

HIDROGEOQUÍMICA DE SISTEMAS AQUÍFEROS E SUA INFLUÊNCIA NO RESERVATÓRIO COREMAS – MÃE D'ÁGUA.

Lourdes Lucena Agostinho¹; Bernardete Cavalcanti² & Luciano Nascimento¹.

Resumo - A partir de dados físico – químicos de 15 amostras selecionadas de poços da área adjacente ao reservatório geminado Coremas – Mãe D'Água foram calculados índices de saturação dos minerais carbonatados *calcita*, *magnesita* e *dolomita* bem como o potencial de precipitação/dissolução de CaCO₃. As fácies sódicas carbonatadas seguida de fácies magnesianas carbonatadas e dolomíticas mostra a influência desses minerais nas águas subterrâneas. Em 53% das amostras houve precipitação de *calcita* e nenhuma amostra indicou saturação com minerais carbonatados. A predominância de águas muito duras evidenciou a tendência de dissolução de CaCO₃. Foi observado que a geoquímica local influencia a qualidade das águas do reservatório geminado.

Abstract - From physical – chemical data of 15 selected samples of wells of the adjacent area to the reservoir Coremas – Mãe D'Água it were calculated saturation indexes of the carbonate minerals *calcite*, *magnesite* and *dolomite* as well the CaCO₃ precipitation/dissolution potential. Sodium carbonate facies followed by magnesium carbonate and dolomitic facies show the influence of these minerals in groundwater. In 53% of the samples occurred calcite precipitation and no sample was saturated with respect to carbonate minerals. Predominance of hard waters made evident the tendency of CaCO₃ dissolution. It was observed that the local geochemistry influences the water quality of the geminated reservoir.

Palavras-chave - Hidrogeoquímica; índices de saturação; minerais carbonatados.

¹Departamento de Materiais da UFPB, e-mails: cristina.materiaisufpb@gmail.com e luciano.materiaisufpb@gmail.com ;

²Professora Consultora, UFCG, R Damasquino Maciel, 785, ap.502, João Pessoa, PB; e-mail: bfcavalcanti07@hotmail.com.

INTRODUÇÃO

O sistema cristalino ocupa a maior parte da bacia do rio Piancó que é, na realidade, uma sub – bacia do rio Piranhas – Açu abrangendo parte dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. A bacia está esculpida em terrenos do Complexo Cristalino Pré – Cambriano do nordeste brasileiro. O relevo acha – se incluso na Depressão Sertaneja que representa a paisagem típica do semi – árido nordestino; ou seja, uma superfície de pediplanação monótona com relevo suave ondulado cortada por vales estreitos com vertentes dissecadas. Na bacia são também observadas elevações residuais e cristas que mostram os ciclos intensos de erosão ali ocorridos. Do ponto de vista geológico, a bacia engloba várias unidades litoestratigráficas tais como a Cenozóica representada por depósitos aluvionares, formações da Mesozóica e a Neoproterozóica como o “Grupo Cachoeirinha” (com filitos xisto calcários cristalinos, quartzitos e outros), grupo Antenor Navarro e complexos gnáissico-migmatítico entre outros. A Figura 1 mostra a geologia da bacia do rio Piancó, PB.

O grande interesse hídrico dessa bacia se deve ao represamento das águas superficiais pelas barragens geminadas Coremas - Mãe D'Água. Este sistema armazena 1,35 bilhões de metros cúbicos de água e fornece água para vários usos dentro e fora da bacia do Piancó, inclusive geração de energia elétrica.

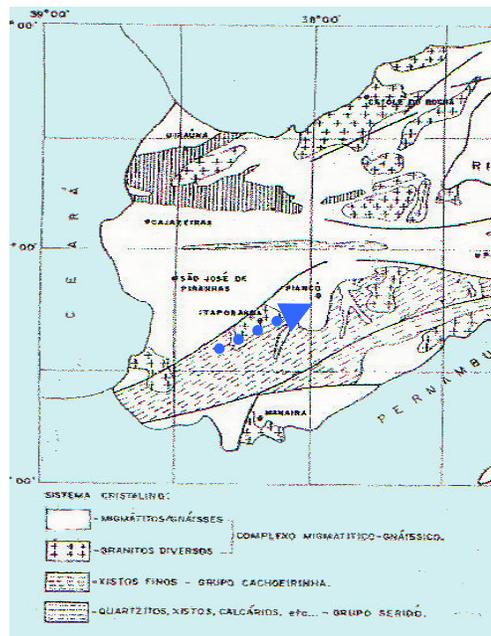
Com vistas à análise da influência da qualidade das águas subterrâneas no reservatório geminado foi feito um estudo hidrogeoquímico em 15 amostras representativas de 52 poços nos municípios de Pombal (próximo à bacia do Alto Pirinhas), Coremas, Piancó e Igaracy que circundam o local.

Para a análise da variabilidade espacial da geoquímica foram determinadas e classificadas fácies hidrogeológicas e obtidas correlações específicas da composição química da água. Essas correlações dos íons maiores da água (cátions como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} e anions como HCO_3^- , Cl^- , e SO_4^{2-}) permitiram analisar se no curso da percolação na área estudada a água adquiriu sua mineralização.

A influência da mineralização nas águas do complexo hídrico superficial é também analisada. As águas em áreas dolomíticas quando trazidas à superfície, em contato com o ar, podem se tornar supersaturadas em relação ao carbonato de cálcio

e provocar uma precipitação excessiva em barragens, canais e tubulações. Outras águas contendo teores elevados de cálcio e de magnésio (as chamadas águas duras) necessitam de muito sabão para lavagens e causam efeitos danosos em processos industriais.

A determinação do potencial de precipitação/dissolução de carbonato de cálcio bem como de Índices de Saturação de minerais carbonatados (*calcita*, *magnesita* e *dolomita*) permitem avaliar qualitativamente e quantitativamente essas influências.



Coremas: Grupo Cachoeirinha, Grupo Seridó e Complexo Piancó.

Igaracy: Complexo Piancó.

Piancó: Suíte calcialcalina Conceição, Grupo Cachoeirinha e Complexo Piancó.

Pombal: Formação Antenor Navarro, Suíte calcialcalina, Suíte Poço da Cruz, Suíte Várzea Alegre e Complexo Caicó.

Figura 1. Distribuição de sistemas aquíferos e da geologia dos municípios que compõem a área de estudo.

1. TEORIA APLICADA

1.1. Parâmetros da fase aquosa – sólida da água.

A partir dos dados dos principais íons catiônicos e aniônicos da água foi obtida inicialmente a força iônica de cada amostra pelas seguintes equações:

$$I = \frac{1}{2} \sum c_i z_i^2 \quad (1)$$

onde, c = concentração molar, mol.l^{-1} ; z = carga ou valência; "i" = espécie iônica

qualquer. No caso de águas de alta força iônica (águas salobras ou salinas) com predominância de cloretos uni-univalentes como NaCl e KCl a força iônica é obtida da equação de Loewenthal, R. e Cavalcanti, B.F. (1981):

$$I = cs \times 10^{-5} = (cNa + cCl)/2 \times 10^{-5} \quad (2)$$

onde, cs = concentração salina ou teor do íon cloreto, mg/l.

Para águas com predominância de sais alcalino-terrosos como os de magnésio, MgCl₂ (bastante comum em águas naturais do semi-árido nordestino), Cavalcanti, B & Loewenthal, R (1981) obtiveram a seguinte expressão:

$$I = 3cs \times 10^{-5} = (cMg + 2cCl) \times 10^{-5} \quad (3)$$

A Dureza Total, DT (mg/lCaCO₃) equivale à soma das durezas de carbonato (ou temporária), DC e da dureza de não carbonato, DNC ou permanente. No caso de águas com pH na faixa de 8,0 a 9,6, a seguinte aproximação pode ser usada com as concentrações expressas na escala de carbonato de cálcio (mg/lCaCO₃):

$$DC = AlcCO_3^{2-} + AlcHCO_3^- = HCO_3^- + CO_3^{2-} \quad (4)$$

A classificação da dureza (na escala X = mg/lCaCO₃) é feita pela escala de Künin (1972) onde DT < 60X indica água branda, B; para 61X < DT < 120X a água é moderadamente dura, MoD; 121X < DT < 180X indica água dura, D e para DT > 180X a água é muito dura, MD.

1.2. Índices Analisados.

O Índice de Loewenthal, ILw fornece quantitativamente e qualitativamente o potencial de precipitação/dissolução de CaCO₃ de águas naturais sendo obtido pelo software STASOFT Versão 3.0 de Friend, J. e Loewenthal, R.E. (1995). O software é baseado no modelo de equilíbrio químico Ca²⁺ – Mg²⁺ – CO₃²⁻, fornece soluções numéricas rápidas para a caracterização da água e é aplicado para águas com teor de Sólidos Totais Dissolvidos até 15 000 mg/l.

Para o cálculo de coeficiente de atividade para íons monovalentes e

divalentes é aplicada a equação de Davies que, por exemplo, para o íon monovalente H^+ tem a seguinte expressão:

$$- \log f_H = 0,5z^2 \{ (I^{0,5}) / (1 + I^{0,5}) - 0,3I \} \quad (5)$$

Devido à predominância de minerais carbonatados na bacia foram determinados os Índices de Saturação de (i) *Calcita* ($CaCO_3$) que ocorre nas rochas sedimentares da bacia (calcários de precipitação química ou biogênica), metamórficas e magmáticas; (ii) *Magnesita* ($MgCO_3$) que resulta de produtos de alteração de rochas magmáticas ou metamórficas com magnésio abundante na bacia e (iii) *Dolomita* ($CaMgCO_3$) presente nas rochas sedimentares e em seus equivalentes metamórficos (mármore dolomíticos).

O Índice de Saturação da *calcita* foi desenvolvido por Langmuir em 1971 e está expresso em termos de concentração molar; a saber:

$$I_{sc} = -1,98 + pH + \log C_{Ca^{2+}} + \log C_{HCO_3^-} \quad (6)$$

onde, “C” indica concentração molar, mol/l.

O trabalho de Cavalcanti et al. (2000) apresentou uma grande modificação em equações de Índices de Saturação de minerais carbonatados ao incorporar efeitos das atividades das espécies iônicas envolvidas. Em todas as equações, a espécie carbonato é determinada pela segunda equação de dissociação do sistema carbonatado; ou seja, a partir da definição da segunda constante de dissociação como se segue:

$$K_2 = (H^+) (HCO_3^-) / (CO_3^{2-}) \quad (7)$$

Na equação acima, o valor de K_2 é diferente para águas doces e salinas sendo pK_2 igual a 10,39 à 25°C para águas doces e 9,36 para águas salinas (Cavalcanti, B e Sousa, F., 1995).

O produto de solubilidade da *calcita* e da *magnesita* são dados, respectivamente por:

$$pK_{psC} = - \log(Ca^{2+}) - \log (CO_3^{2-}) \quad (8)$$

$$pk'_{psM} = -\log(Mg^{2+}) - \log(CO_3^{2-}) \quad (9)$$

A combinação das equações (7) e (8) para a *calcita* e de (7) e (9) para a *magnesita* para águas doces resulta em:

$$IsC = -2,06 + pH - p(Ca^{2+}) - p(HCO_3^-) \quad (10)$$

$$IsM = -2,19 + pH - p(Mg^{2+}) - p(HCO_3^-) \quad (11)$$

De modo similar, obtém-se essas equações para águas salinas: a saber:

$$IsC = -1,03 + pH - p(Ca^{2+}) - p(HCO_3^-) \quad (12)$$

$$IsM = -1,13 + pH - p(Mg^{2+}) - p(HCO_3^-) \quad (13)$$

Com relação à *dolomita* seu Índice de Saturação é obtido a partir da reação de dissociação dada pela equação (7) e a equação do produto de solubilidade obtida da reação de dissociação abaixo:



O Índice de Saturação para águas doces e salinas com as modificações introduzidas segundo Cavalcanti et al. (2000) é dado por à temperatura de 25°C:

$$IsD(ad/as) = 0,30 + 2*IsC(ad/as) + p(Ca^{2+}) - p(Mg^{2+}) \quad (15)$$

2. TRATAMENTO DOS DADOS

Nos quatro municípios circunvizinhos ao reservatório Coremas – Mãe D'Água (Coremas, Igaracy, Piancó e Pombal) foram cadastrados 52 poços com análises feitas em termos de pH, condutividade elétrica e principais íons da água (na escala meq/l). Esses resultados foram agrupados segundo as fácies hidrogeológicas previamente obtidas e segundo o tipo de dureza de cada amostra. Dessa forma foi possível selecionar as 15 amostras representativas. A salinidade foi classificada em termos de condutividade elétrica antes da determinação das fácies hidrogeológicas e dos índices de saturação com vistas também ao cálculo correto dos coeficientes de atividade de espécies monovalentes e divalentes das águas. Devido a predominância

de minerais carbonatados na bacia foram determinados os Índices de Saturação da *calcita*, *magnesita* e *dolomita*. As correlações entre espécies iônicas analisadas inicialmente para as 52 amostras e depois para as 15 amostras representativas permitiram uma análise mais eficiente do que o diagrama de Piper. Essas correlações foram divididas em dois grupos; a saber:

(1) correlações entre íons principais como bicarbonato, sódio e sulfato com o teor de cloreto, teor de potássio com o teor de sódio, teor de sódio com a dureza total da água e do teor de magnésio em relação ao cálcio;

(2) correlações entre as espécies iônicas e catiônicas e o teor de Sólidos Totais Dissolvidos representadas por $r=0,001\text{STD (meq/mg)}$.

A partir dos dados de pH, Sólidos Totais Dissolvidos (mg/l), Alcalinidade Total (mg/CaCO₃) foi obtido o Índice de Loewenthal, ILw. Esse índice foi também aplicado nas águas superficiais do reservatório Coremas - Mãe D'Água. Vale salientar que o procedimento de especiação iônica foi também aplicado nessas águas superficiais.

3. RESULTADOS.

A Tabela 1 mostra os dados iniciais das 15 amostras selecionadas em 52 análises físico – químicas das águas subterrâneas da área de estudo. A Tabela 2 mostra os valores médios das correlações entre espécies iônicas em substituição ao diagrama de Piper. Os valores calculados de desvio padrão no número total de amostra foram também inseridos na Tabela 2. As correlações entre íons de maior interesse da água (cátions e anions) foram plotadas em gráficos versus teor de Sólidos Totais Dissolvidos conforme se vê nas Figuras 2 e 3, respectivamente. A partir dos dados da Tabela 1 foi confeccionada a Tabela 3 que mostra a distribuição espacial das fácies hidrogeológicas, pH, Dureza, Alcalinidade e Índices de precipitação/dissolução e de saturação de minerais carbonatados. Finalmente, a Tabela 4 mostra os dados iniciais e parâmetros calculados (fases aquosa – sólida da água) para as águas superficiais do reservatório Coremas – Mãe D'Água.

Tabela 1. Distribuição espacial do pH, condutividade elétrica e espécies iônicas das águas subterrâneas da área de estudo.

Poço	pH	CE (mS/m)	Escala equivalente (meq/l)							
			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Co.1	7,8	90	3,60	0,16	2,43	2,88	6,70	0,40	3,00	0,30
Co.2	8,0	59	5,00	0,10	0,99	2,22	4,00	1,40	0,60	0,00
Ig.1	7,4	40	3,38	0,11	1,10	0,40	4,90	0,00	0,70	0,10
Ig.2	8,0	90	5,50	0,40	1,00	2,00	6,68	0,12	1,10	0,48
Ig.3	7,4	130	5,09	0,21	3,75	4,46	11,0	0,00	4,01	0,20
Ig.4	7,4	50	2,61	0,13	2,01	1,80	5,36	0,00	0,76	0,60
Ig.5	8,1	60	3,60	0,24	1,56	1,65	5,40	0,14	1,2	0,29
Pi.1	7,9	67	4,35	0,15	1,50	2,20	5,44	0,00	2,12	0,15
Pi.2	8,4	67	2,85	0,27	2,17	1,96	4,53	0,64	0,96	0,83
Po.1	7,4	70	3,42	0,69	1,47	1,52	6,08	0,00	1,10	0,21
Po.2	7,9	35	1,4	0,07	1,04	1,84	2,52	0,16	1,20	0,33
Po.3	7,6	35	10,5	0,56	0,97	0,98	2,52	0,00	8,89	1,55
Po.4	7,5	190	5,80	0,36	7,34	4,26	3,68	0,00	13,31	0,21
Po.5	7,4	35	1,68	0,90	1,68	0,68	3,84	0,00	0,50	0,00
Po.6	7,9	90	3,80	0,21	3,81	2,21	6,88	0,40	2,80	0,20

Simbologia usada: Co = Coremas; Ig = Igaracy; Pi = Piancó; Po = Pombal.

Tabela 2. Análise das correlações de espécies iônicas por fácies hidrogeológicas.

Correl.	rCl/HCO ₃	rK/Na	rNa/DT	rNa/Cl	rMg/Ca	rSO ₄ /Cl
Média	0,7	0,09	1,2	2,8	1,1	0,2
Desvio padrão	1,1	0,1	1,2	2,0	0,5	0,3

Tabela 3. Parâmetros da fase aquosa – sólida e índices de precipitação/dissolução de CaCO₃ e de saturação por fácies hidrogeológicas.

Fácies/Par.	Poço	pH	Alc. (X)	DT (X)	ILw (X)	IsC	IsM	IsD
Sódica	Co.2	8,0	273	161	-0,7	3,4	3,4	7,3
	Pi.1	7,9	272	185	0,7	3,6	3,4	7,5
	Ig.1	7,4	247	75	-19,2	0,1	0,2	0,8
Carbonatada	Ig.2	8,0	340	150	0,4	3,6	3,6	7,6
	Ig.5	8,1	277	161	5,6	3,8	3,5	7,8
Magnesiana	Po.2	7,9	134	149	-4,2	3,2	3,1	6,7
Carbonatada	Ig.3	7,4	550	411	12,8	3,8	3,5	7,7
Dolomítica	Po.4	7,5	184	580	5,5	3,6	3,1	7,1
	Ig.4	7,4	268	191	-36,2	3,0	2,6	5,9
Sódica bicarbonatada	Po.3	7,6	126	98	-11,9	2,7	2,4	5,6
	Po.5	7,4	192	118	-15,7	3,1	2,3	5,8
Sódica cloretada	Po.1	7,4	304	150	-17,4	3,2	2,8	6,4
Cálcica carbonatada	Po.6	7,9	364	301	22,6	14,1	3,5	8,0
	Pi.2	8,4	259	207	13,6	4,2	3,8	8,4
Magnesianabi carbonatada	Co.1	7,8	356	265	2,6	3,9	3,6	7,9

(X) = mg/lCaCO₃; fm = coeficiente de atividade de espécie monovalente e fd = coeficiente

de atividade de espécie divalente.

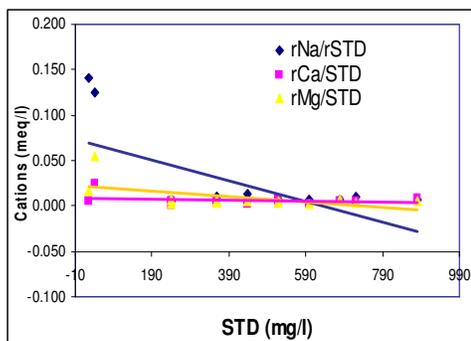


Figura 2. Correlações STD versus espécies catiônicas principais.

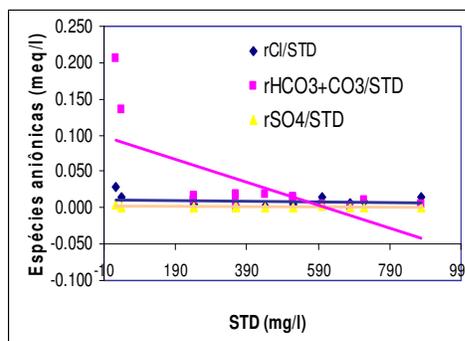


Figura 3. Correlações STD versus espécies aniônicas principais.

Tabela 4. Resultados da análise geoquímica e de parâmetros da fase aquosa – sólida no reservatório geminado da bacia do rio Piancó, PB.

Fá cies	pH	* Na ⁺	* K ⁺	* Ca ²⁺	*Mg ²⁺	* Cl ⁻	*SO ₄	*HCO ₃	**CE	Alc(X)
Calc CO ₃	7,7	0,54	0,14	0,70	0,42	0,47	0,00	1,48	18,8	74
DT (X)	ILw	IsC	IsM	IsD	rCl/Bi	rK/Na	rNA/ DT	rNA/ Cl	rMg/ Ca	rSO4/ Cl
56	-10,4	2,6	2,0	5,1	0,3	0,3	0,5	1,1	0,6	0,0

* = escala equivalente (meq/l); ** = Condutividade em MS/m; (X) escala de carbonato de cálcio (mg/ICaCO₃); Cal CO₃ = cálcica carbonatada.

4. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

4.1. Análise geoquímica.

A análise dos índices geoquímicos mostrou o seguinte:

(1) A correlação $rCl/rHCO_3^-$ permite analisar a evolução da composição química no decurso da circulação das águas subterrâneas. O valor médio de 0,70 está próximo

da correlação $r\text{SO}_4^{2-}/r\text{Cl}^-$ que tem a mesma característica.

(2) Na razão $r\text{Mg}^{2+}/r\text{Ca}^{2+}$ 47% dos valores estão próximos da unidade e mostram a possível influência de terrenos dolomíticos ou com serpentina. Os valores acima da unidade indicam uma relação com terrenos ricos em silicatos magnesianos.

(3) O valor médio para o índice $r\text{K}^+/r\text{Na}^+$ é de 0,09. Considerando que o cátion K^+ tem fixação preferencial no terreno essa relação era esperada porque nas águas subterrâneas é menor do que nas rochas por onde percolam.

(4) A relação iônica tipo $r\text{Na}^+/r(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ ou $r\text{Na}^+/r\text{DT}$ é de interesse ao estudo de processos de troca iônica ou para comparar com valores relativos de vários elementos verificados nas rochas dos aquíferos. O valor médio de 1,2 é bem superior ao das águas superficiais do reservatório geminado que está dentro da normalidade.

(5) A relação $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$ tem valor médio de 2,8 nas águas subterrâneas e de 1,1 nas águas superficiais sendo considerados próximos.

(6) A razão $r\text{SO}_4^{2-}/r\text{Cl}^-$ permite caracterizar a evolução da composição química da água de percolação. Em águas muito mineralizadas o teor de sulfato tende a permanecer constante. O valor de 0,2 foi determinado para as águas subterrâneas e demonstra essa tendência de comportamento.

4.2. Discussão sobre os Índices pesquisados.

Nas águas subterrâneas o Índice de Loewenthal mostrou uma quantidade um pouco maior de CaCO_3 dissolvido do que supersaturado. Já os Índices de saturação dos minerais carbonatados pesquisados (*calcita*, *magnesita* e *dolomita*) mostraram valores de supersaturação. O valor médio determinado para o índice de saturação da dolomita foi maior que o dobro dos demais para águas subterrâneas e para as águas superficiais do reservatório geminado.

4.3. Análise da dureza e da predominância de fácies hidrogeológicas.

Com relação à dureza total das águas subterrâneas a análise feita nos 52 poços iniciais mostrou que 6% dessas águas são brandas, 31% são moderadamente duras, 11% são duras, e 52% são muito duras. Já nas amostras representativas (por fácies hidrogeológicas) esses números foram reduzidos para 5,8% de águas brandas, 31% de águas moderadamente duras e de 63,2% de águas duras a muito duras. A distribuição para as fácies hidrogeológicas é a seguinte: 32,7% são sódicas carbonatadas, 21,1% são magnesianas carbonatadas, 17,3% são dolomíticas (calco magnesianas), 7,7% são sódicas bicarbonatadas, 3,9% são sódicas cloretadas; 1,9% são magnesianas bicarbonatadas, 13,5% são cálcicas carbonatadas e 1,9% são cálcicas bicarbonatadas. As águas superficiais têm fácies cálcicas carbonatadas seguida de sódicas carbonatadas e são águas brandas de baixa Alcalinidade.

4.4. Conclusões.

Este estudo mostra que há uma forte influência da geoquímica nas águas subterrâneas bem como nas águas superficiais do reservatório geminado Mãe D'Água e Coremas. Isto foi verificado como se segue:

- O estudo com índices hidrogeoquímicos permite uma análise mais abrangente da mineralização tanto de águas subterrâneas quanto de águas superficiais.
- O calcário ocorre com abundância na área de estudo sendo os depósitos presentes, em sua maior parte, no Complexo Gnáissico – Mitmatítico.
- Embora as águas subterrâneas sejam mais mineralizadas que as águas superficiais devido ao efeito de solubilidade de íons a partir de rochas atravessadas ambas as águas são supersaturadas em relação aos minerais carbonatados *calcita*, *magnesita* e *dolomita*.
- Foi claramente mostrado que as variações de cálcio e de Alcalinidade em ambos os tipos de água estão exclusivamente relacionadas à precipitação/dissolução de calcita e são obtidas com precisão pelo Índice de Loewenthal.
- Os Índices de Saturação de minerais carbonatados relacionados aos cátions Cálcio e Magnésio, em sua nova formulação, resultaram em valores mais precisos uma vez que foram considerados os efeitos de atividade de íons

monovalentes e divalentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATECEL/SEPLAN, 1999. Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias do Espinharas e do Médio Piranhas, PB. *Diagnóstico*. Tomo 1, Vols. 1 e 2, Campina Grande, PB.

CAVALCANTI, B.F; Sousa, F., 1995. Constantes Químicas de Dissociação de Águas Naturais. *Relatório Final CNPq*, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB.

CAVALCANTI, B.F.; Silva, F.F. da e Oliveira, J.G., 2000. Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas do Rio Paraíba do Meio em Alagoas. In: V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal, RN. *Anais da ABRH – NE*, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Seção RN, p.129 – 136.

FRIEND, J. & LOEWENTHAL, R., 1992. STASOFT Version 3.0: Chemical Conditioning of Low and Medium Salinity Waters. *Pretoria Water Research Comission*. Africa do Sul. 80 p.

KUNIN, R., 1972. Water softening by ion exchange. *Proceedings 14th Water Quality Conference* University of Illinois, EUA.

LANGELIER, W. 1936. The Analytical Control of Anti- Corrosion Water Treatment, *Journal AWWA*. EUA. p.1500 - 1521. 1936.

LOEWENTHAL, R. & MARAIS, G.,1976. *Carbonate Chemistry of Aquatic Systems: Theory and Application*. Ann Arbor Sc. Publishers. Michigan. EUA.

STUMM, W. & MORGAN, J.,1989. *Aquatic Chemistry*".Wiley - Interscience. NY. 780p.