2,7	13,8	0,09	101,18	0,615	19,66	6,0	1,05	1,05	126,0	104,0	243,0	8,12	5,86
CE035	0767331	9062751	4,0	5,7	8,4	4,6	0,11	8,39	0,000	2,37	28,0	5,83	5,83	86,0	34,0	166,0	4,24	0,21
CE436	0823939	9105840	40,8	23,0	19,5	22,2	0,06	154,35	1,454	29,12	57,0	1,22	1,22	296,0	198,0	570,0	8,31	8,21
CE247	0826247	9091279	14,4	8,6	3,7	20,5	0,08	78,83	0,224	5,51	11,0	2,43	2,43	108,0	72,0	206,0	7,79	5,44
GU036	0742815	9105953	2,4	2,8	3,0	1,7	0,09	8,4	0,00	4,45	8,0	3,26	3,26	34,0	18,0	66,0	4,11	6,94
GU220	0732997	9114302	8,0	2,4	13,4	5,8	0,26	13,21	0,000	4,64	36,0	4,72	4,72	92,0	30,0	176,0	4,21	0,53
CE306	0788177	9105953	1,6	2,4	3,4	11,8	0,1	13,43	0,003	0,98	16,0	1,82	1,82	45,0	14,0	86,0	6,66	2,47
GU736	0762570	9111005	1,6	2,8	5,8	3,3	0,11	10,48	0,000	3,95	11,0	3,26	3,26	36,0	16,0	70,0	4,93	6,81
GU729	0773194	9098216	29,6	12,4	8,3	21,3	0,06	136,39	1,285	19,84	9,0	1,50	1,50	165,0	126,0	316,0	8,31	7,21
GU543	0777000	9096164	28,0	12,0	7,3	19,7	0,01	131,08	1,295	21,3	9,0	1,39	1,39	156,0	120,0	300,0	8,39	5,20
CF093	0763625	9082230	5,6	6,7	3,7	9,9	0,06	38,96	0,041	9,57	6,0	0,90	0,90	61,0	42,0	118,0	7,36	9,91
GU633	0731170	9063945	6,4	3,8	7,4	6,1	0,12	18,27	0,013	3,38	27,0	2,27	2,27	73,0	32,0	139,0	7,19	0,99
GU618	0732210	9075279	2,4	3,3	8,3	6,6	0,54	17,08	0,006	3,84	18,0	1,60	1,60	52,0	20,0	101,0	6,90	2,97

Sólidos Totais Dissolvidos (STD) é a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na água por unidade de volume. Representam todas as impurezas da água. O Quadro abaixo mostra a classificação da água, segundo Mcneely et al. (1979).

Quadro 02 - Classificação das Águas Subterrâneas, quanto ao STD.

Tipos de Água	Intervalo (mg/L)
Doce	≤ 1.000
Ligeiramente Salobra	1.000 - 3.000
Moderadamente Salobra	3.000-10.000
Salgadas	10.000 - 100.000
Salmouras	> 100.000

A dureza pode ser definida como a propriedade de dissipar sabão visto que em uma água dura a espuma não se produzirá, enquanto os sais minerais causadores da dureza não houver sido removidos pela sua combinação com o sabão. Deve-se, principalmente a presença de compostos de cálcio e magnésio, em geral sob a forma de carbonatos, sulfatos e cloretos. A dureza total é a soma da dureza temporária (dureza de carbonatos) com a dureza permanente (dureza de não carbonatos). O Quadro 03 mostra a classificação das águas subterrâneas, quanto à dureza total, segundo Custódio & Lhamas (1983).

Quadro 03 - Classificação das Águas Subterrâneas, quanto à Dureza Total.

CLASSE DE ÁGUAS	INTERVALO (mg/L de CaCO₃)
Branda	< 50
Pouco Dura	50-100
Dura	100-200
Muito Dura	> 200

O pH é a medida da concentração de íons H⁺ na água. O balanço dos íons hidrogênio (H⁺) e hidróxido (OH⁻) determinam se a água é ácida (pH<7), neutra (pH=7) ou básica (pH>7).

Quanto ao uso a água do aquífero foi classificada para consumo humano, agricultura, consumo animal e industrial.

Na classificação da água para consumo humano utilizou-se a Portaria nº 518/GM, do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004 (Quadro 04).

Quadro 04 - Padrão de Aceitação para Consumo Humano.

Parâmetro	Unidade	Vmp ⁽¹⁾
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	uH ⁽²⁾	15
Dureza	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Odor	-	Não objetável ⁽²⁾
Gosto	-	Não objetável ⁽²⁾
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1.000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	UT ⁽⁴⁾	5
Zinco	mg/L	5
Xileno	mg/L	0,3

(1) - Valor máximo permitido, (2) - Critério de referência.

Na determinação da água para agricultura adotou-se a classificação do United States Salinity Laboratory (USSL). Esta classificação se baseia na razão de adsorção de sódio (RAS) e na condutividade elétrica (CE) da água. As categorias de águas da classificação USSL são as seguintes:

- **C₀ - Águas de Muita Baixa Salinidade** - Podem ser utilizadas, sem restrição para agricultura.
- **C₁ - Águas de Salinidade Baixa** - Podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de incidentes quanto à salinização do solo.
- **C₂ - Águas de Salinidade Média** - Devem ser usadas com precaução, em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-siltosos, quando houver uma lixiviação moderada do solo. Os vegetais de fraca tolerância salina podem ser cultivados, na maioria dos casos, sem perigo.

• **C₃ - Águas de Alta Salinidade** - Só podem ser usadas em solos bem drenados. Apenas vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados.

• **C₄ - Águas de Salinidade Muito Alta** - Geralmente não servem para irrigação, todavia podem ser excepcionalmente utilizadas em solos arenosos, permeáveis, abundantemente irrigados. Apenas os vegetais de altíssima tolerância salina podem ser cultivados.

• **C₅ - Águas de Salinidade Extrema** - Utilizáveis apenas em solos excessivamente permeáveis e, unicamente para palmeiras.

• **S₁ - Águas Fracamente Sódicas** - Presta-se ao cultivo de quase todos os vegetais.

• **S₂ - Águas Medianamente Sódicas** - Podem ser utilizadas para solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica e com boa permeabilidade.

• **S₃ - Águas Altamente Sódicas** - Há perigo de formação de teores nocivos de sódio na maioria dos solos, salvo nos solos gipsíferos.

• **S₄ - Águas Extremamente Sódicas** - Geralmente imprestáveis para irrigação, salvo se a salinidade global é fraca ou pelo menos média.

Na determinação dos padrões para o consumo animal foi adotado a classificação de Logan (1965). Esta classificação é baseada nos valores de sólidos totais dissolvidos (Quadro 05).

Quadro 05 - Classificação das Águas para Consumo Animal.

Classe	STD (mg/L)
Boa	≤ 2.500
Satisfatória	2.500 - 3.500
Pobre	3.500 - 4.500
Insatisfatória	≥ 4.500

Devido a grande variedade de processos industriais foi realizado, apenas uma análise da qualidade da água para algumas indústrias, de acordo com Mathess (1982), Szikszay (1993) e Driscoll (1986) - Quadro 06.

6.2 - Análise Estatística dos Dados

Objetivando a caracterização hidroquímica do aquífero Cabeças foi realizado um estudo estatístico básico dos parâmetros físico-químicos, onde foram determinados os valores mínimo e máximo, média, mediana, moda, desvio padrão, o coeficiente de variação e as medidas de assimetria (Quadro 07).

Quadro 06 – Critério de Qualidade de Água para Indústria.

Parâmetro	Unidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH	-	-	-	7.5	-	6.5-7	-	8	-	-
Dureza	mg/L	50	180	50-80	30-100	50-75	25	50	50	100
Alcalinidade	mg/L	-	-	80-150			128	135	-	-
Cálcio	mg/L	-	-	500	20	200	-	-	10	-
Cloretos	mg/L	-	30	-	20	100	250	-	100	75
Ferro	mg/L	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.25	0.1
Manganês	mg/L	0.5	0.1	0.2	-	0.1	0.2	0.2	0.25	0.05
R.S.	mg/L	-	500	850	-	1000	850	-	-	200
Nitrato ⁽¹⁾	mg/L	-	30	15	-	10	-	-	-	-
Amônia ⁽²⁾	mg/L	-	traços	0.5	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	mg/L	-	60	-	20	-	250	-	100	-
Fluoretos	mg/L	-	-	1.0	-	1.0	1.0	-	-	-
Magnésio	mg/L	-	-	-	10	30	-	-	-	-

Notas:

1 - Águas de Refrigeração	6 - Ind. de Bebidas e Suco de Frutas
2 - Ind. de Laticínios	7 - Curtume
3 - Ind. de Conservas Alimentícias	8 - Ind. Têxtil
4 - Ind. Açucareira	9 - Ind. de Papel
5 - Cervejaria	

(1) – Como N, (2) – Como NH₃

Com exceção do pH, os valores observados demonstram uma variação bastante significativa dentro do aquífero estudado. Este fato fica bastante claro quando se observa o valor do coeficiente de variação maior que 50%, indicando uma grande dispersão em torno da média. Dessa maneira, a mediana é o valor mais representativo dos parâmetros para o aquífero e a distribuição é assimétrica positiva.

Com relação ao pH, os valores observados nas amostras variam de 4,1 a 8,4 tendo como média 6,7 e mediana de 7,2. O coeficiente de variação e o desvio padrão das amostras analisadas são respectivamente 1,2 e 18,4%, indicando uma baixa dispersão em torno da média. Como o coeficiente de variação é menor que 50%, a média é o valor mais representativo do pH para este aquífero. O conjunto de amostras tem como valor modal 4,70, ou seja, o valor mais freqüente encontrado. A distribuição é assimétrica negativa.

Quadro 07 – Análise Estatística dos Dados.

Parâmetro	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Média (mg/L)	Mediana (mg/L)	Moda (mg/L)	Desvio Padrão.	Coefficiente de Variação (%)
Ca	0,3	72,8	14,7	6,4	2,4	15,7	105,0
Mg	1,7	56,4	9,9	5,8	2,8	11,9	120,7
Na	2,0	88,0	12,2	7,3	5,0	15,2	124,9
K	1,0	58,0	12,0	7,6	5,0	11,6	96,1
Fe	0,01	3,3	0,3	0,1	0,1	0,7	223,6
Al	0,01	0,2	0,07	0,03	0,01	0,08	116,7
HCO₃	2,5	283,4	68,0	39,0	22,2	68,3	100,5
CO₃	0,001	13,3	1,5	0,25	0,013	3,3	215,2
SO₄	0,5	348,5	29,1	3,8	1,1	78,0	267,8
Cl	2,0	148,9	23,1	11,9	6,0	28,1	121,4
NO₃	0,1	8,4	2,3	1,7	0,9	1,9	83,4
NO₂	0,02	2,3	0,3	0,1	0,2	0,6	196,4
SiO₂	10,5	57,3	19,4	12,9	11,8	13,5	69,5
NH₃	0,08	0,52	0,27	0,32	0,33	0,15	55,4
STD	23,1	663,6	161,8	86,0	45,0	169,0	104,5
Dur. Total	8,0	324,0	78,5	40,0	16,0	78,8	100,3
Alcal. Total	2,0	232,3	56,4	30,0	18,2	58,0	102,8
CE (µS/cm)	31,4	989,0	245,2	139,0	86,0	234,4	95,6
pH	4,1	8,4	6,7	7,2	7,7	1,2	18,4

O poço CE417, localizado na fazenda Ouro Verde, município de Nova Santa Rita, constitui uma anomalia dentro do aquífero e não foi considerado na análise estatística por se tratar de uma amostra pontual, com dados de origem duvidosa.

6.3 - Classificação das Águas

6.3.1 - Classificação Iônica

De acordo com a classificação de Piper (Figura 02) observa-se que as águas do aquífero Cabeças apresentam 10 tipologias (Figura 03), com predominância da bicarbonatada mista que alcança 45% do total.

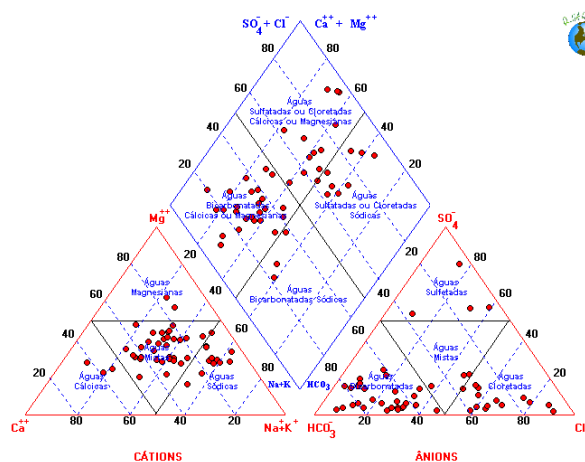


Figura 02 – Diagrama de Piper para Classificação das Águas do Aquífero Cabeças.

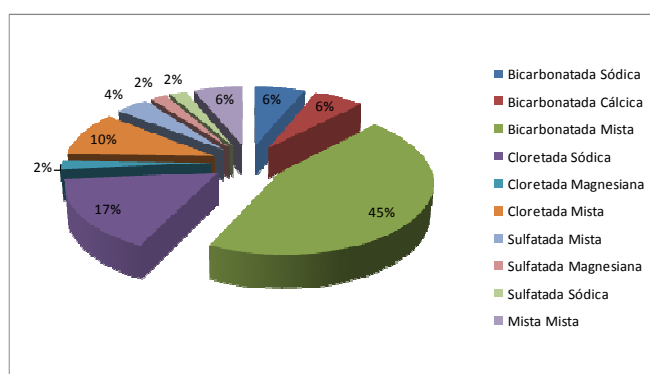


Figura 03 – Gráfico Circular com as Tipologias das Águas do Aquífero Cabeças.

6.3.2 - Classificação Quanto aos Parâmetros Físicos

• **Sólidos Totais Dissolvidos (STD)** – Pela análise estatística (Quadro 07) observa-se que o STD varia entre 23,1 mg/L no poço da localidade de Angical, município do Brejo do Piauí e 663,6 mg/L no poço da localidade de Umbuzeiro, município de Nova Santa Rita, sendo classificada como água doce de acordo com Mcneely et al. (1979) - Quadro 02.

• **Dureza Total** - O resultado obtido (Figura 04) mostra, de acordo com a classificação de Custódio & Lhamas – 1983 (Quadro 03), que a maioria das águas do aquífero Cabeças (53%) se enquadra no intervalo de dureza branda, embora ocorram águas pouco dura (10%), dura (29%) e muito dura (8%). O Quadro 07 mostra que a dureza em mg/L varia de 8,0 (poço da localidade Baixa Grande, município de Pajeú do Piauí) a 324 (poço da localidade Umbuzeiro, município de Nova Santa Rita), com média de 78,5 e mediana de 40, ficando dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano, recomendado pelo Ministério da Saúde (Portaria MS 518/2004), cujo valor máximo recomendado é de 500 mg/L de CaCO₃.

• **pH** – O aquífero Cabeças apresenta águas que variam de ácidas (44,9%), tendo como valor mínimo 4,1, na localidade Santa Virgem, município de Pajeú do Piauí, a básicas (51,0%) com valor

máximo de 8,4, na localidade Patos, município de Ribeira do Piauí. Apenas 4,1 % das águas foram classificadas como neutras, encontradas nas localidades Umbuzeiro e Morro do Império, municípios de Nova Santa Rita e Brejo do Piauí, respectivamente. O valor médio obtido, de 6,7, encontra-se dentro do limite de potabilidade para consumo humano, recomendado pela Portaria MS 518/2004 que é entre 6,0 e 9,5 e se enquadra como águas levemente ácidas.

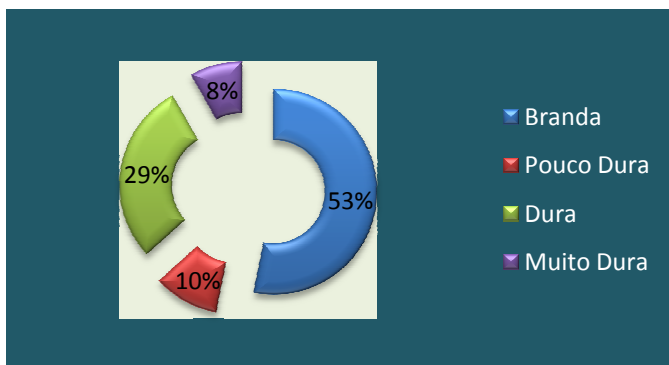


Figura 04 – Dureza das Águas do Aquífero Cabeças.

6.3.3 - Classificação Quanto ao Uso

Consumo Humano

Para análise da adequação das águas do aquífero Cabeças ao consumo humano utilizou-se a Portaria MS 518, de 25 de março de 2004 (Quadro 04).

Observa-se que os teores de alumínio (Al), amônia (NH₃), sódio (Na), cloreto (Cl), sulfato (SO₄), sólidos totais dissolvidos (STD) e dureza (Quadro 07 e Figuras 05, 06 e 07) para a área estudada se encontram dentro dos limites de potabilidade, de acordo com a Portaria MS 518/2004 (Quadro 04). Com relação a concentração de ferro (Fe), a grande maioria das amostras analisadas (88,5%) encontra-se dentro dos limites de potabilidade (Quadro 04 e Figura 05).

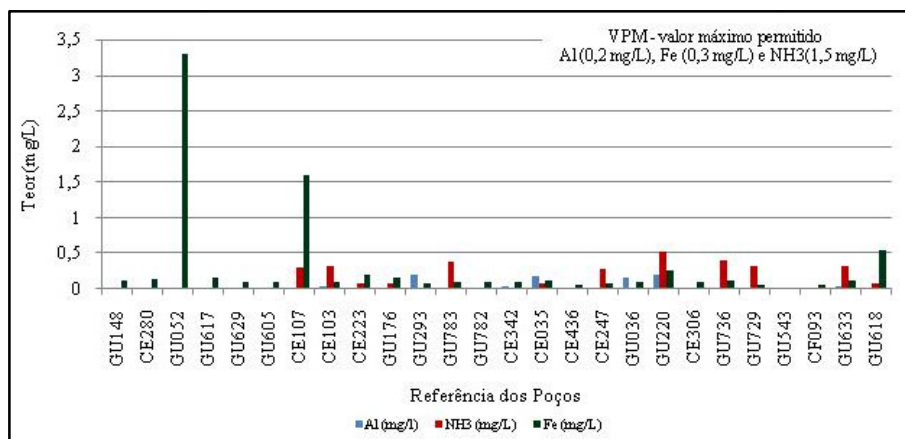


Figura 05 – Gráfico, Ilustrando as Concentrações em mg/L de Alumínio, Amônia e Ferro.

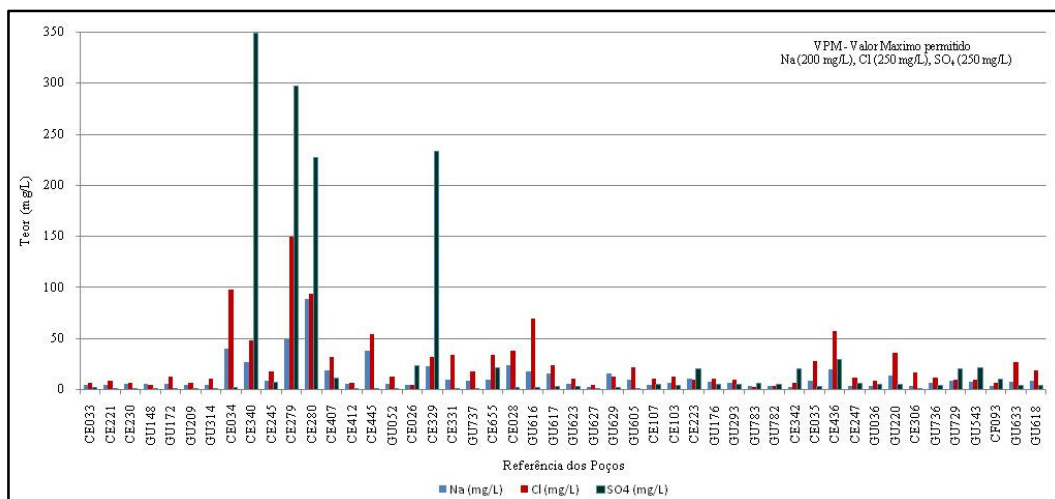


Figura 06 – Gráfico, Ilustrando as Concentrações em mg/L de Sódio, Cloreto e Sulfato.

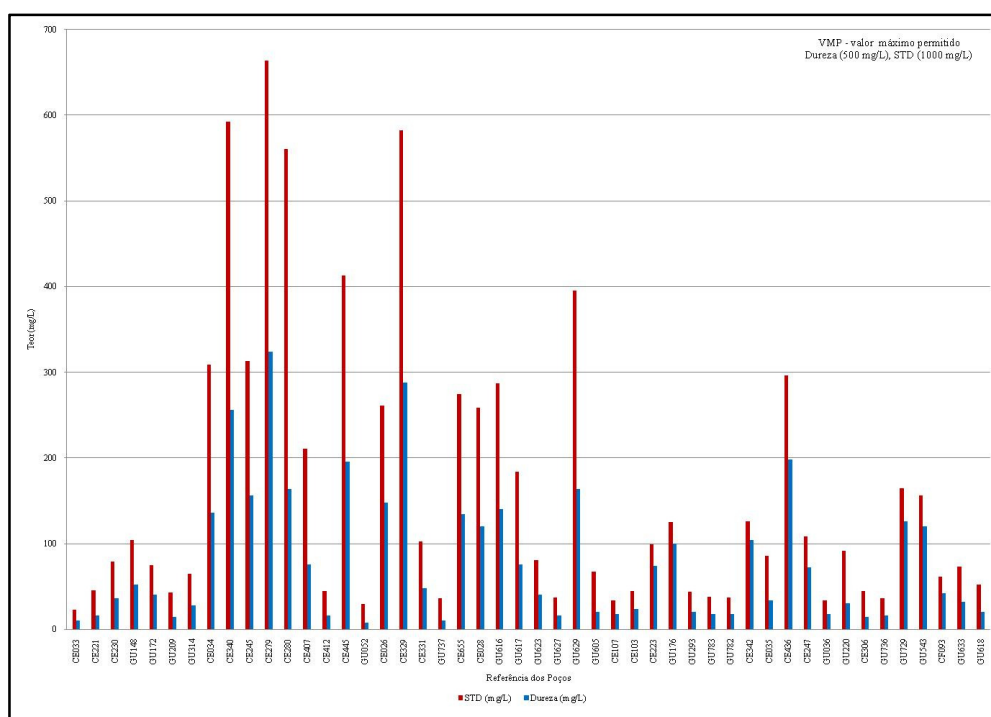


Figura 07 – Gráfico, Ilustrando as Concentrações em mg/L de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e Dureza Total.

Consumo Agrícola

Utilizando a metodologia do *United States Salinity Laboratory (USSL)* que classifica a água subterrânea de acordo com os efeitos que a mesma pode causar no solo e nos vegetais, o aquífero Cabeças apresenta cinco tipos de águas para uso agrícola (Figuras 08 e 09):

- **S₀S₁ (34,7%)** – Águas de muito baixa salinidade e fracamente sódicas. Presta-se ao cultivo de quase todos os vegetais e podem ser utilizadas, sem restrição para a agricultura.

- **C₁S₁ (28,6%)** – Águas de salinidade baixa e fracamente sódicas. Podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, em quase todos os solos, com baixo risco de incidentes quanto a salinização e formação de teores nocivos de sódio.

• **C₂S₁ (28,6%)** – Águas de salinidade média e fracamente sódicas. São águas que devem ser utilizados em solos siltico-arenosos, siltosos ou areno-argilosos. Os vegetais de fraca tolerância salina podem ser cultivados, sem problemas.

• **C₃S₁ (6,1%)** – Águas de alta salinidade e fracamente sódicas. Apenas vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados.

• **C₅S₂ (2,0%)** – Águas de salinidade excepcionalmente alta e medianamente sódicas.

A maioria das águas classificadas é de boa qualidade para agricultura (91,9 %) e, apenas 8,1 % são águas de salinidade alta (6,1%) a muito alta (2,0%) que representam risco ao solo e a maior parte das culturas. É importante frisar que a classificação C₅S₂ não é representativa do aquífero Cabeças, fato já comentado anteriormente. Contudo, por se tratar de uma amostra isolada, pontual, sem representatividade regional (Poço CE 417) foi desconsiderada como parte integrante do aquífero até estudos posteriores, mais detalhados, com coleta de água em poços tubulares adequadamente construídos.

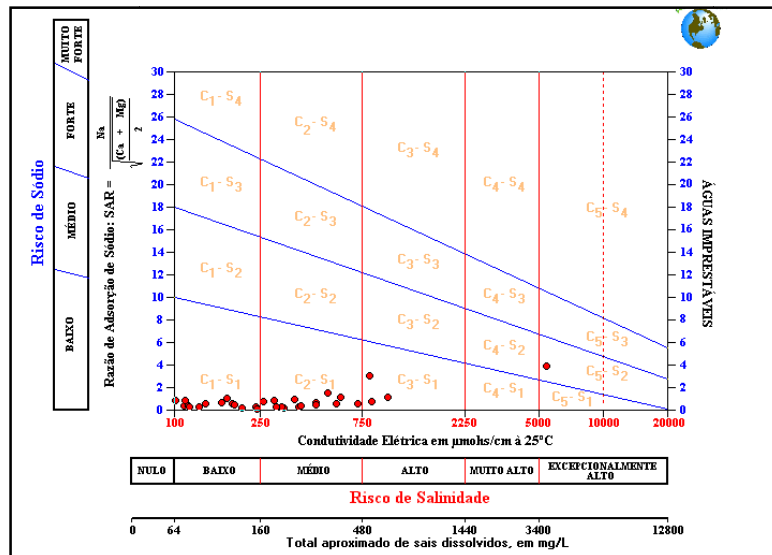


Figura 08 – Classificação das Águas do Aquífero Cabeças para Agricultura, segundo o *United States Salinity Laboratory (USSL)*.

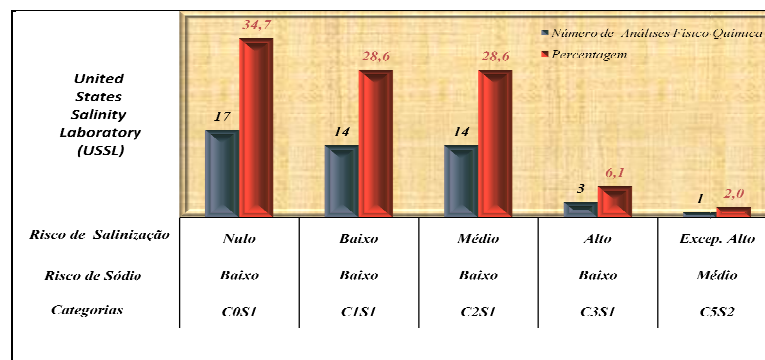


Figura 09 – Resumo da Classificação da Água do Aquífero Cabeças para a Agricultura.

Consumo Animal

As águas do aquífero Cabeças servem para consumo de qualquer tipo de animal, de acordo com a classificação de Logan (1965) – Quadro 05.

Consumo Industrial

Os requisitos de qualidade de águas para a indústria são função de sua tipologia e dos processos envolvidos. Conseqüentemente, critérios específicos são definidos para cada indústria. De modo geral, uma água compatível para consumo humano é similar, em vários aspectos, a qualidade de água para a indústria. É importante salientar que não se trata de um estudo de águas voltado para a implantação de indústrias na região. As análises físico-químicas não tiveram o caráter específico de pesquisa para nenhuma tipologia industrial, existente no Quadro 06, onde parâmetros importantes como manganês e fluoreto não foram determinados. Este fato não inviabiliza a instalação de qualquer indústria nos municípios de Brejo do Piauí, Canto do Buriti, João Costa, Nova Santa Rita, Pajeú do Piauí, Pedro Laurentino, Ribeira do Piauí, São João do Piauí e Tamboril do Piauí, devendo qualquer empreendedor realizar estudos mais detalhados e direcionados à indústria que deseja instalar. Indústrias de suco de frutas, laticínios e alimentícias podem ser instaladas sem muitas restrições.

7. CONCLUSÕES

- A formação Cabeças é constituída de arenitos rosados, cremes, esbranquiçados, amarronzados e marrons-avermelhados, acamadados, granulação fina a média, indo até grosseira, grãos subangulosos a arredondados, foscos, alguns pouco brilhosos, bem selecionados. Na base e porção mediana do pacote ocorre alternância de siltitos e folhelhos arroxeados a rosados, micromicáceos e, finamente acamadados.
- O aquífero Cabeças é a unidade hidrogeológica que ocupa a maior superfície da área. Seu comportamento hidrodinâmico é predominantemente de aquífero livre, excetuando-se na porção noroeste, na região de Canto do Buriti, onde se comporta como confinado, uma vez que é recoberto por sedimentos argilosos da formação Longá.
- Foram analisados dados de qualidade de água de 54 amostras, realizado balanço iônico e descartadas 5 amostras com erro superior a 10%.
- Foi realizada uma análise estatística dos dados, como suporte à caracterização hidroquímica do aquífero Cabeças. Os valores observados, com exceção do pH, mostraram uma variação bastante significativa, dentro do aquífero, com coeficiente de variação maior que 50%, indicando uma grande dispersão em torno da média, sendo a mediana o valor mais representativo dos parâmetros para este aquífero.

- A classificação iônica efetuada, através do diagrama de Piper, indica que existem 10 (dez) tipologias de águas, com a predominância de bicarbonatada mista (45%).
- Quanto aos sólidos totais dissolvidos (STD), a água do aquífero Cabeças pode ser classificada como água doce.
- A maioria das águas do aquífero Cabeças (53%) se enquadra no intervalo de dureza branda, embora ocorram águas pouco dura (10%), dura (29%) e muito dura (8%).
- De acordo com o pH, o aquífero Cabeças apresenta águas que variam de ácidas (44,9%), a básicas (51,0%). Apenas 4,1 % das águas foram classificadas como neutras. O valor médio de 6,7 encontrado está dentro do limite de potabilidade para consumo humano, recomendado pela Portaria MS 518/2004.
- Os resultados das análises físico-químicas mostram que a água do aquífero Cabeças encontra-se dentro dos limites de potabilidade para consumo humano, recomendados pela Portaria 518 do Ministério da Saúde de 25/03/2004, excetuando-se o teor de ferro nas localidades de Ponto D'água (Tamboril do Piauí), Morro do Império (Brejo do Piauí) e Baixa Grande (Pajeú do Piauí).
- A maioria das águas classificadas (91,9 %) é de boa qualidade para agricultura e, apenas 8,1 % são águas de salinidade alta (6,1%) a muito alta (2,0%) que representam risco ao solo e a maior parte das culturas.
- De acordo com a classificação de Logan (1965) as águas do aquífero Cabeças servem para consumo de qualquer tipo de animal.
- As análises físico-químicas realizadas são genéricas e não forneceram elementos suficientes para a definição de parâmetros hidroquímicos que viabilizem a implantação de indústrias na região. Entretanto, indústrias de suco de frutas, laticínios e alimentícia podem ser instaladas, com poucas restrições.

8. RECOMENDAÇÕES

- Enquadrar as águas do aquífero Cabeças, de acordo com a Resolução CONAMA nº 396/08, que *“dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências”*.
- Implementar, por parte do órgão gestor, a Lei Estadual de Recursos Hídricos, Lei 5.165/2000, a fim de fazer o seu gerenciamento e conter os desperdícios desse bem tão precioso e vital ao desenvolvimento do Estado do Piauí.
- Adicionar, doravante, no pedido de análises físico-químicas das águas dos poços que se inclua o manganês, amônia e fluoretos, pois são parâmetros importantes na definição de água para diversas tipologias de indústrias.

- Para a implantação de indústrias na região estabelecer uma amostragem criteriosa das águas do aquífero Cabeças, solicitando no pedido de análises parâmetros que definam as tipologias específicas, exigidas para tal finalidade.
- Implementar a fiscalização na perfuração de poços tubulares no estado, pelo órgão gestor dos recursos hídricos.
- Estabelecer, uma fiscalização permanente dos poços tubulares na região, através do órgão gestor dos recursos hídricos do Estado do Piauí.

10. BIBLIOGRAFIA

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAUDE, PORTARIA n° 518/GM, 2004. Norma de Qualidade de Água Para Consumo Humano. Brasília.

CAROZZI, A. V. et al., 1975. Análise ambiental e evolução tectônica sinsedimentar da seção siluro-eocarbonífera da bacia do Maranhão. Rio de Janeiro: Petrobrás. 48 p.

CAPUTO, M. V.; LIMA, E. C., 1984. Estratigrafia, idade e correlação do grupo Serra Grande, bacia do Parnaíba. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, v.2, p.740-53.

CORREIA FILHO, F. L.; et al. Projeto Borda Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba. CPRM. Teresina. Prelo.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2004. Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Estado do Piauí. Fortaleza: CPRM; PRODEEM. 1 CD-ROM. Projeto Cadastro de Fontes Abastecimento por Água Subterrânea.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R., 1983. Hidrologia Subterrânea. Ed. Omega, 2ª ed. Barcelona.

DRISCOLL, F. G., 1986. Groundwater and Wells. 2ª ed. H. N. Smyth Comp. Inc. Minnesota.

GOÉS, A. M. de O.; TRAVASSOS, W. A. S.; NUNES, K. C., 1993. *Projeto Parnaíba: reavaliação da bacia e perspectivas exploratórias*. Belém.

GÓES, A. M. de O.; FEIJÓ, F. J., 1994. Bacia do Parnaíba. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 8, p. 57-67.

LOGAN, j., 1965. Interpretação de Análises Químicas da Água. US. Agency for International Development. Recife.

MCNEELY, R. N.; NEIMANIS, V. P.; DWYER, L., 1979. Water Quality Sourcebook; A Guide to Water Quality Parameters. Ottawa, Canadá. 89 p.

MATHESS, G., 1982. The Properties of Groundwater. 1 ed. USA: Jonh Viley & Sons. 406 p.

RODRIGUES, R., 1967. Estudo sedimentológico e estratigráfico dos depósitos silurianos e devonianos da bacia do Parnaíba. Belém: Petrobrás. 49p.

SZICKZAY, M., 1993. Geoquímica das Águas. Boletim IG, n.5, São Paulo.