



IV- 106. QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ESTAÇÕES DE ESTIAGEM NA BACIA SEDIMENTAR DO RIO DO PEIXE-PB

Kiosthenes Moreira Pinheiro⁽¹⁾

Engenheiro Civil – UFCG (Universidade Federal de Campina Grande/PB) e mestrando em Engenharia Civil Ambiental (Área de concentração em Recursos Hídricos e Ambiental) pela Universidade Federal de Campina Grande/PB.

José Rosenilton de Araújo Maracajá⁽²⁾

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental (Área de Concentração em Recursos Hídricos e Ambiental) – UFCG (Universidade Federal de Campina Grande. Engenheiro Civil pela UFCG. Pesquisador na área de Hidrogeologia da UFCG.

Ronaldo Justino de Araújo Júnior⁽³⁾

Graduando em Ciências Biológicas, Licenciatura e Bacharelado pela Universidade Estadual da Paraíba – UEPB/PB. Bolsista PIBIC/PROINCI - UEPB

Janiro Costa Rêgo⁽⁴⁾

Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Professor/Pesquisador da Universidade Federal de Campina Grande.

Beatriz Susana Ovruski de Ceballos⁽⁵⁾

Doutora em Ciências, Área de Concentração em Microbiologia Ambiental, pela Universidade de São Paulo (USP). Mestre em Microbiologia e Imunologia pela UNIFESP. Professora/pesquisadora UFCG e professora/orientadora do Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental; áreas de concentração Engenharia Sanitária e Ambiental e Recursos Hídricos. Professora visitante e pesquisadora da UEPB/ CCBS/BIOLOGIA.

Endereço⁽⁵⁾: Rua Aprígio Veloso, 882, Bloco CV, Bodocongó, Campina Grande/PB. CEP:58109-000. Telefone: (083) 3310-1154 / 33101011. Residencial: Av. Edsoss ramalho 811, Apto 202. João pessoa/PB. CEP 58038-100.

e-mail: bsc@superig.com.br

RESUMO

A qualidade das águas subterrâneas da bacia sedimentar do Rio do Peixe são predominantemente bicarbonatadas sódicas e apresenta distribuição espacial e temporal heterogênea. Todos os poços estudados (45) tiveram contaminação fecal variando entre baixa e alta, havendo alguns poços com mais de 2.500 NMP *E.coli*/100mL. As chuvas contribuíram com a contaminação fecal do aquífero e com a diluição das espécies químicas logo após o período chuvoso embora com o avanço da época seca foi observado decréscimo dos coliformes termotolerantes e de *E.coli*. Não houve diferenças significativas entre a qualidade física e química das águas dos poços amazons e os tubulares. A análise de agrupamento mostrou que poços de qualidade semelhante se distribuem por toda a bacia, independente de sua formação geológica. Fatores endógenos e exógenos determinam as variações de qualidade, destacando-se duração da precipitação pluviométrica, usos e ocupação do solo da bacia de drenagem e a complexidade geológica da bacia, onde ocorreram variações espaciais e temporais de ambientes de sedimentação aluviais, lacustres ou lagunais.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade da água, água subterrânea, bacia sedimentar.

INTRODUÇÃO

A bacia sedimentar do Rio do Peixe, no semi-árido do estado da Paraíba, apresenta escassos estudos sobre seu potencial hídrico subterrâneo, assim como da qualidade de suas águas. Entretanto, sua exploração é crescente, para satisfazer as necessidades de consumo humano e para a irrigação de culturas, atividade importante para o desenvolvimento social e econômico da região. Estudos destas águas, nos seus aspectos quantitativos e qualitativos, vêm sendo realizados com a finalidade de aumentar a disponibilidade e contribuir com a gestão sustentável e integrada dos recursos hídricos desta bacia (Projeto “Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro” - MCT / Fundo Setorial de Recursos Hídricos / FINEP).



Os poucos trabalhos existentes sobre a qualidade das águas subterrâneas nessa bacia foram feitos com amostras pontuais que não levaram em consideração a época do ano das coletas (seca ou chuvosa) e referem-se, principalmente, ao seu conteúdo de sais, usando as concentrações de sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e composição iônica como parâmetros principais. Comparando estudos de Albuquerque (1986) e de Lima *et al* (2004), 18 anos depois, verifica-se aumento da salinidade destas águas e salinização dos solos. Faltam, por tanto, estudos sistemáticos sobre a variação qualitativa ao longo do tempo, incorporando nessa análise, a influencia do clima, caracterizado, na região semi-árida do Nordeste brasileiro, por períodos de chuvas que embora concentradas em poucos meses do ano, apresentam variabilidade espacial e temporal e são seguidos de longos períodos de estiagens. Todavia, essas águas foram classificadas como potáveis ou não potáveis com base na sua salinidade, sem estudos bacteriológicos complementares que respaldem essas afirmações. Destaca-se que a avaliação bacteriológica é essencial para águas de consumo humano, para as destinadas à irrigação irrestrita e a dessedentação animal (Portaria No 518/2004-MS; Resolução CONAMA No 357/2005).

Objetivou-se avaliar variações da qualidade física, química e bacteriológica, em duas estações secas, das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, no sertão paraibano, considerando-se poços tipo amazonas e tubulares distribuídos nas três diferentes formações aquíferas (Antenor Navarro, Sousa e Rio Piranhas) e aluvião, visando identificar possíveis associações entre essa qualidade e as condições climáticas, os efeitos de impactos antropogênicos e as características geológicas locais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nos períodos ago-nov/2005 e ago-nov/2006, foram realizadas coletas de amostras de águas subterrâneas de poços georeferenciados da bacia sedimentar do Rio do Peixe (1.300 km², 37° 40' 00'' e 38° 45' 00'' W; 06° 25' 00'' e 06° 55' 00'' Sul). Os critérios de escolha dos poços foram: a sua distribuição nas diferentes formações aquíferas da bacia (Antenor Navarro, Sousa, Rio Piranhas e Aluvial), tipo de poço (amazonas e tubular) e sua proximidade com fontes potencialmente poluidoras. Para este trabalho foram escolhidos os resultados de quatro campanhas de monitoramento referentes a dois períodos de estiagem (Ago-Nov/2005 a Ago-Nov/2006) e foram selecionados 45 poços, sendo 36 tubulares e 09 do tipo amazonas. As amostras foram analisadas para 20 parâmetros de qualidade, entre eles pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e dureza. A análise microbiológica foi realizada em apenas 20 poços, quantificando-se coliformes totais e *E.coli*. Os procedimentos analíticos seguiram as recomendações de APHA (1998). Informações de precipitação pluviométrica foram fornecidas pelo Laboratório de Meteorologia e Sensoriamento Remoto da UFCG. As atividades na bacia hidrológica foram levantadas *in loco* e os dados geológicos foram cedidos pela CPRM/UFCG (2005). Os resultados foram submetidos a análises de estatística básica, análises de variância ANOVA fator único e de agrupamento (SPSS 14.0 for Windows, Pereira, 1999), seguida pelo método gráfico GT2 de Hochberg's, de comparação múltipla das médias (Sokal & Rohlf, 1981).

RESULTADOS

Na bacia sedimentar do Rio do Peixe/PB as águas subterrâneas dos 45 poços selecionados se caracterizaram como duras e medianamente duras, bicarbonatadas e sódicas.

A comparação dos valores médios dos diferentes parâmetros entre as duas épocas secas (ago-nov/2005 a ago-nov/2006), separadas por um período de chuvas (que precedeu o segundo período seco) sugere que houve diluição das diferentes espécies químicas, evidenciada pelas menores concentrações nesse último período. Entretanto, os valores máximos de alguns parâmetros foram mais altos nessa segunda estação seca, destacando-se condutividade elétrica (até 3126,50 µS/cm), cloreto, potássio, ferro, alcalinidade de carbonatos e nitrito (Tabela 1).

No noroeste da sede do município de Sousa predominaram águas sulfatadas e sódicas, com altos valores de condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e salinidade, sob influencia da área petrolífera da vizinhança. Em ambas as épocas, houve teores elevados de sulfato e ferro em diversos poços. O valor médio de sulfato foi mais elevado na primeira época seca (2005) influenciado por alguns poços com valores extremos próximos à zona petrolífera. Já na segunda época seca (2006) o valor médio apresentou decréscimo acentuado (aproximadamente de 40%), mas a análise individual de cada poço mostrou que nessa época 54,5% desses poços tiveram maiores concentrações observadas no final do período.



Ferro esteve acima do VMP (0,3 g/L) para uso humano em 64,4% e 44,4% das amostras d'água para as estações secas de 2005 e 2006 respectivamente, indicando a diluição ocorrida com a chuva, embora houve aumento de seus valores no avanço do verão.

Tabela 1: Dados de estatística básica para os parâmetros de qualidade de águas de 45 poços da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, em agosto-novembro de 2005 e agosto-novembro de 2006.

Parâmetros físicos e químicos	agosto-novembro de 2005					agosto-novembro de 2006				
	Média	Mediana	Desv. Pad.	Míni	Máxi.	Média	Mediana	Desv. Pad.	Míni	Máxi.
pH	8,6	8,64	0,36	7,71	9,24	8,39	8,34	0,44	7,54	9,39
CE (µS/cm)	1126,23	930	653,67	43,5	2860	1011,39	810	675,94	202	3126,5
Ca ++ (mg/l)	30,64	25,2	35,8	5	225	32,24	23,9	30,56	2,8	146,1
Mg++ (mg/l)	20,43	14,4	25,86	2,76	169,44	18,51	12,3	20,63	1,2	115,98
Na + (mg/l)	232,98	181,47	190,66	29,44	1026,26	213,18	147,89	178,92	25,07	867,33
K+(mg/l)	4,46	3,51	3,26	0,19	13,65	4,96	2,73	9,37	0,39	62,21
Cloreto (mg/l)	165,29	115,21	150,14	13,12	604,42	137,11	85,08	153,37	12,76	800,86
Sulfato (mg/l)	96,04	36,96	227,77	1,92	1476,48	61,52	46,08	58,06	12,96	227,52
Ferro (mg/l)	0,63	0,39	0,6	0,07	2,37	0,39	0,23	0,47	0,07	3,11
Bicarbonato (mgCaCO3/l)	312,52	280,6	184,62	82,35	1116,3	305,29	278,77	155,74	20,13	880,23
Carbonato (mgCaCO3/l)	38,82	36	28,81	0	145,8	43,9	39	31,99	0	188,7
Alcalin. Carbonato (mgCaCO3/l)	61,24	59	43,25	0	243	70,53	65	52,76	0	314,5
Alcalin. Bicarbonato (mgCaCO3/l)	256,61	230	152,72	67,5	915	251,16	228,5	121,56	16,5	721,5
Alcalin.Total (mgCaCO3/l)	321,9	301,5	189,45	83,5	1065	323,53	300,75	142,66	105,5	920,5
Dureza (mgCaCO3/l)	160,23	126,25	172,68	28,75	973,12	183,24	116,56	172,49	27,19	785
Sólidos Dissolv.Totais (mg/l)	771,25	614,4	491,47	142	2784	657,46	498,5	436,27	129	2000,5
Amônia (mg/l)	1,29	0,28	6,22	0,04	42	0,95	0,73	0,54	0	3,18
Nitritos (mg/l)	0,03	0,01	0,04	0	0,22	0,1	0,02	0,25	0,01	1,12
Nitratos (mg/l)	2,23	0,18	11,18	0	75	0,91	0,2	2,09	0	9,74

As chuvas ocorridas entre as duas estiagens secas (aproximadamente 930 mm acumulados em 6 meses) influenciaram na qualidade das águas subterrâneas e, embora lixiviarão sais desde a bacia de drenagem, em parte ocupada com agricultura irrigada e criação de animais, a água percolada para o lençol freático teve efeito imediato, diluindo as concentrações dos parâmetros químicos estudados. Entretanto, com o avanço da segunda estação seca (2006) foi possível observar o acréscimo dos íons e em consequência da condutividade elétrica, expressados nos valores máximos elevados nessa segunda época. A composição química das próprias formações geológicas nas quais se insere esta bacia sedimentar (argilitos, arenitos consolidados e aluviões) teve também contribuição para o aumento da concentração de íons detectados em novembro da segunda época seca.

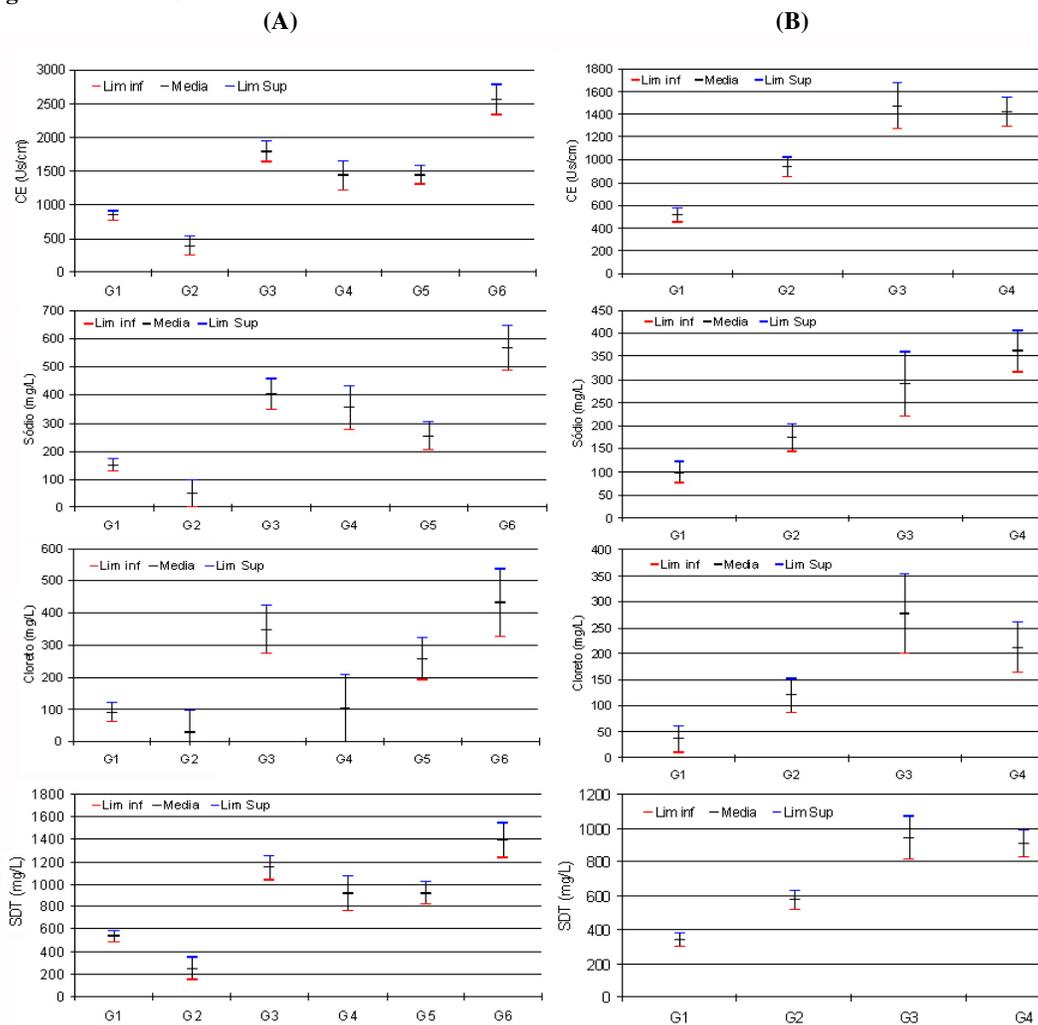
A análise de agrupamento evidenciou heterogeneidade qualitativa, considerando que os 45 poços se agruparam na primeira época seca, em 6 grupos de qualidade semelhante. Na segunda época seca as variações das concentrações dos diferentes parâmetros tenderam a diminuir a diversidade qualitativa e os agrupamentos se reduziram para 4.

O agrupamento principal (G1), embora nos dois períodos esteve formado por um número semelhante de poços distribuídos nas 4 formações geológicas (23 poços – 51% do total em 2005 e 22 poços – 49% do total em 2006), esteve constituído por poços diferentes, assim, poços que fizeram parte desse grupo na primeira época se integraram em outros agrupamentos ou ficaram isolados na segunda, indicando forte alteração qualitativa. O segundo agrupamento (G2), que na primeira estação seca esteve formado por 5 poços situados em 3 formações geológicas (Sousa, Antenor Navarro e aluvial), passou, na segunda, a conter 11 poços situados nas 4 formações geológicas. Numerosos poços da formação Sousa têm sua qualidade fortemente influenciada pela área dos poços de petróleo e apresentaram as maiores concentrações de sulfato, sódio e sólidos dissolvidos totais nas duas épocas.

A variação e dispersão qualitativa dos principais conjuntos de poços dos diferentes agrupamentos para as duas épocas são apresentadas nos gráficos GT2 das Figuras 1 (A) e (B).



Figura 1: Análises de gráficos GT2 (fator único) para os agrupamentos de 45 amostras de água de poços da Bacia Sedimentar de Rio do Peixe para os parâmetros: Condutividade elétrica (CE), Sódio, Cloreto, Sólidos dissolvidos totais (SDT) - A) período agosto-novembro/2005; B) período agosto-novembro/2006.



Observa-se, nas Figuras 1 (A) e (B) que para todos os parâmetros houve diluição no segundo período (2006), confirmando-se a influência da chuva, assim como a diminuição da diversidade de grupos de qualidade (de 6 para 4 agrupamentos). Na segunda época observa-se uma melhor discriminação dos agrupamentos para os parâmetros CE, sódio, cloretos e SDT. Já alcalinidade apresentou concentrações próximas nos 4 agrupamentos, sendo um dos parâmetros de qualidade que contribui para a distribuição dos poços nas várias formações geológicas da bacia, independente de seu agrupamento qualitativo.

Todas as amostras de água subterrânea apresentaram contaminação fecal, a qual foi mais elevada logo após as chuvas (agosto de 2006) nos poços tubulares e nos tipo amazonas (10% - > 1.000 NMP *E.coli*/100ml) e decresceu depois de transcorridos alguns meses secos (novembro de 2006), quando houve um rebaixamento médio relativo do nível estático de aproximadamente 93cm, ficando apenas 5% dos poços com alta concentração de *E.coli* (Tabelas 2 e 3).



Tabela 2: Concentração de coliformes totais e *E.coli* em poços da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe- PB, em agosto de 2006.

Cód. do Poço	CT (NMP/100ml)	<i>E.coli</i> (NMP/100ml)
P03A	1	1
Fonte Igapó	42,2	1
DV069	686,7	1
P146	2500	1
P230	209,8	31,6
P42	2500	112,6
DV916A	2500	211,7
CH061	2500	307,6
P159	2500	313
CD983	488,4	325,5
P151	2500	325,5
CH039	43,5	381,1
P201	2500	387,3
CM592	2500	552
P178	1986,28	579,4
CD 113	1046,24	920,8
CN992	2500	2500
DW665	2500	2500
P110	2500	2500
P27	2500	2500

Tabela 3: Concentração de coliformes totais e *E.coli* em poços da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe- PB, em novembro de 2006.

Cód. do Poço	CT (NMP/100ml)	<i>E.coli</i> (NMP/100ml)
P 03A	1	1
P 178	3	1
DV 069	11	1
CH 039	61,6	1
P 230	27,5	6,3
Fonte Igapó	9,5	7,3
P 146	2500	13,2
CH 061	29,2	15,8
CN 992	48,7	23,1
P 201	2500	44,3
DW 665	187,2	52
P 159	2500	60,5
P 42	186	71,4
P 151	2500	178,9
P 110	2500	365,4
CD 113	1413,6	547,5
DV 916A	2500	727
CM 592	1732,87	980,4
P 27	1732,87	1203,31
CD 983	2500	2500

As Figuras 2 (A) e (B) mostram as variações das concentrações de coliformes totais e *E.coli* por faixa de concentração logo após de terminado o período chuvoso (agosto/2006) e depois de 4 meses de iniciado o período de estiagem (novembro/2006). Em geral, observa-se que as chuvas aportaram coliformes que tenderam a diminuir com o avanço da época seca.

Figura 2: Distribuição, por faixa de concentração, de coliformes totais (A) e de *E.coli* (B) em águas de poços da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, em agosto e novembro de 2006.

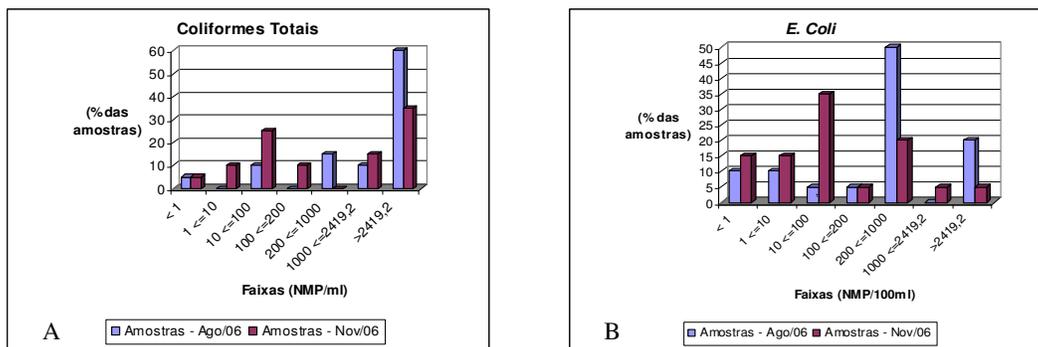
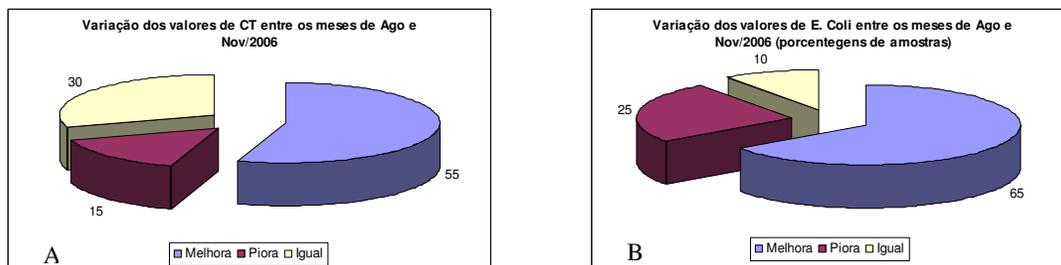


Figura 3 Percentagens de amostras de água de poços que alteraram sua qualidade bacteriológica: (A) coliformes totais e (B) *E.coli* entre agosto e novembro de 2006.





As figuras 3 (A) e (B) mostram a porcentagem de águas de poços que melhoraram a qualidade sanitária na segunda época seca com o avanço do período do verão desde agosto até novembro de 2006. O avanço da estação seca parece contribuir com o seu decréscimo, tanto em poços tipo amazonas como tubulares. Coliformes termotolerantes diminuíram em 55% dos poços até o final da época seca e o mesmo aconteceu com *E.coli* em 66%.

A análise de agrupamento com os 20 poços monitorados para coliformes totais e *E.coli* mostrou 4 agrupamentos principais em ambas as épocas, distribuídos nas formações Sousa, Antenor Navarro e Aluvial.

CONCLUSÕES

A qualidade das águas subterrâneas da bacia sedimentar do Rio do Peixe apresenta distribuição espacial e temporal heterogênea, que se expressa pela existência de diversos agrupamentos qualitativos, com contaminação fecal elevada na maioria dos poços e em alguns com mais de 2.500 NMP *E.coli*/100mL.

Não houve diferenças significativas entre a qualidade física e química das águas dos poços amazonas e os tubulares, os quais se integraram aos mesmos agrupamentos. O maior desses agrupamentos (G1), mostra que poços de qualidade semelhante se distribuíram por toda a bacia, independente de sua formação geológica, embora com modificações nas concentrações de alguns parâmetros ao longo do tempo transcorrido entre as duas estações secas.

As alterações qualitativas observadas ao longo do ciclo hidrológico (agosto 2005 – novembro 2006) se associam com as chuvas ocorridas entre as duas estiagens (aproximadamente 930 mm acumulados em 6 meses) influenciaram na qualidade das águas subterrâneas.

Nos poços amazonas e tubulares houve aumento da contaminação fecal, sob influência das águas de recarga dos aquíferos nas épocas de chuvas, embora com o avanço da época seca foi observado decréscimo dos mesmos. Não houve associação direta entre as concentrações de coliformes totais e *E.coli*, em particular para concentrações de coliformes totais inferiores a 2.500 NMP/100mL. Já para concentrações iguais ou superiores a esse valor, 100% dos coliformes totais foram confirmados como *E.coli*. O avanço da estação seca parece contribuir com o seu decréscimo, tanto em poços tipo amazonas como tubulares, porém, contribui para um considerável acréscimo de ferro na água.

Os fatores determinantes das mudanças qualitativas são exógenos e endógenos. Dentre os primeiros se destacam os usos e ocupação do solo da bacia de drenagem, que contribuem com a contaminação fecal e aceleram a salinização. Em segundo lugar, deve-se citar a complexidade geológica da bacia, do período pré-cambriano, onde ocorreram variações espaciais e temporais de ambientes de sedimentação aluviais, lacustres ou lagunais, com a movimentação tectônica e penetrações episódicas das águas marinhas (Lima Filho, 1991), tornando estas águas predominantemente salgadas e duras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBUQUERQUE, J. do P.T. (1986). O Sistema Aquífero Rio do Peixe. 4º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Brasília, Anais, p.194-207, 1986.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1998). "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater". 20th ed. Washington D. C.: American Public Health Association, 1998, 1569p.
3. LIMA FILHO, M.F. (1991). Evolução Tectono-Sedimentar da Bacia do Rio do Peixe (PB). Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, 1991.
4. PDRH-BRP (2000). Plano Diretor de Recursos Hídricos – Bacia do Rio do Peixe. Grupo Gestor de Recursos Hídricos - Secretaria do Planejamento do Estado da Paraíba - João Pessoa-Pb. 1996.
5. MINISTÉRIO DA SAÚDE, (2004). Portaria nº 518, Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências, 2004.
6. SOKAL, R., and F. ROHLF, (1981). Biometry (2º ed.). W. H. Freeman and Co, San Francisco, 854 p.