

# DISTRIBUIÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DA BACIA SEDIMENTAR DO RIO DO PEIXE – PB

*Beatriz Susana Ovruski de Ceballos<sup>1</sup>; José do Patrocínio Tomaz Albuquerque<sup>1</sup>; José Rosenilton de Araújo Maracajá<sup>2</sup>; Kiothenes Moreira Pinheiro<sup>3</sup>; Manoel Julio da Trindade Gomes Galvão<sup>4</sup>; Alysson Oliveira Guimarães<sup>2</sup>; Vajajeyam Srirangachar Srinivasan<sup>1</sup>*

**RESUMO** --- As pesquisas hidrogeológicas das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe/PB, objetivam seu melhor aproveitamento e gestão. Apresentam-se resultados iniciais da qualidade das águas de 112 poços localizados nos aquíferos Antenor Navarro, Sousa e Rio Piranhas. A composição iônica global encontrada é:  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$ ;  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ , predominando águas bicarbonatadas e sódicas. Os poços do aquífero Antenor Navarro apresentam os menores teores de salinidade, alcalinidade total e de bicarbonatos e dureza em comparação com os de Sousa, e de acordo com a constituição litológica destas formações, predominantemente arenítica e pelítica, respectivamente. Ao norte da sub-bacia de Sousa, concentram-se as águas de pior qualidade, de extrema salinidade e altos valores de sulfato, possivelmente relacionadas à proximidade do poço petrolífero, sugerindo contaminação por metais pesados e derivados de petróleo. As águas do aquífero rio Piranhas têm maior variabilidade qualitativa, refletindo sua constituição litológica, de arenitos a argilitos calcíferos. A distribuição espacial da qualidade para irrigação mostra predominância de águas com riscos médios a altos de salinidade e baixos de sodificação em Antenor Navarro e altos de salinização e sodificação em Sousa. As restrições para consumo humano variam entre nenhuma e alta.

**Palavras-chave:** qualidade água subterrânea, bacia sedimentar, semi-árido.

**ABSTRACT** --- The research on groundwater in the Rio do Peixe/PB sedimentary basin aims at its sustainable management. The initial water quality evaluations carried out with 112 wells in the Antenor Navarro, Sousa and Piranhas aquifers show that  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$ ;  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ . It is seen that the bicarbonates and sodium predominates. The wells in Antenor Navarro aquifer present the smallest salinity, total alkalinity, bicarbonates and hardness concentrations in comparison with the ones in Sousa, agreeing with the characteristics of the aquifers soil profiles (sandstone and pelite, respectively). The worst quality is found in the north part of the Sousa system, with extreme salinity and high sulfate contents, possibly related to the proximity of an existing petroleum well that suggests contamination by heavy metals and organic products. The water quality in the Piranhas aquifer is highly variable because of its characteristics and constitution, mainly formed by sandstones, from sandstone to calcite argillite. The water quality distribution from the Antenor Navarro, for irrigation, shows medium to high risks of being saline and low risks of having sodium contents, while in the Souza aquifer, these risks are high. For human supply, in the Antenor Navarro system the waters have no restriction, while in Souza they are severe.

**Keywords:** groundwater quality, sedimentary basin, semi-arid.

<sup>1</sup>Professores da UFCG, UAEC, Av. Aprígio Veloso, 882, Bloco CR, Bodocongó, Campina Grande-PB, 58109-970. e-mail: bso@superig.com.br, patrociniotomaz@uol.com.br, srinivas@rechid.ufcg.edu.br.

<sup>2</sup>Mestres em Recursos Hídricos, UFCG. e-mail: maracaja\_civil@yahoo.com.br, alysson\_guimaraes@yahoo.com.br.

<sup>3</sup>Aluno do curso de Engenharia Civil, Bolsista PIBIC, CNPq, UFCG. e-mail:kiothenes@yahoo.com.br.

<sup>4</sup>Geólogo da CPRM-PE. e-mail:mjtgg@re.cprm.gov.br.

## 1 – INTRODUÇÃO

O presente trabalho, sobre a distribuição da qualidade das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, PB, é parte de um projeto maior intitulado “*Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro*” (MCT / Fundo Setorial de Recursos Hídricos / FINEP) que objetiva levantar, gerar e disponibilizar informações e conhecimentos sobre a ocorrência, potencialidades, circulação e utilização das águas subterrâneas em bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste. Este estudo procura aumentar a disponibilidade hídrica para abastecimento humano e para atividades produtivas através do fomento do desenvolvimento sócio-econômico sustentável nas regiões escolhidas e melhorar as condições de vida da população local. Dentre os critérios adotados para a seleção da bacia Sedimentar do Rio do Peixe destacam-se: a necessidade de avaliar o potencial hídrico e de qualidade de suas águas subterrâneas, ainda não conhecidos com a precisão requerida; a relativa escassez de águas no semi-árido do Nordeste do Brasil; a sua demanda crescente, com o conseqüente aumento da captação e consumo destas águas, sem a devida prática de mecanismos de gestão integrada dos recursos hídricos da bacia.

Dentre os escassos trabalhos que abordam os aquíferos da bacia do Rio do Peixe, e, em particular, a qualidade das águas subterrâneas, se destacam os de Albuquerque (1971, 1986), que representam até hoje, os estudos mais significativos existentes sobre a hidrogeologia da Bacia do Rio do Peixe. Um trabalho mais recente, de Lima *et al.* (2004), considerou as águas subterrâneas dessa região como potáveis, caracterizadas como boas a passáveis. Em relação à irrigação, os autores destacaram a predominância de águas bicarbonatas-sódicas, à exceção de uma pequena área, localizada a NE da sede municipal de São João do Rio do Peixe, onde ocorrem águas Sulfatadas-sódicas, com salinidade alta a extrema, e em torno da cidade de Sousa, onde as águas são medianamente sódicas, todas elas consideradas impróprias para irrigação. Esses resultados indicam maiores teores de sais que aqueles encontrados por Albuquerque (1986), possivelmente pelo aumento dos impactos antrópicos ocorridos ao longo dos anos transcorridos entre os dois trabalhos. A escassez de dados e as diferenças entre os existentes, revelam a importância de acentuar os estudos sobre a qualidade das águas subterrâneas na região, numa abordagem mais sistemática de amostragem e de maior duração, de forma a se obter subsídios tentando idealizar um plano de gestão integrada e sustentável para usos múltiplos desses recursos.

## 2 – OBJETIVOS

Os objetivos do presente estudo são: 1) fazer uma avaliação, a mais completa possível, da qualidade dessas águas; 2) analisar a distribuição dessa qualidade em função da localização dos poços amostrados nas diferentes formações aquíferas, 3) analisar a evolução da qualidade da água nessa bacia comparando-se os resultados com outros mais antigos; 4) procurar estabelecer as relações entre a constituição físico-química das águas subterrâneas e a natureza litológica dos aquíferos respectivos; 5) classificar as águas analisadas em função de seus usos possíveis, na irrigação e no consumo humano.

## 3 – MATERIAL E MÉTODO

### 3.1 – Localização

A Bacia Sedimentar do Rio do Peixe (1.300 km<sup>2</sup>) localiza-se na porção noroeste do estado da Paraíba, (37° 40' 00'' e 38° 45' 00'' W; 06° 25' 00'' e 06° 55' 00'' Sul; Figura 1). Integrante da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, pertencente ao grupo de bacias hidrográficas do Atlântico Norte (ANEEL/UFPB, 2001), ela está quase que totalmente inserida na sub-bacia hidrográfica do Rio do Peixe, importante afluente do Rio Piranhas.

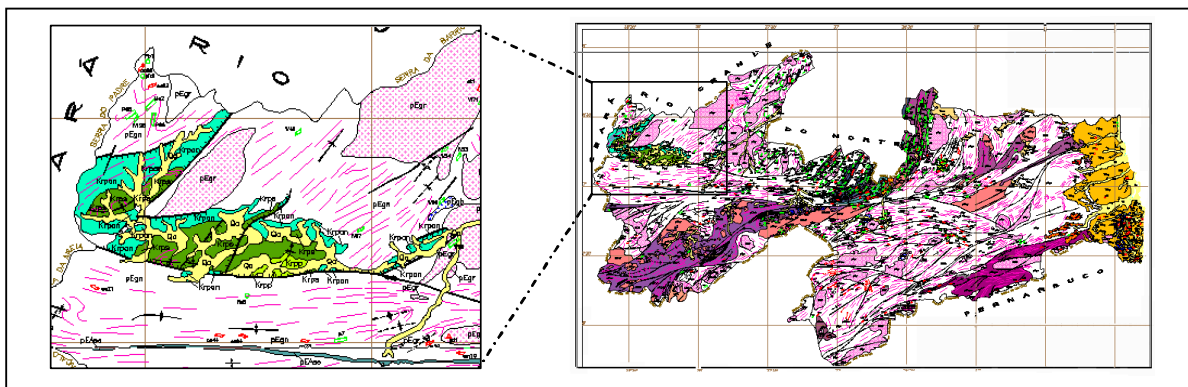


Figura 1 – Localização da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe no Estado da Paraíba.

### 3.2 – Climatologia

O clima é do tipo semi-árido, com duas estações (seca e chuvosa), com chuvas concentradas entre janeiro e abril. A pluviometria média anual varia entre 880,6mm, 783,9mm e 730,9mm (medições nas estações de Cajazeiras, Souza e Pombal, respectivamente). A umidade relativa do ar apresenta máximas de 74 a 81%, entre fevereiro e maio, e mínimos entre 56% e 59%, entre setembro e novembro. A temperatura mais baixa ocorre em junho e julho (média acima de 25°C) e máximo de 29°C, entre outubro e novembro. A maior incidência da luz solar (9,4 a 9,7horas/dia)

ocorre entre outubro-dezembro e a menor (7,6 a 8,7 horas/dia) entre junho e agosto. A evapotranspiração potencial é elevada (médias 1.679,5mm, 1.922mm e 1.925mm nas estações já citadas) (PDRH-BRP, 2000). A maior velocidade dos ventos (3,3m/s), ocorre na estiagem e a menor, de 2 m/s, nas épocas de chuvas.

### **3.3 – Constituição Geológica**

A geologia da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe é dotada de uma grande complexidade, devido aos vários fenômenos tectônicos que a afetaram, desde a sua origem. São falhamentos de naturezas diversas (trancorrentes, inversas e de gravidade) que movimentaram a bacia, ora justapondo, ora sobrepondo formações geológicas distintas, provocando, inclusive, alterações dimensionais nas mesmas, ainda não quantificadas. Trata-se de uma bacia encravada no cristalino, o que por si só já configura uma origem tectônica. É constituída, de acordo com estudos até aqui encetados, por três formações sedimentares: a formação Antenor Navarro (COSTA, 1964) composta de quase 100m de arenitos médios a grosseiros, de posição estratigráfica basal, repousando sobre o embasamento cristalino; a formação Sousa (COSTA, 1964) de argilitos, folhelhos e siltitos, com intercalações de arenitos finos a médios, totalizando cerca do 800m de espessura e a formação Rio Piranhas (ALBUQUERQUE, 1986) de arenitos médios e finos, com cerca de 200m de espessura, de ocorrência restrita à região ao sudeste de Sousa. A bacia é composta de duas porções: a sub-bacia de Sousa com cerca do 800 Km<sup>2</sup> (aí incluído o prolongamento chamado Bacia de Pombal) e a sub-bacia de Brejo das Freiras com cerca do 540 Km<sup>2</sup>, quase separadas por falhas de gravidade e de rejeito direcional que se interceptam na região de Brejo das Freiras. Repousando, indistintamente, sobre as três formações descritas e constituindo os vales (calhas e margens) da rede hidrográfica sobreposta à bacia sedimentar, ocorrem os depósitos aluviais, de composição litológica, ora arenosa, ora argilosa, ora siltosa e, às vezes, cascalhenta.

### **3.4 – Hidrogeologia**

Ocorrem 4 formações aquíferas: a inferior, denominada Antenor Navarro, contida na formação geológica homônima, sendo limitado, na lapa, pelas rochas metamórficas e ígneas impermeáveis que compõem o chamado Complexo Cristalino Pré-Cambriano do Nordeste do Brasil e no topo, pelos argilitos, folhelhos e siltitos constituintes da formação Sousa, impermeáveis ou, localmente, semi-impermeáveis; intercalado nos sedimentitos pelíticos da formação Sousa, ocorrem, possivelmente, mais de um nível arenítico aquífero de vez que, devido à estrutura monoclinial predominante, há níveis areníticos, tanto na secção inferior (norte da bacia), quanto na superior (sul da bacia) da formação Sousa, razão porque manteve-se a denominação original de aquífero Sousa, até que novos dados possam esclarecer, definitivamente, a situação hidrogeológica

real; o aquífero Rio Piranhas, contido na formação de mesmo nome, limitado na base pela formação Sousa, impermeável, e no topo pela superfície hidrostática regional, definida pelo lugar geométrico dos pontos de pressões atmosféricas locais; assentado, indistintamente, sobre os topos das formações Antenor Navarro, Sousa e Rio Piranhas, ocorre o aquífero denominado Aluvial, também limitado superiormente pela mesma superfície hidrostática regional. Os dois primeiros aquíferos são do tipo confinado ou, localmente, semi-confinado. Os dois últimos são aquíferos freáticos, formando um subsistema livre.

### **3.5 – Outros Aspectos fisiográficos**

Os solos existentes na bacia guardam uma estreita correlação com os caracteres geológicos, morfológicos e climáticos desta bacia. Desta forma, no domínio das formações aluviais, onde se localizam as “planícies interioranas”, os solos são do tipo azonal, arenosos, argilosos (terraços inundáveis) e siltosos. Na parte em que os substratos dos solos são as formações geológicas do Grupo Rio do Peixe, os solos são zonados, com o horizonte A fraco, pouco espesso, litólicos, de granulometria variada, mas predominantemente argilosa, planos (refletindo o relevo da bacia), de cores variadas. A vegetação é do tipo Caatinga, variando de hipo a hiper-xerófila, com poucas árvores e densa cobertura de arbustos retorcidos.

### **3.6 – Geomorfologia**

O relevo da bacia sedimentar do Rio do Peixe é um peneplano com altitude média em torno de 230 m, situado em nível mais baixo que a área do embasamento cristalino circundante, de rochas muito duras que formam serras e elevações em torno da bacia sedimentar formando um grande anfiteatro, aberto em um dos lados pelo vale do rio Piranhas. Integra a unidade morfológica denominada Depressão Sertaneja, limitada pelas serras que se elevam ao sul, ao norte e a oeste, nas fronteiras com os Estados de Pernambuco, Rio Grande do Norte e Ceará.. Nas áreas de exposição dos sedimentos, o relevo se apresenta plano com pequenas variações nas diferentes unidades litológicas. Conforme observou Vasconcelos (1980), os arenitos se apresentam em relevos irregulares enquanto os siltitos e argilitos formam um relevo de aspecto mais suave.

### **3.7 – Hidrografia**

A bacia sedimentar do Rio do Peixe é drenada pela bacia hidrográfica do rio Piranhas e seus afluentes, entre eles o Rio do Peixe, que a penetra pelo norte (sub-bacia de Brejo das Freiras) e inflete para leste, drenando a sub-bacia de Sousa, com o exutório situando-se nas proximidades da cidade de Aparecida. O rio do Peixe é afluente do Piranhas que drena uma área ao sul da sub-bacia

de Sousa. A rede hidrográfica é caracterizada por uma drenagem dendrítica e por um regime de escoamento intermitente, embora ampliado no domínio da área da bacia sedimentar sob o efeito da restituição do sistema aquífero. Nos seus cursos, foram construídos açudes de grande porte e grande número de poços.

### **3.8 – Seleção dos poços e coleta de amostras**

Os critérios aplicados para a escolha dos poços foram: sua distribuição, nas 3 diferentes formações aquíferas; o tipo de poço, (amazonas e tubular) e a proximidade com fontes potencialmente poluidoras (atividades antrópicas na bacia de drenagem). Entre agosto e novembro de 2005, foram executaram 03 campanhas de campo para coletas de amostras de água, perfazendo um total de 112 que foram processadas no Laboratório de Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)/Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola. Os parâmetros analisados foram os mais freqüentes para avaliar a qualidade da água: pH, condutividade elétrica, resíduos sólidos, cátions e ânions, dureza, alcalinidade, serie nitrogenada, fósforo total e ferro. Os procedimentos analíticos foram os adotados pela APHA (1998).

### **3.9 – Análises estatística dos dados**

Os resultados foram analisados (estatística básica e à a análise de agrupamento - SPSS 14.0 for Windows) (PEREIRA, 1999), objetivando identificar as águas de poços de qualidade semelhante e verificar uma possível relação entre a qualidade e o aquífero na qual o poço está inserido. Obtido o dendrograma, os resultados da análise de agrupamento foram plotados sobre o mapa geológico da bacia sedimentar do Rio do Peixe, utilizando-se códigos de símbolos e de cores para indicar os grupos de qualidade. Esses pontos foram analisados de forma global em função da sub-bacia e da formação geológica. Para definir os parâmetros de qualidade mais relevantes na diferenciação dos agrupamentos foi aplicada uma análise de variância (ANOVA fator único), seguida pelo método gráfico GT2 de Hochberg's, de comparação múltipla das médias (Sokal & Rohlf, 1981). Este procedimento foi novamente aplicado para as águas de cada agrupamento dos poços de cada formação aquífera, com a finalidade de identificar, de forma mais refinada, as possíveis diferenças qualitativas em função da litologia. Um estudo complementar, de regionalização do parâmetro resíduo seco (ST), foi executado com o traçado de isolinhas, a partir das dosagens químicas das águas amostradas em toda a bacia sedimentar. Mapas semelhantes foram elaborados para outros parâmetros, a fim de complementar as análises dos dados. Os resultados de sódio, cálcio e magnésio foram usados para calcular o RAS (Razão da Adsorção de Sódio) que, junto com a condutividade elétrica, foram usados para aplicar a classificação de Riverside (USSL).

## 4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As águas subterrâneas da bacia apresentaram pH entre ligeiramente básico e básico e valores extremos de condutividade elétrica (CE), resíduo seco, sódio, cloreto, sulfato, potássio e alcalinidade de bicarbonato (Tabela 1). A composição iônica global destas águas pode ser assim resumida:  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$ ;  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ , predominado, águas bicarbonatadas e sódicas, com teores variados de magnésio e, em poucas amostras, altos teores de sulfatos. As formas de nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato) acusaram concentrações baixas (sem diferenças estatísticas significativas,  $\alpha=0,05$ ) e não foram limitantes para consumo humano (Portaria 518/2004-MS), exceto em um poço com teor elevado de amônia livre que supera o padrão de potabilidade e que representa risco à saúde. Várias amostras tiveram concentrações altas de ferro, ultrapassando o padrão de aceitação, de 0,3 mg/l, segundo a mesma portaria. Outra característica é a alta dureza da maioria destas águas. A dispersão e a distribuição da frequência dos principais parâmetros de qualidade são mostradas na Figura 2.

Tabela 1 - Análise estatística básica dos dados de qualidade da água de 112 amostras da bacia sedimentar do Rio do Peixe

Parâmetros	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda
<i>pH</i>	8,59	0,34	7,52	9,24	8,64	8,80
<i>Cond. Elet. (mS. Cm<sup>-1</sup>)</i>	1013,81	566,11	44,00	2860,00	890,00	890,00
<i>Resíduo Seco (mg L<sup>-1</sup>)</i>	669,21	400,95	134,00	2784,00	575,50	569,00
<i>Bicarbonatos (mg L<sup>-1</sup>)</i>	293,78	152,17	54,90	1116,30	276,64	132,98
<i>Carbonatos (mg L<sup>-1</sup>)</i>	38,02	24,93	0,00	145,80	35,40	34,20
<i>Cálcio (mg L<sup>-1</sup>)</i>	27,55	25,01	4,20	225,00	24,60	25,40
<i>Cloretos (mg L<sup>-1</sup>)</i>	135,36	143,66	13,12	771,04	85,97	35,45
<i>Magnésio (mg L<sup>-1</sup>)</i>	17,85	18,61	1,44	169,44	14,04	14,64
<i>Potássio (mg L<sup>-1</sup>)</i>	4,12	3,01	0,19	13,65	3,04	1,95
<i>Sódio (mg L<sup>-1</sup>)</i>	196,57	164,48	29,44	1026,26	159,05	213,67
<i>Sulfatos (mg L<sup>-1</sup>)</i>	62,89	152,48	0,48	1476,48	27,36	1,92
<i>Ferro (mg L<sup>-1</sup>)</i>	0,54	0,54	0,07	2,37	0,35	0,15
<i>Oxigênio Consumido (mg L<sup>-1</sup>)</i>	2,49	2,08	0,70	19,50	2,00	1,50
<i>Alcalinidade de Carbonato – CO<sub>3</sub> (mg L<sup>-1</sup>)</i>	67,44	70,46	0,00	680,00	59,00	57,00
<i>Alcalinidade de Bicarbonatos – HCO<sub>3</sub> (mg L<sup>-1</sup>)</i>	246,55	124,79	63,50	915,00	238,00	109,00
<i>Alcalinidade Total – CaCO<sub>3</sub> (mg L<sup>-1</sup>)</i>	310,16	155,32	82,50	1065,00	303,25	83,50
<i>Dureza Total – CaCO<sub>3</sub> (mg L<sup>-1</sup>)</i>	141,52	123,67	15,62	973,10	119,70	107,50
<i>Amônia Livre – NH<sub>3</sub> (mg L<sup>-1</sup>)</i>	0,81	4,12	0,03	42,00	0,23	0,09
<i>Nitritos – NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg L<sup>-1</sup>)</i>	0,03	0,07	0,00	0,62	0,01	0,01
<i>Nitrato – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg L<sup>-1</sup>)</i>	0,43	1,02	0,00	8,81	0,13	0,04

A análise de agrupamento evidenciou 10 diferentes conjuntos de poços com águas de qualidade semelhante: G-1 com 18 poços, 16% do total; G-2 com 60, 53,6%; G-4 com 17, 15,2%; G-5 com 7, 6,2%; G-3 e G-6 com 3 poços cada um, 2,7%. Os outros 4 grupos ficaram com apenas um poço cada um, de qualidade diferente dos demais. Os parâmetros discriminadores da qualidade foram: condutividade elétrica, resíduo sólido, bicarbonato, sódio e sulfato, que caracterizaram e diferenciaram, pelas suas concentrações crescentes, os maiores grupos de qualidade da água

subterrânea: G-1, G-2, G-4 e G-5. As restrições de uso foram aumentando desde G-1 até G-5, sendo G-1 o que apresentou as águas de melhor qualidade, isto é, de menor concentração iônica e menor pH (Figura 3) e sem restrições de uso para consumo humano e de nenhuma a média restrição para irrigação. G-5 ficou claramente diferenciado pelas maiores concentrações de 4 dos 5 parâmetros mais importantes, com destaque para sulfato e dureza, com altas restrições de uso. Os parâmetros amônia, ferro, oxigênio consumido, cálcio e magnésio apresentaram em todos os agrupamentos concentrações em torno das médias, não sendo, portanto, caracterizadores de nenhum grupo e de nenhuma formação aquífera (exceto potássio em alguns poços de Antenor Navarro). Pelo contrário, esse comportamento indica que esses parâmetros contribuem com a heterogênea distribuição da qualidade da água subterrânea nas diferentes formações aquíferas. Por exemplo, alcalinidade de bicarbonato teve valores discriminantes em G-1, G-2 e G-4, enquanto em G-5 apresentou bastante dispersão. Dureza é outro parâmetro que exemplifica a distribuição aleatória da qualidade dessas águas: com valores aproximados em G-1, G-2 e G-4, não diferenciando estes agrupamentos, enquanto que em G-5 apresentou valores muito altos e bem marcantes, junto com sulfato. Esse comportamento qualitativo pode estar associado ao ambiente de sedimentação que sofreu variação espacial e temporal, em função da movimentação tectônica da bacia, desde a sua origem. Estes ambientes eram, ora aluviais, ora lacustres, ora lagunais, estes devido às penetrações episódicas das águas marinhas, através das falhas que ligavam a Bacia Sedimentar do Rio do Peixe com a Bacia do Rio Apodí ao Norte (Lima Filho, 1991). Na Figura 4 apresenta-se a distribuição dos poços nas formações Antenor Navarro, Sousa e Piranhas, identificando com cores os agrupamentos de qualidade. Esse mapa evidencia as observações feitas em relação à distribuição, relativamente heterogênea, da qualidade da água, embora ocorra predominância dos agrupamentos identificados, de águas com qualidade semelhante, em cada uma das formações aquíferas, como se mostra na Tabela 2 .



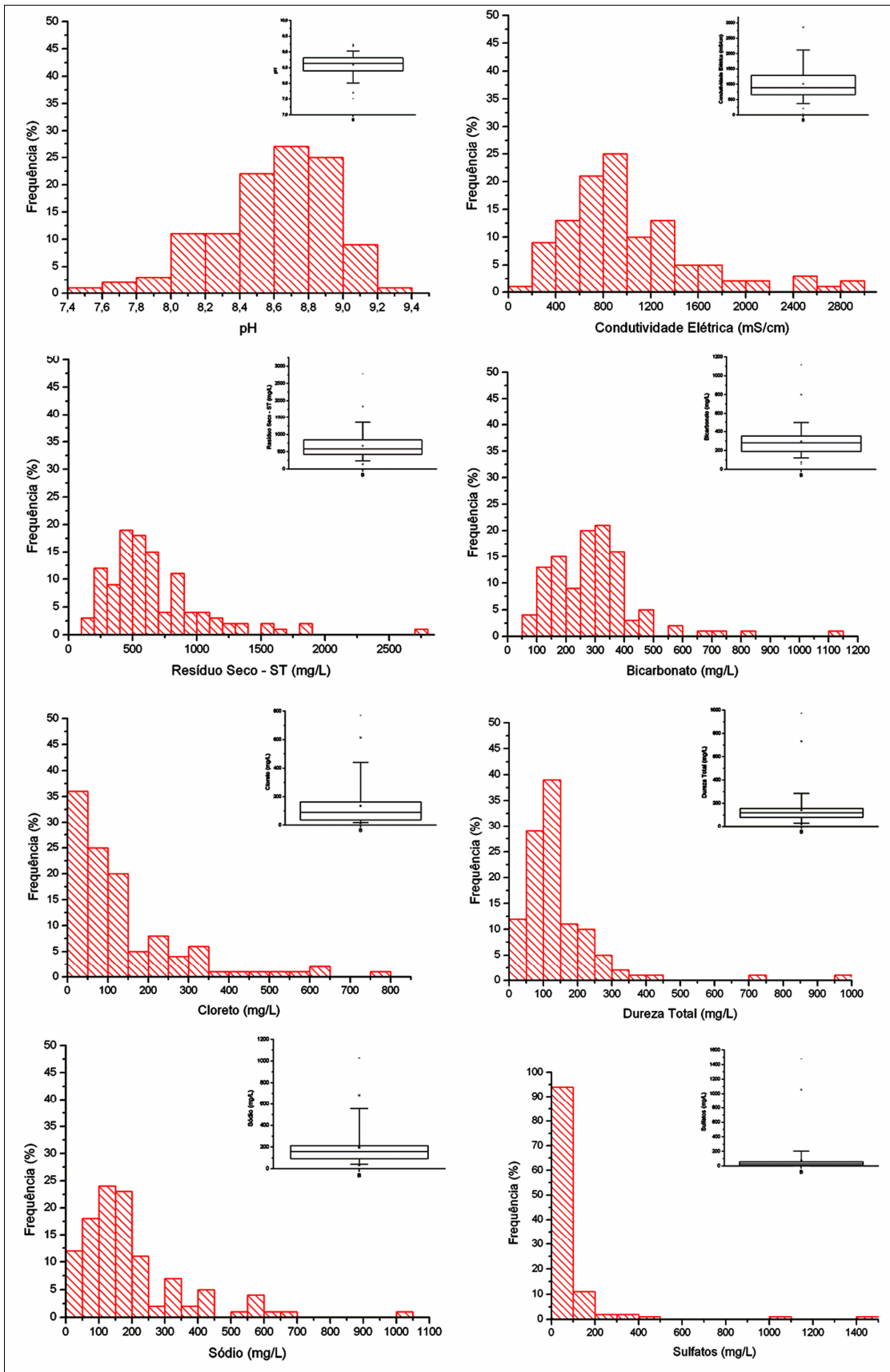


Figura 2 – Dispersão e distribuição da frequência das concentrações de alguns os parâmetros de qualidade da água das 112 amostras da Baía Sedimentar do Rio do Peixe-PB.

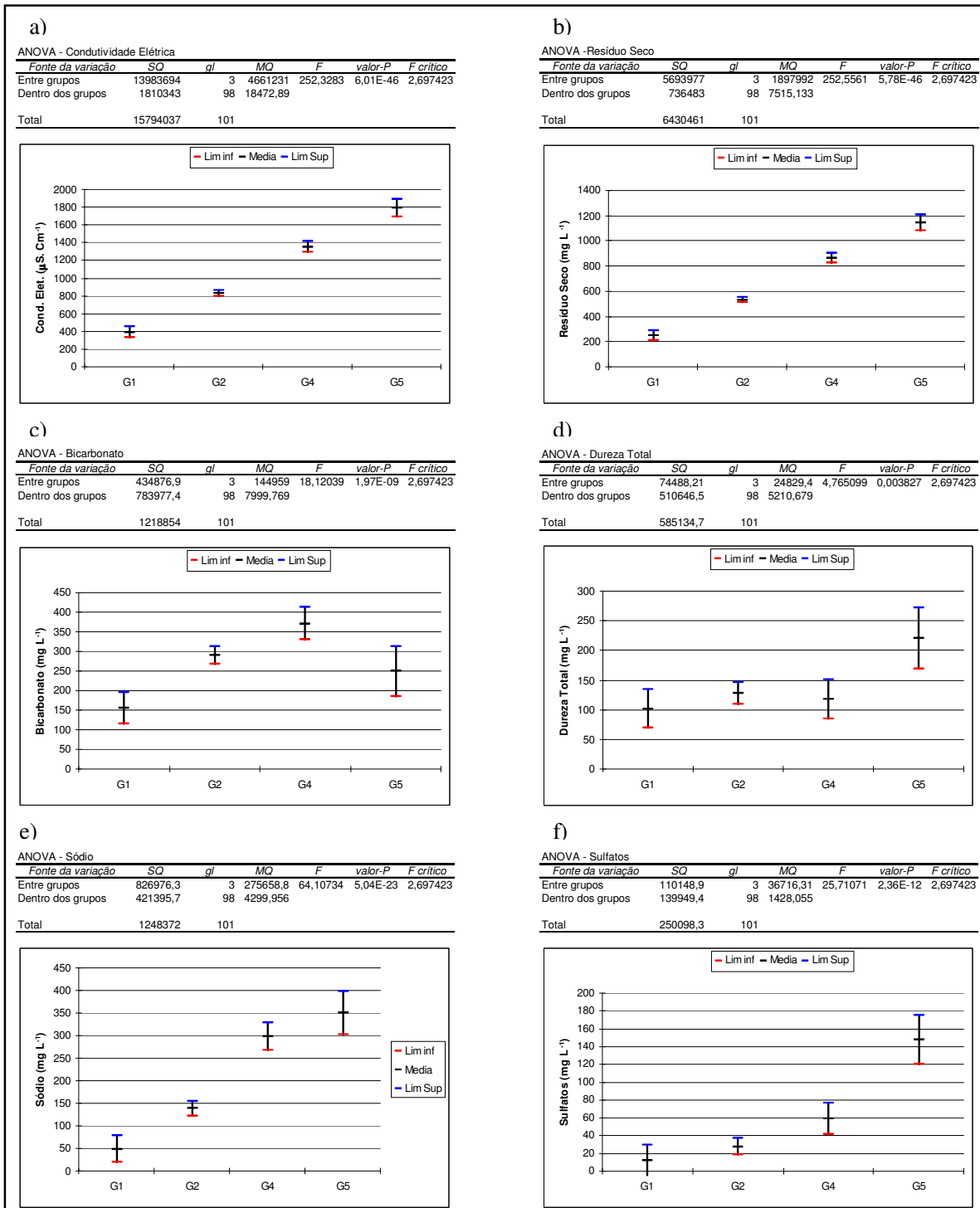


Figura 3 – Análise ANOVA e gráficos GT2 (fator único) para os 4 maiores agrupamentos de 112 amostras de água de poços da Bacia sedimentar de Rio do Peixe. a) Condutividade elétrica; b) Resíduo seco; c) Bicarbonatos; d) Dureza total; e) Sódio e f) Sulfatos, nas amostras de água subterrânea da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe (agosto a novembro de 2005).

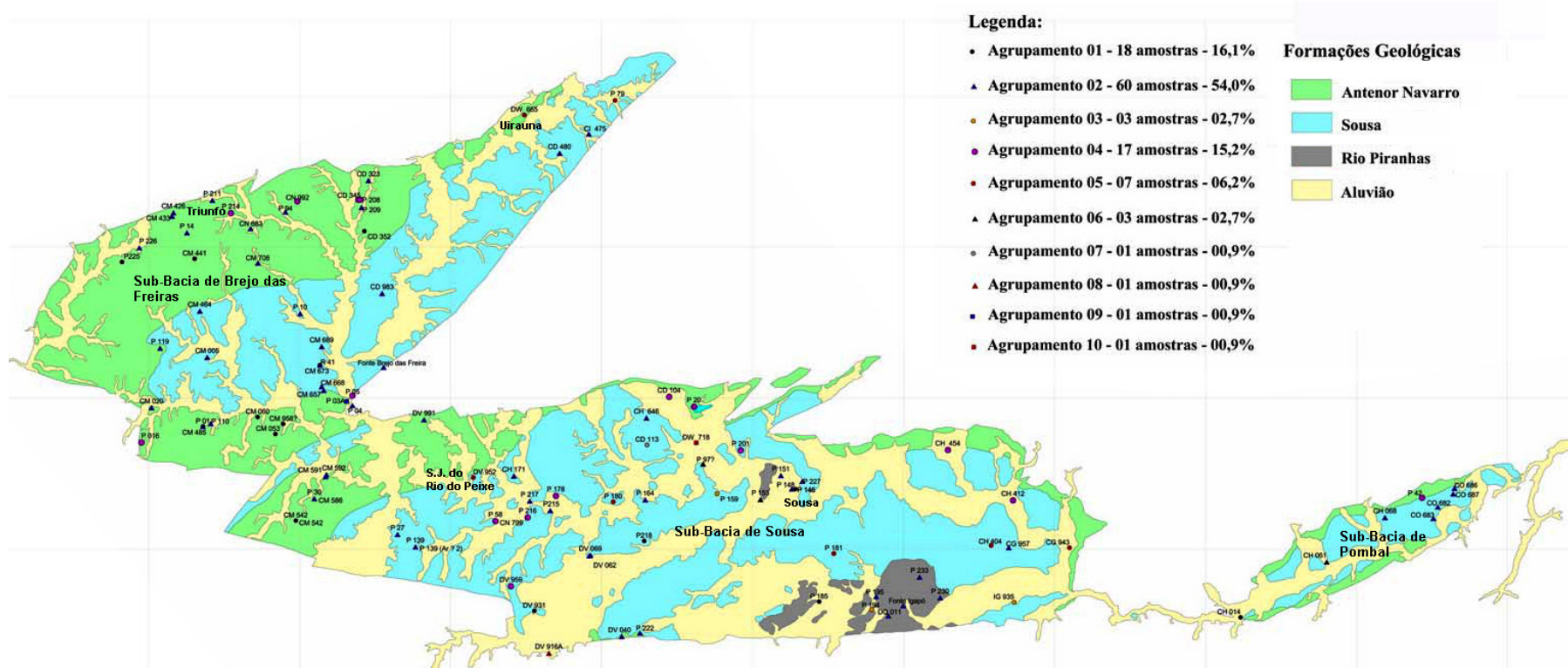


Figura 4 – Mapa da distribuição dos parâmetros de qualidade física e química de 112 amostras de águas de poços da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, PB (agosto-novembro de 2005)

Tabela 2 – Ocorrências dos grupos de qualidade semelhante de água subterrânea (poços) por formação aquífera da bacia sedimentar do Rio do Peixe – PB

Grupo de qualidade (Nº de amostras)	Número de amostras			Frequência de ocorrência (%)			Predominância
	Formações			Formações			
	Antenor Navarro	Sousa	Rio Piranhas	Antenor Navarro	Sousa	Rio Piranhas	
G-1 (18)	10	6	1	58,8	35,3	5,9	Antenor Navarro
G-2 (60)	22	32	5	37,3	54,2	8,5	Sousa
G-3 (3)	0	2	1	0,0	66,7	33,3	Sousa
G-4 (17)	6	11	0	35,3	64,7	0,0	Sousa
G-5 (07)	1	6	0	14,3	85,7	0,0	Sousa
G-6 (03)	0	4	0	0,0	100,0	0,0	Sousa
G-7 (01)	0	1	0	0,0	100,0	0,0	Sousa
G-8 (01)	0	1	0	0,0	100,0	0,0	Sousa
G-9 (01)	1	0	0	100,0	0,0	0,0	Antenor Navarro
G-10 (01)	0	1	0	0,0	100,0	0,0	Sousa

Um estudo mais detalhado através de uma análise de agrupamento utilizando-se apenas os dados de qualidade dos poços localizados em cada uma das três formações aquíferas mostrou, dentro desses agrupamentos maiores, subgrupos de poços com qualidades distintas, inseridos na mesma formação. Na formação Antenor Navarro, os 40 poços amostrados se dividiram em 12 subgrupos, sendo 3 os mais representativos. Na formação Sousa, os 63 poços se distribuíram em 31 subgrupos, dos quais 4 foram os mais significativos. Os 7 poços da formação Rio Piranhas distribuíram-se em 4 subgrupos não representativos estatisticamente. As Tabelas 3 e 4 apresentam as dispersões das médias dos parâmetros para os subgrupos de Antenor Navarro e Sousa, indicando que os parâmetros diferenciadores da qualidade da água são, na formação aquífera Antenor Navarro, condutividade elétrica, potássios e cloretos e, em Sousa, bicarbonato, carbonato, alcalinidade total e dureza. A Tabela 4 mostra agrupamentos de qualidade bastante semelhantes na formação Sousa (subgrupos G-1 e G2 e subgrupos G-4 e G-5).

Tabela 3 – Diversidade de agrupamentos de qualidade na formação aquífera Antenor Navarro

Antenor Navarro (40 poços amostrados)	Conductividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Potássio (mg/l)	Cloretos (mg/l)	Dureza (mg/l)	Resíduo Seco (mg/l)	
subANG-1 (16poços)	Lim Sup.	1100	8	160	170	700
	Média	1010	65	135	150	650
	Lim. Inf.	920	5	110	130	600
subANG-2 (11 poços)	Lim Sup.	590	6	67	150	380
	Média	490	4	37	120	315
	Lim. Inf.	390	2	7	90	250
subANG-3 (4 poços)	Lim Sup.	940	12	145	290	600
	Média	770	9	95	245	500
	Lim. Inf.	600	6	45	200	400

Tabela 4 – Diversidade de agrupamentos de qualidade na formação aquífera Sousa

Sousa (63poçosamostrados)		Bicarbonato (mg/l)	Carbonato (mg/l)	Alcalinidade Total (mg/l)	Dureza (mg/l)
subSG-1 (13 poços)	Lim Sup	330	40	340	160
	Média	290	33	300	130
	Lim. Inf.	250	27	260	100
subSG-2 (8 poços)	Lim Sup	440	55	430	110
	Média	380	47	390	75
	Lim. Inf.	320	40	350	40
subSG-4 (5 poços)	Lim Sup	220	22	190	160
	Média	140	12	130	120
	Lim. Inf.	60	2	70	80
subSG-5 (6 poços)	Lim Sup	290	35	280	170
	Média	220	26	230	135
	Lim. Inf.	150	17	180	100

Os parâmetros que distinguem as formações são: condutividade elétrica, sódio, potássio e resíduo seco (ANOVA e GT2). As águas da formação aquífera Rio Piranhas possuem qualidades bastantes variáveis, isto é, ocorrem águas de boas como as de Antenor Navarro e más qualidades, como as de Sousa.

Um estudo mais detalhado sobre a distribuição das concentrações de resíduo seco, foi elaborado a partir do traçado do mapa de isolinhas de R.S. (Figura 5), de forma semelhante ao estudo de Albuquerque (1986). Observa-se que na sub-bacia de Brejo das Freiras, a concentração deste parâmetro segue um comportamento aleatório, diferente do destacado no trabalho citado, de uma distribuição decrescente desde as bordas até o centro da bacia. Esse diferente comportamento pode ser devido à carência e à defasagem de dados de vinte e três anos entre os dois estudos. Porém, e numa observação global, é sobre o arenito da formação aquífera de Antenor Navarro onde se encontram as águas de melhor qualidade, onde ocorrem conjuntos de poços com os menores valores de resíduo seco e de condutividade elétrica e as menores concentrações de sódio, sendo águas classificadas como passáveis para irrigação. Esta configuração se coaduna com a composição da formação Antenor Navarro, de arenitos com composição mineralógica predominante de Quartzo (SiO<sub>2</sub>). Segundo a classificação de Riverside, essas águas apresentam entre baixo, médio e, em alguns locais, alto risco de salinização dos solos.

Na sub-bacia de Sousa ocorre a maior variabilidade das concentrações de resíduo seco, em geral, na faixa de 700 a 2.800 mg/l, distribuídos por toda essa formação aquífera, correspondendo às águas classificadas de risco de salinização entre media a forte, portanto, impróprias para a irrigação.

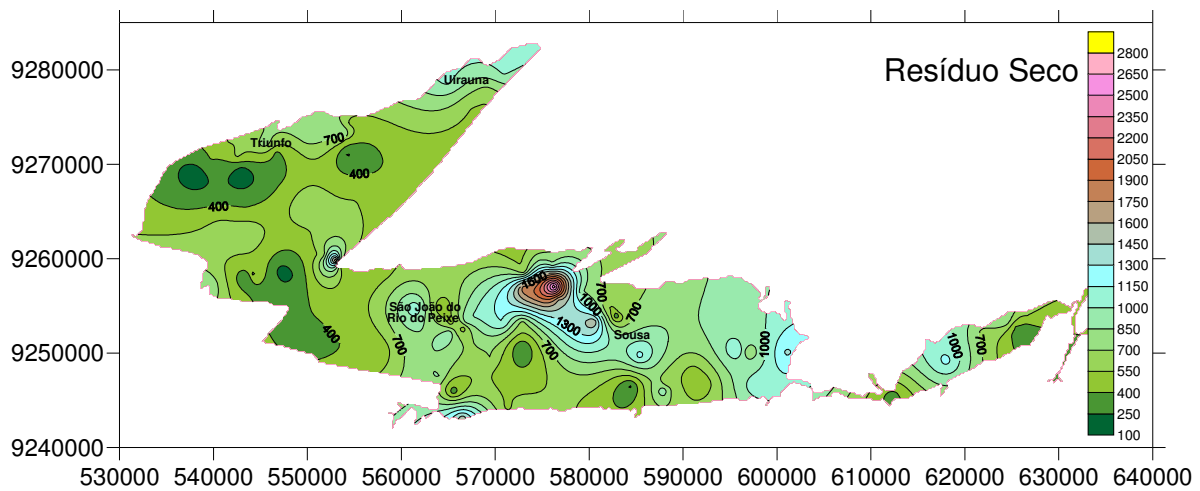


Figura 5 – Distribuição do resíduo seco na bacia sedimentar do Rio do Peixe – PB, para as 112 amostras analisadas entre agosto e novembro de 2005.

No mapa da Figura 5, chama a atenção o denso conjunto concêntrico de isolinhas no setor norte da sub-bacia de Sousa, onde se concentram as águas subterrâneas com os maiores valores de sólidos totais, condutividade elétrica, sódio, cloretos e sulfato, formando uma zona bem definida, de extrema salinidade, com resíduo seco máximo de 2.800 mg/l. Este núcleo salino está situado na área envolvida pelos poços tubulares DW718, e CD113, ambos com alta concentração de sulfato e vizinhos do poço petrolífero, distante aproximadamente 3 km destes poços tubulares abertos no aquífero Sousa. Ainda, um outro poço tubular localizado próximo, igualmente do aquífero Sousa, apresenta também alta concentração de sulfato. Pode-se inferir que essa composição salina e iônica está influenciada pela presença de petróleo na área. Isto desperta outra inquietude em relação à qualidade: averiguar a possível presença de metais pesados e de derivados de petróleo nas águas subterrâneas dessa região, que poderiam ter contaminado o aquífero, assim como esperar que com a exploração de petróleo, a qualidade tenda a piorar, na medida em que a exploração de poços pode interceptar reservas de petróleo, principalmente se o aquífero for confinado, onde o raio de influência do poço d'água pode atingir alguns quilômetros. Em geral, abstraindo-se a zona salinizada a norte da sub-bacia de Sousa, há uma tendência de aumento na magnitude do resíduo seco na direção do fluxo subterrâneo, ou seja, de oeste para leste, o que, para essa sub-bacia, a distribuição de salinidade concorda com as observações de Albuquerque (1986). Os mapas da Figura 6 mostram detalhes da distribuição de outros parâmetros determinantes das qualidades das águas subterrâneas, verificando a distribuição dispersa de amônia, magnésio e bicarbonato e as concentrações em locais específicos de condutividade elétrica, cloretos, sódio e sulfatos.

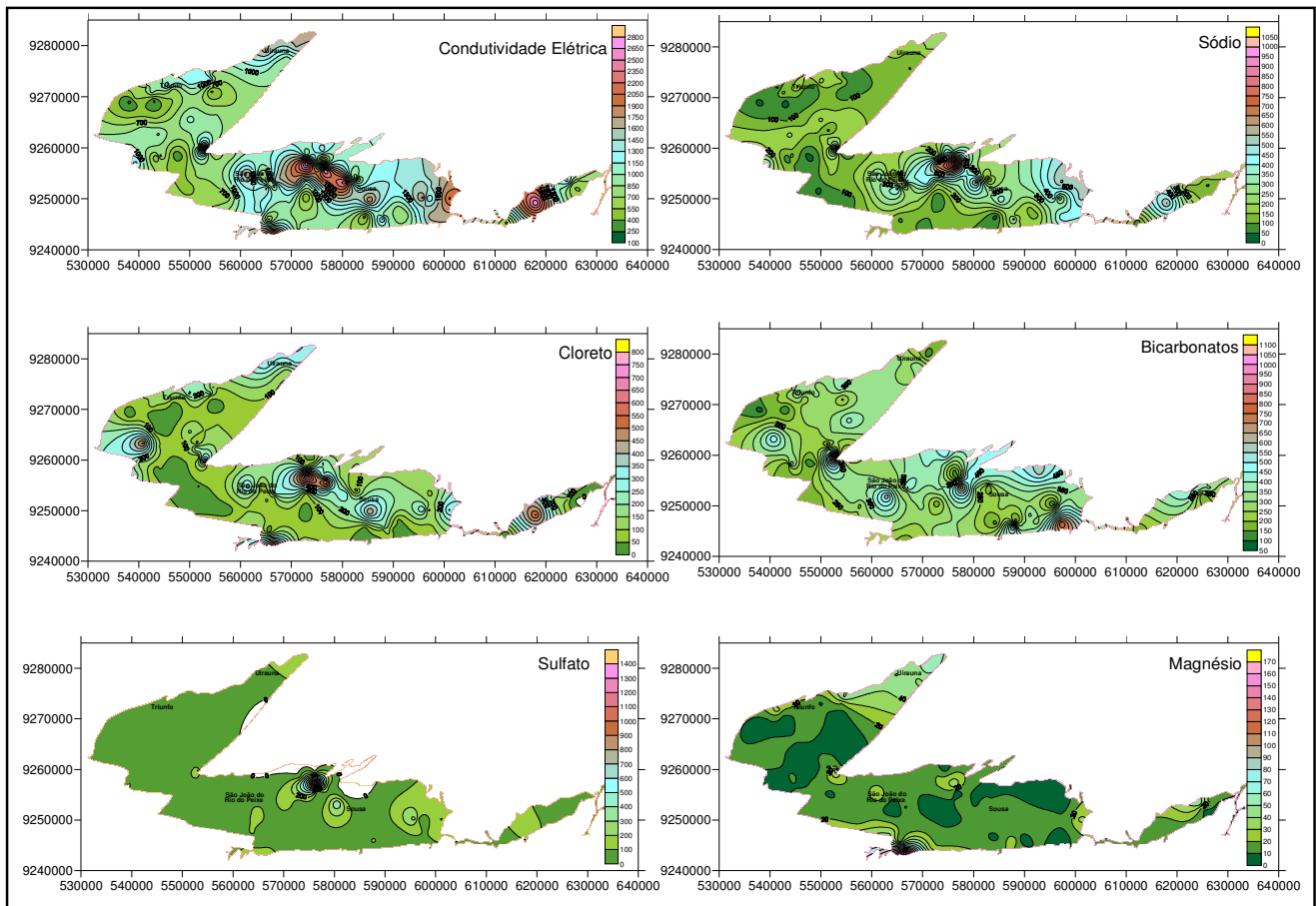


Figura 6 – Mapas de isolinhas evidenciado a distribuição de alguns parâmetros de qualidade das amostras de águas de poços da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe-PB (agosto a novembro 2005).

A distribuição das águas segundo sua qualidade para irrigação (perigo de sódio e de salinização dos solos – classificação de Riverside, USSL) mostrou predominância dos tipos C2-S1 (30% das amostras), C3-S2 (22%) e C3-S1 (19%), seguidos por C3-S3 (12%), C3-S4 (10%), C4-S4 (4,5%), C1-S1 (2%) e C4-SI e C2-S1, cada um com 0,91 %. A predominância de águas C3, com alto risco de salinidade para os solos, é coerente com os valores predominantes de condutividade elétrica medidos (média geral de 1.013 $\mu$ S/cm e resíduo seco de 669 mg/L. Quanto a sodicidade, foi mais freqüente o tipo S1 (calculada pela Razão de Adsorção de Sódio -RAS), ou seja, de baixo risco de sódio, o qual está de acordo com a literatura especializada, que cita, para o nordeste, menor perigo de sodificação dos solos do que riscos de salinização.

As classes mais freqüentes, C3-S2 e C3-S1, com alto perigo de salinização do solo, porém com baixo e médio risco de sódio, se distribuíram em toda a Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, embora com valores menores de salinidade nos poços localizados nas bordas da sub-bacia de Brejo das Freiras, onde a formação aquífera Antenor Navarro ocorre em superfície, em particular, nas

proximidades de Uiraúna e de Triunfo. Pode-se explicar essa distribuição da qualidade da água à luz do escoamento das águas subterrâneas nesta sub-bacia que se faz das zonas de recargas desse aquífero, com as partículas de sais migrando para a zona saturada do solo e daí para os exutórios da bacia. Os resultados obtidos coincidem com os de Albuquerque (1986) e com os de Lima *et al.* (2004), que citam que, embora a classe C3-S1 se distribua na maior parte da bacia, é em torno dessas duas cidades que ocorrem águas C3-S2, de alta salinidade e mediamente sódicas. Outras áreas de concentração das variedades C3-S1 e C3-S2 se observam nas proximidades da cidade de Santa Helena e do Açude Pilões, havendo nesta última, um poço de qualidade C3-S3 (altos riscos de sódio e de salinidade). Este açude está localizado no contato entre a formação Sousa e o Cristalino e nas suas proximidades os poços devem captar o aquífero Sousa. Entre os agrupamentos citados ao redor das três cidades e do açude, se observam poços dispersos com qualidade C1-S1 e C2-S1.

A Figura 7 apresenta a distribuição da qualidade das águas para irrigação no mapa da bacia sob estudo, onde também foram sinalizadas algumas das ações antropogênicas que poderiam impactar os mananciais.



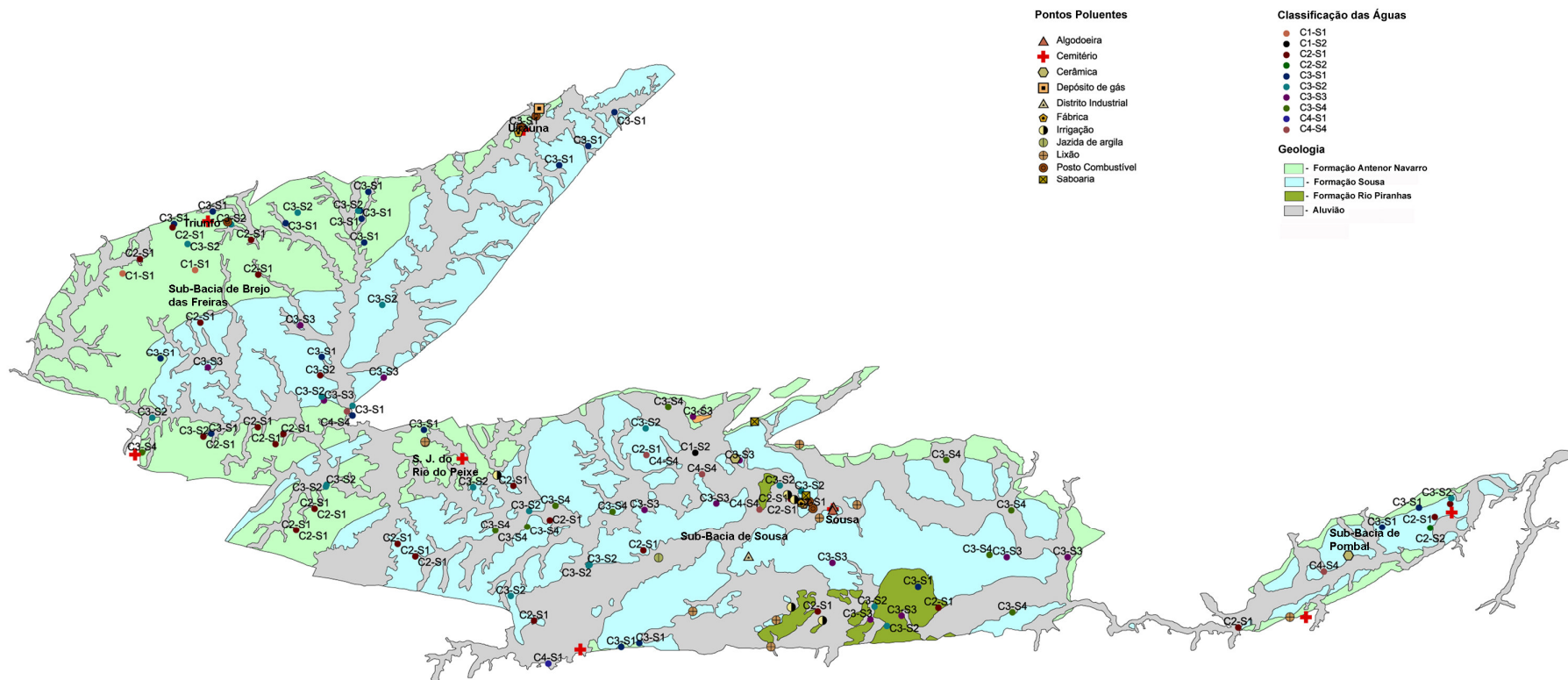


Figura 7 – Classificação das águas subterrâneas da bacia sedimentar do Rio do Peixe, segundo o Laboratório de salinidade de Riverside (USSL).

No aquífero de Sousa percebe-se claramente uma mudança da qualidade da água, pela predominância de águas sódicas, com forte risco, e com a salinidade quase sempre alta (tipo C3). No entanto, quando se verifica as águas contidas na formação Antenor Navarro a jusante do estrangulamento que une as duas sub-bacias, essas voltam a apresentar melhor qualidade, com o risco de salinidade surgindo de médio a alto (C2 a C3), porém, com perigo de sódio, predominantemente, baixo (tipo S1).

À medida que a formação aquífera Antenor Navarro (com baixo perigo de sódio -S1) se aproxima com a de Sousa, e logo no contato, percebe-se a diferença qualitativa da água, que apresenta predominância de forte a muito forte risco de sódio (tipo S3 a S4), chegando a atingir níveis críticos ao norte dessa sub-bacia, na zona salinizada, já identificada através da análise das isolinhas de resíduo seco, da condutividade elétrica e de íons, com águas tipo C4-S4 e, portanto, impróprias para a irrigação, corroborando, assim, o diagnóstico de Albuquerque (1986), quando o mesmo, verificou o aumento da salinidade e do risco de sódio, desde a borda oeste até o leste da sub-bacia de Sousa, onde, em suas proximidades (de 5 a 6 km), ocorrem os piores tipos de água para a irrigação em termos de salinidade (C4) e de perigo de sódio (S2, S3 e até S4). Também Lima *et al* (2004), identificaram na mesma localidade as categorias C3-S3, C5-S2, C5-S3, C5-S4 e até C6-S2. Entretanto, esta última não foi observada no presente trabalho.

Na formação aquífera Rio Piranhas ocorre diversidade de classes, já esperadas, pelo estudo do conteúdo iônico destas águas e com riscos de salinização entre médio a alto (C2 a C3) e perigo de sódio variando entre baixo, médio e alto (S1, S2, S3).

Na sub-bacia de Pombal, prolongamento, para leste, da sub-bacia de Souza, são mais frequentes poços com águas entre médio a alto grau de salinidade (C2 a C3) e de baixo a médio teor de sódio (S1 a S2).

## **5 – CONCLUSÕES**

Existem diferenças de qualidade das águas subterrâneas dos aquíferos analisados: Antenor Navarro, Sousa e Rio Piranhas, sendo os parâmetros diferenciadores condutividade elétrica, resíduo seco, sódio, cloreto, sulfato, potássio e alcalinidade de bicarbonato. Os poços do aquífero Antenor Navarro apresentaram menores teores de salinidade, alcalinidade total, alcalinidade de bicarbonatos e dureza em comparação com os do aquífero Sousa, o que está de acordo com a constituição litológica destas formações, predominantemente arenítica e pelítica, respectivamente. As águas dos poços do aquífero rio Piranhas apresentam uma maior variabilidade qualitativa, igualmente refletindo a sua constituição litológica, variável entre arenitos a argilitos calcíferos;

A composição iônica global dessas águas é assim resumida:  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$ ;  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ , predominado, águas bicarbonatadas e sódicas, com teores variados de magnésio e, em poucas amostras, altos teores de sulfatos.

A distribuição espacial das águas segundo sua qualidade para irrigação (classificação de Riverside, USSS) mostrou predominância dos tipos C2-S1 C3-S2 e C3-S1 ou seja com riscos médios a altos de salinidade e baixos de sodificação.

Na sub-bacia de Brejo das Freiras as águas estão incluídas nos intervalos C1S1-C3S2 tendo, portanto, uma maior adequação para uso em irrigação, ao passo que, na sub-bacias de Sousa predominam as águas no intervalo C3S3-C4S4, com núcleos mais salinos situados nas cercanias dos poços de petróleo, pouco adequando-se ao uso de irrigação;

Na sub-bacia de Pombal, prolongamento ao leste da sub-bacia de Sousa, as águas voltam ao intervalo verificado na sub-bacia de Brejo das Freiras, talvez refletindo a constituição predominantemente arenítica destas sub-unidades geológicas;

Sub-grupos de poços de diferentes qualidades foram observados em cada uma dessas formações, sendo discriminantes condutividade elétrica, potássio, cloretos, dureza e resíduo seco na formação aquífera Antenor Navarro e, na formação aquífera de Sousa, alcalinidade de bicarbonato e alcalinidade carbonato e dureza. Na sub-bacia de Sousa o fluxo subterrâneo (de oeste para leste) exerce forte influência no aumento dos teores de sais, o que corrobora estudos anteriores.

Ao norte da sub-bacia de Sousa, se concentram as águas subterrâneas de pior qualidade, formando uma zona bem definida, de extrema salinidade e de altos valores de sulfato situada na área próxima do poço petrolífero. Infere-se a influencia do petróleo na área, sugerindo possível presença de metais pesados e de derivados de petróleo que poderiam ter contaminado o aquífero.

Em termos de consumo humano, todas essas águas apresentam entre nenhuma a altas restrições e entre média e alta para outros diversos usos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. do P.T. - *O Sistema Aquífero Rio do Peixe*. 4º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Brasília, Anais, p.194-207, 1986.

ALBUQUERQUE, J. do P.T., *Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste*, Folha N 15, Jaguaribe SE, Série Hidrogeologia N 32, SUDENE, Div. De Hidrogeologia, 187 p., Recife, 1971 (acompanha mapa na escala 1:500.000).

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – “*Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*”. 20<sup>th</sup> ed. Washington D. C.: American Public Health Association, 1998, 1569p.

ANEEL/UFPB (2001). *Regionalização de Vazões características de longo termo para os rios da Sub-bacia 37*. Convênio nº. 0007/2000, AERH/CCT/Campus II, Campina Grande - PB, Junho de 2001.

COSTA, W. D. – *Nota Preliminar da Geologia da Bacia do Rio do Peixe*. Bol.Geol.,4 47-50. 1964.

LIMA, E. A. DE, NASCIMENTO, D. A. DO & BRANDÃO, L. C. R., *Mapa “Hidroquímica dos Mananciais Subterrâneos da Folha Souza (SB.24-Z-A)”*. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Diretoria de Geociências-DGC, 2004.

LIMA FILHO, M.F.. *Evolução Tectono-Sedimentar da Bacia do Rio do Peixe (PB)*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia., Universidade Federal de Pernambuco. 1991.

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).

PEREIRA, A. *Guia prático de utilização do SPSS*. Lisboa: Edições Sílabo LTDA, 1999, 194p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, 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.

SOKAL, R., and F. ROHLF. 1981. *Biometry (2º ed.)*. W. H. Freeman and Co, San Francisco, 854 p.

VASCONCELOS, E. C. *Estudo Faciológico da Formação Souza (Grupo Rio do Peixe, PB)*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco,1980.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem às instituições FINEP, CT-Hidro e CNPq pelo apoio financeiro e à CPRM pela parceria.