

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ÁGUAS DO CRISTALINO DO NORDESTE BRASILEIRO¹

Luiz Gonzaga de Albuquerque Silva Júnior², Hans Raj Gheyi³ e José Francismar de Medeiros⁴

RESUMO

Objetivando-se determinar a variação da composição iônica de águas do cristalino do Nordeste brasileiro, realizou-se este trabalho utilizando-se um banco de dados correspondente a 557 resultados de análises químicas de água de diversas fontes, com condutividade elétrica (CEa) até 5.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, pertencentes às diversas propriedades rurais situadas no cristalino dos Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Foi determinada a composição iônica percentual das águas, levando-se em conta o local de origem das amostras e o nível de salinidade em que as mesmas se apresentavam; a partir daí, confeccionaram-se gráficos quanto à composição iônica e, para os teores de Na^+ , Cl^- , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e RAS, obtiveram-se equações de regressão linear com a condutividade elétrica. Os resultados mostraram que, de modo geral, as águas do cristalino do Nordeste brasileiro são cloretadas sódicas com alguma variação, de acordo com a litologia do local de origem e para fins de previsão, de regressões elaboradas em base local foram melhores que global, com exceção de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ para o Núcleo de Pau dos Ferros, RN.

Palavras-chave: qualidade de água, composição química, salinidade, irrigação

CHEMICAL COMPOSITION OF WATER IN THE CRISTALLINE REGION OF NORTHEAST BRAZIL

ABSTRACT

The objective of present study was to evaluate variation of ionic composition of water from crystalline region of the northeast Brazil, utilising data bank of 557 results of chemical analysis, with electrical conductivity up to 5,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, belonging to different rural farms, in the states of Paraíba, Rio Grande do Norte and Ceara. The chemical composition of water in terms of percentage, lithology of place of origin and water salinity level was evaluated. The study was made with graphs and regression analysis between salinity and contents of Cl^- , Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ and SAR. The results show that in general, the water from crystalline Brazilian northeast has lot of sodium chloride and it varies with the lithology place and for prediction purposes regression equations based on local data perform ed better than global equation except for $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ for nucleus of Pau dos Ferros-RN.

Index terms: water quality, salinity, irrigation, chemical composition

¹ Extraído da Dissertação de Mestrado do primeiro autor

² Eng. Agro, M.Sc., Consultor IICA-PAT CHESF/IICA - Av. do Sol no 100/302, Caminho do Sol; Petrolina, PE, CEP 56330-625

³ Eng. Agro, D.S., Prof. Titular, Depto. de Eng. Agrícola, UFPB, CP 10078, Campina Grande, PB, CEP 58109-970. Fone (083) 310 1056, Fax (083) 310 1185. E-mail: hans@deag.ufpb.br.

⁴ Eng. Agro, D.S., Depto. Eng. Agrícola, ESAM, CP 137, Mossoró, RN, CEP 59625-900. Fone (084)312-2614 Fax (084) 312-2499 E-mail: jfmedeir@esam.br.

INTRODUÇÃO

No Nordeste brasileiro existem milhares de poços e açudes cujas águas são utilizadas para irrigação, representando um importante insumo na cadeia produtiva; no entanto, sua qualidade varia no tempo e no espaço. O uso de água de má qualidade pode trazer danos ao meio ambiente, com sérios reflexos socioeconômicos.

Sabe-se que na época de estiagem os açudes e poços têm seus níveis de concentração de sais mais elevados, principalmente nesta época, quando também são mais elevadas a temperatura e a evapotranspiração da região e as culturas exigem maior suprimento de água, a fim de atender às suas necessidades fisiológicas sendo afetadas, portanto, com maior intensidade; assim, observa-se a importância do conhecimento de sua qualidade para evitar os problemas conseqüentes.

Cruz & Melo (1974) citam alguns fatores como responsáveis pela salinização das águas subterrâneas do cristalino do Nordeste brasileiro, entre eles o processo de concentração por evaporação, observando-se relação direta entre o índice de aridez [índice de aridez = Precipitação anual (mm) ÷ (Temperatura média anual (°C) + 10)] e o grau de salinização das águas; assim, a concentração total de sais varia de acordo com o zoneamento árido, observando-se ainda que o aumento da concentração é acompanhado por um aumento de Cl^- , Na^+ e Mg^{2+} . Outro fator de grande importância, citado pelos autores, é a condição de circulação da água, cujas fraturas de menor profundidade (abaixo de 40 m) se intercomunicam com os aluviões, favorecendo a renovação do aquífero, enquanto nas fraturas mais profundas a circulação é mais restrita, com condições mais estagnantes, havendo maior intercâmbio com a rocha e, assim, a influência litológica se sobrepõe à climática.

Uma outra observação feita pelos referidos autores para a região do cristalino é que, afora os grupos de águas bicarbonatadas e cloretadas-bicarbonatadas que isoladamente ocorrem, predominam águas cloretadas com características muito semelhantes. Eles não observaram nenhuma variação química como principal influência da litologia na salinização. Águas procedentes das mais variadas litologias (gnaisse, granitos de variada composição, xistos, quartzitos etc.) mostraram a mesma homogeneidade nos seus caracteres químicos. Leal (1969) corrobora com estes resultados quando cita que a mineralização exagerada das águas subterrâneas desta região se deve principalmente à concentração por evaporação e à dissolução de camadas contidas nas rochas, fenômenos que agem simultaneamente. A dissolução dos elementos ocorre vagarosamente num tempo muito longo, sendo os compostos pouco freqüentes nas rochas, mas de grande solubilidade, podendo estar presente nas águas associadas em maior quantidade que os elementos mais comuns, porém de menor solubilidade.

Segundo Yaron (1973) a composição de determinada água está de acordo com o tipo de rocha e do solo sobre o qual ela flui e da composição iônica da rocha matriz onde ela é armazenada. Leprun (1983) destaca que águas oriundas de regiões sedimentares, de baixa salinidade, são principalmente bicarbonatadas, sulfatadas ou mistas, enquanto nas fissuras das rochas precambrianas do embasamento cristalino, com tendência a águas mais salinas, há predominância unicamente de águas

cloretadas de sódio ou magnésio. Comparando a fonte e o local de origem das águas, Leprun (1983) observou que houve gradiente no sentido de um crescimento da mineralização na sucessão açude-rio-cacimba-poço; em relação à época do ano notou-se, também, que há variação na composição das águas dos açudes, da estação chuvosa para a seca, havendo aumento nas concentrações, em valores percentuais de Na^+ e Cl^- , enquanto o Ca^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} e, principalmente, o HCO_3^- , diminuíram relativamente na estação seca. O autor estudou, ainda, a influência da bacia hidrográfica sobre a composição das águas de vários riachos, encontrando crescimento positivo dos níveis de salinidade nas seguintes sequências: Areia Quartzosa, Latossolo Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, Vertissolo, Solo Litólico-eutrófico, Solonetz Solodizado e Planossolo Solodizado.

Segundo Kovda (1973) os principais sais presentes nos solos e águas são o cloreto de sódio (NaCl), o sulfato de magnésio (MgSO_4), o sulfato de sódio (Na_2SO_4), o cloreto de magnésio (MgCl_2) e o carbonato de sódio (Na_2CO_3). Tais sais podem ter sua solubilidade afetada em função de alguns fatores, como pH e temperatura na fonte, razão por que esses fatores devem ser levados em consideração no estudo da qualidade das águas, principalmente quando se tem carbonatos e/ou bicarbonatos. Outro fator importante é a interação de certos compostos/íons como por exemplo o gesso, cuja solubilidade aumenta de 2,04 para 7,09 g L⁻¹ quando colocado numa solução saturada de NaCl.

Estudos realizados por Costa & Gheyi (1984) com o intuito de caracterizar as águas usadas para irrigação na microrregião de Catolé do Rocha, PB, utilizando águas de diversas fontes (poços amazonas e açudes, principalmente) e coletadas no período seco e chuvoso, mostram que, de modo geral, o Na^+ predomina sobre o Ca^{2+} e Mg^{2+} . No período chuvoso, no entanto, chegou-se a observar a predominância do Ca^{2+} e Mg^{2+} sobre o Na^+ , principalmente quando as concentrações de HCO_3^- eram maiores que as de Cl^- , fato ocorrido apenas em águas com salinidade baixa (condutividade elétrica < 750 $\mu\text{S cm}^{-1}$).

Por outro lado, em vários estudos (Leprun, 1983; Laraque, 1989; Leite, 1991; Martins, 1993; Audry & Suassuna, 1995) têm observado a existência de correlações altamente significativas entre condutividade elétrica de água e diferentes características químicas das águas utilizadas para irrigação no Nordeste do Brasil, mostrando a possibilidade de estimativa empírica de algumas características que apresentam demora para determinação em laboratório. Considerando-se que litologia do local de origem tem papel fundamental na composição iônica das águas, o presente estudo teve por objetivo comparar as relações empíricas entre condutividade elétrica e composição iônica da água, a nível do Nordeste brasileiro e por região homogênea (núcleo) visando-se agilizar e melhorar a avaliação da sua qualidade.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Centro de Ciências e Tecnologia da UFPB onde se trabalhou com um banco de dados obtidos pelo Sub-Programa de Geração e Adaptação de Tecnologia do Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste - GAT/PDCT-NE (Suassuna & Audry, 1992, e Medeiros 1992).

O banco de dados corresponde a resultados de análises químicas de águas coletadas mensalmente no período de um ano (fevereiro de 1988 a janeiro de 1989) em diversas propriedades de agricultores assistidos pelo GAT (Figura 1) incluindo diversas fontes de água como poços, rios, açudes e cacimbões, entre outros, nos Estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte (Tabela 1). Com a intenção de se obter maior precisão nos resultados, foram selecionados 557 dados que possuíam índice de Schoeller* abaixo de 5% e condutividade elétrica da água (CEa) < 5.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

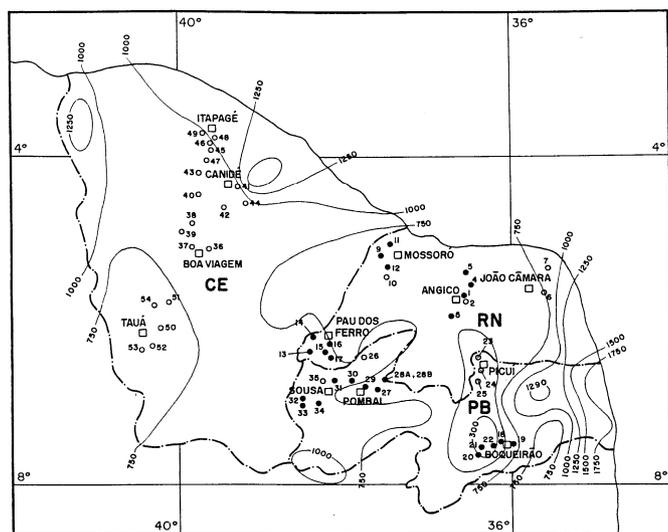


Figura 1. Mapa de isoietas de precipitação e localização das propriedades assistidas pelo Sub-Programa GAT, onde foram efetuadas as coletas de água (Fonte: Medeiros, 1992).

As análises foram realizadas conforme metodologias propostas por Richards (1954) para os teores de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-}); o cálculo da relação de adsorção de sódio (RAS) também foi realizado.

Para avaliação da composição iônica percentual da água e sua variação em função do nível de salinidade em que se encontrava, foram consideradas 11 classes de CEa como indicativo do grau de salinidade da água, consistindo nos seguintes limites: <250 , $250 > \text{CEa} \leq 500$, $500 > \text{CEa} \leq 750$, $750 > \text{CEa} \leq 1000$, $1000 > \text{CEa} \leq 1250$, $1250 > \text{CEa} \leq 1500$, $1500 > \text{CEa} \leq 2000$, $2000 > \text{CEa} \leq 2500$, $2500 > \text{CEa} \leq 3000$, $3000 > \text{CEa} \leq 4000$ e $4000 > \text{CEa} \leq 5000 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Para se comparar as composições iônicas da água em diferentes níveis de salinidade, calcularam-se os valores percentuais dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) / ou ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) em relação à respectiva soma, para os intervalos de CEa citados acima.

Para avaliação das diferenças entre as águas estudadas, no que diz respeito à existência de uma composição química diferente de região para região e, quanto aos comportamentos dos sais que compõem cada grupo, em relação à salinidade da água, foram elaborados gráficos contendo a composição iônica percentual das águas, em função da classe da salinidade e do local de origem (cinco dos doze núcleos existentes). Obtiveram-se, também, equações de regressão linear ($y = a + b \text{ CEa}$) correlacionando-se a característica da água ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, Na^+ , Cl^- e a RAS) em função da CEa que é o indicativo do nível de

salinidade. O estudo comparativo das diferenças entre as equações e o comportamento dos íons em função do incremento da salinidade, baseou-se na seguinte equação, recomendada por Gomes (1990).

$$(b_1 - b_2) \pm tN [(EPb_1)^2 + (EPb_2)^2] y_2$$

em que: b_1 e b_2 são os coeficientes angulares das equações lineares

EPb_n - erro padrão do coeficiente angular b_1 e b_2
 tN - valor tabelado "t - do teste de Student" para o nível de confiança desejado referente aos graus de liberdade da amostra.

A exclusão do valor 0 (zero) neste intervalo, indica diferença significativa entre as equações.

Como o local de origem e os caminhos por onde água flui para chegar ao local do armazenamento, são os principais fatores responsáveis pela presença de sais nas águas, foram selecionados cinco grupos, separados pelo local de origem (núcleos) para avaliação de possíveis diferenças existentes, sendo eles: núcleo de Pau dos Ferros, RN, com 4 fontes; Boqueirão, PB, com 4 fontes; Picuí, PB, com 3 fontes; Itapagé, CE, com 4 fontes e Tauá, CE, com 4 fontes. A Tabela 1 mostra a discriminação das propriedades e fontes de água por núcleo.

Quanto aos levantamentos hidrogeológicos das regiões em estudo, observou-se que todos os núcleos estão situados no cristalino nordestino. De acordo com Albuquerque (1970) as rochas presentes nos núcleos de Pau dos Ferros e Boqueirão são formadas por arcócio (rico em quartzo e granito) e anfibólio (contendo Mg^{2+} e Ca^{2+} e essas regiões possuem índice de aridez de 30-40 e de 0-10, respectivamente. Quanto à região de Picuí, segundo levantamentos do mesmo autor, as rochas são compostas por muscovita-biotita-xisto (ricos em potássio e ferromagnesianos) e índice de aridez entre 0-10; a região de Itapagé; conforme Silva & Silva (1970) é formada por biotita (rico em K^+ , Mg^{2+} e Fe^{3+}) e anfibólio (contendo Mg^{2+} e Ca^{2+} , com possibilidade de Na^+) enquanto o índice de aridez é de 20-30; já no núcleo de Tauá (Cruz & França, 1970) as rochas são constituídas por feldspatos tipo microclinal (rico em K^+ e Na^+), andesina (rico em Na^+ e Ca^{2+}) e biotita (ricos em potássio e ferromagnesianos) e seu índice de aridez é de 15-20.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados médios anuais da avaliação durante um ano da composição das águas coletadas nas diferentes propriedades. Vale salientar que os teores de CO_3^{2-} e K^+ , em todas as propriedades e épocas foram insignificantes, motivo pelo qual os mesmos não são incluídos na tabela.

Na Figura 2A tem-se a composição iônica percentual de águas oriundas de diversos lugares do cristalino nordestino (12 núcleos da GAT) em função do incremento da salinidade, através da qual se pode observar que em baixas concentrações salinas ($\text{CEa} < 750 \mu\text{S cm}^{-1}$) os teores percentuais dos íons de Ca^{2+} encontram-se nos seus níveis mais elevados, próximo aos teores do Na^+ ; no entanto, à medida em que as concentrações salinas das águas se elevam ($\text{CEa} > 750 \mu\text{S cm}^{-1}$) os níveis percentuais do Na^+ tendem a crescer, enquanto os íons de Ca^{2+} decrescem, tornando as águas cada vez mais sódicas e menos cálcicas, uma vez que a percentagem de Mg^{2+} variou pouco mostrando seu nível máximo no intervalo de $1500 > \text{CEa} < 1750 \mu\text{S cm}^{-1}$ a partir

* Índice de Schoeller = $[(\sum \text{cátions} - \sum \text{ânions}) \div (\sum \text{cátions} + \sum \text{ânions})] \times 100$

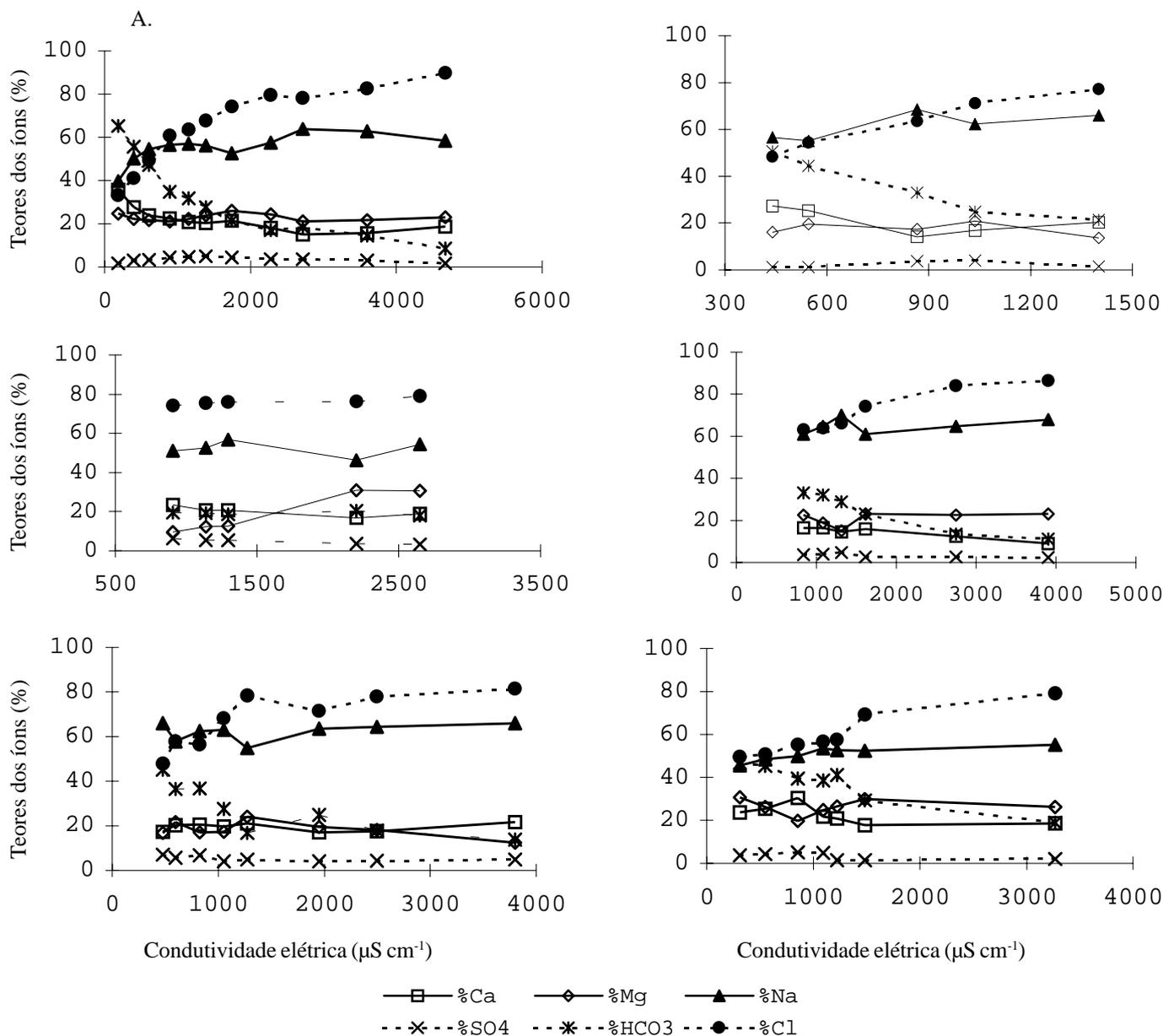


Figura. 2. Composição iônica percentual de águas oriundas de diversos lugares do Nordeste, em função do incremento da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$).

do qual seu valor se manteve superior ao de Ca^{2+} . Um aspecto importante a ser destacado é que as águas menos salinas possuem, desta forma, menor risco de sodificarem os solos. Quanto aos ânions, observaram-se comportamentos semelhantes ao relatado por Costa et al. (1982), com águas pouco salinas ($\text{CEa} < 750 \mu\text{S cm}^{-1}$) apresentando-se mais bicarbonatadas e as mais salinas, cloretadas. Os teores percentuais dos SO_4^{2-} permaneceram mais estáveis, variando pouco com a mudança da salinidade das águas.

Pelo exposto pode-se afirmar que as relações Cl/HCO_3^- e $\text{Na}^+(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ obedecem a uma relação direta com o incremento da salinidade, sendo maior quanto maior for a mineralização das águas, o que tem sido encontrado por alguns autores, a exemplo de Leal (1969) e Leprun (1983). O motivo para este fato é a elevada solubilidade dos cloretos em relação à solubilidade dos bicarbonatos de cálcio e magnésio. O aumento da concentração salina das águas proporciona cada vez mais os teores de cloreto de sódio, em detrimento dos teores de

bicarbonatos de cálcio e magnésio que tendem a precipitar em virtude da baixa solubilidade.

De acordo com os diagramas da Figura 2 (B - F) obtidos com a subdivisão das águas por local de origem ou núcleos, observa-se tendência de comportamento semelhante em relação ao da Figura 2A, havendo predominância do Cl^- e do Na^+ em alguns núcleos (Pau de Ferro-RN, Picuí-PB) na medida em que há aumento da salinidade, atingindo índices superiores a 80% de cloreto nos níveis mais altos ($\text{CEa} > 3000 \mu\text{S cm}^{-1}$); os teores percentuais dos HCO_3^- e Ca^{2+} , contrariamente, diminuiram com o aumento da salinidade. Os teores de Mg^{2+} acompanharam o comportamento do Ca^{2+} de uma maneira geral, exceto para os núcleos de Boqueirão, PB, Picuí, PB e Tauá, CE, onde mostraram teores superiores aos de Ca^{2+} e um aumento no percentual, sobretudo acima de $\text{CEa} 1500 \mu\text{S cm}^{-1}$. Esses resultados são consequência direta de tipos de rocha (anfíbólio, muscovita-biotita-xisto) encontradas na região de Boqueirão e Picuí, no Estado da Paraíba (Albuquerque, 1970).

Tabela 1. Fontes, locais de coleta e média das observações do período de fevereiro/1988 a janeiro/1989

Núcleo	Propriedade	Tipo de fonte	Cód.	Composição (mmol _e L ⁻¹)						
				CEa $\mu\text{S cm}^{-1}$	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
P. Ferros, RN	Traquina	Pç. Amazonas	Pf-1	730	0,27	2,85	4,46	1,30	1,20	5,07
P. Ferros, RN	Conceição	Pç. Amazonas	Pf-2	530	0,09	2,33	2,93	1,33	1,12	2,82
P. Ferros, RN	Barra.Catole	R.Perenizado	Pf-3	630	0,12	2,63	3,54	1,47	1,08	3,60
P. Ferros, RN	Malh. Alta	Pç. Amazonas	Pf-4	830	0,20	2,44	5,71	1,42	1,68	5,46
Boqueirão, PB	Campo Red.	Açude Grande	Bq-1	1.210	0,61	2,17	8,89	2,33	2,68	6,59
Boqueirão, PB	Serraria	R.Perenizado	Bq-2	2.260	0,83	4,47	18,03	4,32	4,96	14,06
Boqueirão, PB	Curtume	Açude Grande	Bq-3	1.140	0,62	2,21	8,39	2,36	2,50	6,16
Boqueirão, PB	Forq.do.Rio	Açude Grande	Bq-4	1.140	0,61	2,10	8,43	2,34	2,38	6,19
Picuí, PB	C. do Meio	Pç.Nt.IEsc.*	Pc-1	1.400	0,57	3,50	9,78	1,76	2,76	9,36
Picuí, PB	Casa de Ped.	Açud.Médio	Pc-2	1.150	0,36	3,14	7,74	1,81	2,38	6,92
Picuí, PB	Porteiras	Açud.Médio	Pc-3	2.220	0,58	3,34	19,04	2,75	5,20	14,77
Itapagé, CE	Ferros	Pç. Amazonas	It-1	890	0,56	2,75	5,45	2,01	1,72	5,05
Itapagé, CE	Forquilha	Pç. Amazonas	It-2	2.280	1,00	4,39	17,28	4,45	4,02	15,32
Itapagé, CE	S. José	Açude Grande	It-3	590	0,28	1,82	3,65	1,13	1,33	3,20
Itapagé, CE	São Miguel	Pç. Amazonas	It-4	790	0,45	2,84	4,55	1,36	1,35	5,11
Tauá, CE	V..da.Serra	Poço Natural	Ta-1	1.780	0,36	4,29	13,88	3,60	5,23	10,15
Tauá, CE	Arraial	Pç.Nt.Perm.**	Ta-2	960	0,20	4,10	5,29	2,12	2,64	5,11
Tauá, CE	Cajazeiras	Pç. Amazonas	Ta-3	800	0,44	3,15	4,48	2,33	1,84	3,86
Tauá, CE	Pau Preto	Poço Natural	Ta-4	950	0,55	3,94	5,13	2,19	2,07	5,40

* Poço natural intercalado por escavação em leito de rio

** Poço natural permanente

As variações da composição iônica percentual das águas, de acordo com as localidades, podem ser observadas na Figura 3 que revela, ainda, que a região de Pau dos Ferros-RN, com maior índice de aridez em relação as outras regiões (30 - 40) possui águas menos mineralizadas, menos cloretadas, porém mais bicarbonatadas, enquanto o teor de Na⁺ é relativamente baixo, dando lugar ao (Ca²⁺ + Mg²⁺) com nível percentual mais elevado. O mesmo efeito foi observado nas fontes do núcleo de Tauá, em que o médio índice de aridez (15 - 20) provavelmente refletiu nos níveis de salinidade das águas, apresentando baixos teores de Na⁺ e Cl⁻ e elevadas concentrações de HCO₃⁻ e (Ca²⁺ + Mg²⁺) em relação às outras regiões, com exceção da fonte Várzea da Serra (Ta-1) que, com mais alta salinidade, apresentou elevada concentração de Cl⁻ e baixa de HCO₃⁻. Por outro lado, as fontes dos núcleos de Boqueirão e Picuí no estado da Paraíba, com menores índices de aridez, tiveram os maiores níveis salinos de todos os grupos e águas altamente cloretadas, além de muito sódica no núcleo Picuí; assim, pode-se dizer que o nível de salinidade das águas dos núcleos está correlacionado com o grau de aridez local e que, de modo geral, os tipos de sais presentes nas águas estão mais de acordo com o nível da salinidade que com o local de origem, com altos teores de bicarbonato de cálcio e magnésio, em águas com baixa salinidade, e de cloreto de sódio nos níveis mais elevados de salinidade.

As fontes do núcleo de Picuí, situadas numa região de rochas mais rica que a do núcleo de Boqueirão mas apresentando os mesmos índices de aridez (0 - 10) e mesmos níveis de salinidade, mostraram-se mais concentradas em Na⁺ e menos em (Ca²⁺ + Mg²⁺), ocorrendo também um ligeiro decréscimo do teor percentual de SO₄²⁻, com aumento do teor de HCO₃⁻ (Figura 3). Pode-se observar, ainda, em relação às fontes do núcleo de

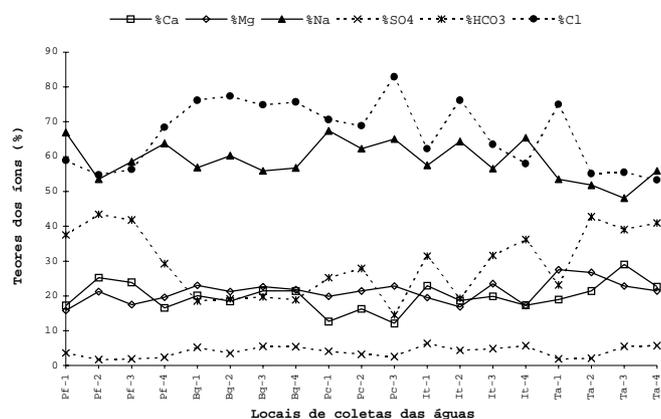


Figura 3. Composição iônica percentual de águas oriundas do núcleo de Pau dos Ferros-RN, segundo adaptação do método STABLER, em função do incremento da Condutividade Elétrica (mS.cm-1).

Boqueirão, todas fontes de origem superficial, que os teores percentuais de cloreto das águas variaram pouco, praticamente independente do nível da salinidade, podendo-se presumir que, neste caso, como as fontes eram todas superficiais e sendo pobres em bicarbonatos, a concentração da água pela evaporação aumentou o teor de cloreto proporcionalmente mantendo, portanto, a sua concentração relativa estável. Com respeito à composição geral destas águas, a litologia local foi fator importante, pois os íons mais presentes nas mesmas estão relacionados à sua composição, o que concorda com estudos de Leprun (1983) quando observou que os níveis de salinidade e de Cl⁻ e Na⁺, de águas superficiais (riachos e açudes) variaram em função dos solos de suas bacias hidrográficas.

Observando-se os coeficientes das equações da Tabela 2, como instrumentos indicadores do comportamento dos íons na água, percebe-se que há diferença significativa entre as equações obtidas para cada variável (Cl^- , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, Na^+ e RAS) entre os cinco núcleos estudados e entre estas e a global referente a toda região Nordeste (NE) e considerando-se todas as águas estudadas.

Com relação ao grupo de Tauá, CE, as equações de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Na^+ foram diferentes de todos os outros grupos (Tabela 2) podendo-se dizer, por essas duas equações, que as águas deste grupo possuem significativamente menos sódio e mais cálcio e magnésio que as demais; este mesmo efeito foi observado nas Figuras 2E e 3, em que, mesmo com uma média de salinidade alta ($\text{CEa} = 1.780 \mu\text{S cm}^{-1}$) a fonte de Várzea da Serra (Ta-1) apresentou o maior teor percentual de magnésio e a fonte de Cajazeiras (Ta-3) também com salinidade tendendo a alta, apresentou maior teor percentual de cálcio, tendo como reflexo os teores mais baixos de sódio de todos os grupos. Outro efeito deste comportamento foi o abaixamento da RAS, que apenas não diferiu significativamente do grupo de Picuí.

O grupo de Pau dos Ferros apresentou baixo coeficiente angular para $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e elevado para o Na^+ (Tabela 2) efeito inverso ao grupo de Tauá, o que significa tendência de maiores concentrações relativas de Na^+ nestas águas, apesar de sua baixa salinidade; neste sentido, as equações do ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) e RAS diferiram significativamente em relação a todos os outros grupos e o Na^+ diferiu de 3 outros grupos.

Com relação às equações desenvolvidas para o Cl^- (Tabela 2), o grupo de Picuí apresentou o maior coeficiente angular, sendo significativamente superior às equações de todos os outros grupos, inclusive à equação desenvolvida, usando-se as análises de todo o Nordeste. Pela Figura 3, este efeito pode ser observado quando as maiores concentrações percentuais de cloreto se encontram nos núcleos não só de Boqueirão, mas principalmente no núcleo de Picuí, a exemplo da fonte da propriedade de Porteiros (Pc-3) que possui o maior teor percentual de Cl^- (82,91%), com CEa média de $2.220 \mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto a fonte de Serraria (Bq-2), com nível de salinidade de $2.260 \mu\text{S cm}^{-1}$, apresenta teor de Cl^- de 77,30%, comprovando a presença significativa das maiores concentrações de cloreto nas águas daquela região.

De acordo com as equações, comprova-se que existem diferenças nas composições químicas das águas originárias de regiões diferentes. Além do efeito climático na evaporação e na concentração dos sais, pode-se afirmar que os solos de diferentes regiões relacionados à litologia local, têm capacidade de influenciar sobre a composição iônica percentual das águas, com incremento de íons específicos sobre outros, sendo determinantes da composição química das águas. Mesmo efeito foi observado por Santos et al. (1984) para água subterrânea no cristalino do Estado do Rio Grande do Norte, quando estabeleceram estreita relação entre a salinidade das águas e as características das diferentes associações de solos presentes na região.

Analisando-se os valores de coeficiente de determinação (R^2) que representa o quanto a variação de uma variável é explicada pela outra, para as diferentes relações encontradas, verifica-se que os mesmos são bem mais superiores para as equações obtidas por núcleo, do que quando se consideram

Tabela 2. Parâmetro das regressões lineares ($y = a + b \text{CEa}$) para Cl^- , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, Na^+ e RAS de acordo com o núcleo de origem*

Núcleo*	y	a	b**	R^2	EPb
NE	Cl	-2,38	0,00897 b	0,96	0,075
Pf	Cl	-1,74	0,00867 bc	0,96	0,269
Bq	Cl	-1,20	0,00843 c	0,98	0,165
Pc	Cl	-3,40	0,00976 a	0,99	0,211
It	Cl	-1,81	0,00840 c	0,99	0,174
Ta	Cl	-2,66	0,00881 bc	0,98	0,210
NE	Na	-0,69	0,00641 c	0,93	0,074
Pf	Na	-1,11	0,00785 a	0,93	0,340
Bq	Na	-1,65	0,00688 b	0,98	0,130
Pc	Na	-1,04	0,00715 ab	0,98	0,203
It	Na	-0,82	0,00701 b	0,99	0,145
Ta	Na	-0,72	0,00612 c	0,98	0,155
NE	Ca + Mg	0,47	0,00401 b	0,86	0,068
Pf	Ca + Mg	0,74	0,00282 d	0,78	0,244
Bq	Ca + Mg	0,19	0,00401 b	0,97	0,096
Pc	Ca + Mg	0,19	0,00337 c	0,96	0,136
It	Ca + Mg	0,25	0,00359 c	0,97	0,118
Ta	Ca + Mg	0,22	0,00471 a	0,97	0,120
NE	RAS	1,46	0,00216 b	0,67	0,065
Pf	RAS	0,41	0,00468 a	0,67	0,448
Bq	RAS	1,58	0,00214 bc	0,95	0,076
Pc	RAS	2,53	0,00213 bcd	0,81	0,199
It	RAS	1,96	0,00227 bc	0,89	0,142
Ta	RAS	1,51	0,00177d	0,85	0,126

* NE - equações referentes a 557 dados de todas as águas estudadas; Pf - equações referentes a 40 dados do núcleo de Pau-dos-Ferros, RN; B4 - equações referentes a 47 dados do núcleo de Boqueirão, PB; Pc - equações referentes a 29 dados do núcleo de Picuí, PB; It - equações referentes a 33 dados do núcleo de Itapagé, CE; Ta - equações referentes a 37 dados do núcleo de Tauá, CE

** Coeficientes angulares seguidos de mesmas letras, na vertical para mesma variável, não diferiram significativamente a 5% de probabilidade

todas as águas estudadas, exceto para o núcleo de Pau dos Ferros que provavelmente apresentava maior variabilidade litológica; assim, o Cl^- , Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e RAS são melhores estimados pelas equações quando as mesmas são obtidas para águas de uma região de características climáticas e litológicas mais uniformes exceto o núcleo de Pau dos Ferros, RN, no que diz respeito aos teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. Os altos valores do coeficiente de determinação para as relações de cada região, que apresentavam diferentes tipos de fontes, demonstram que as mesmas não afetam a composição das águas.

CONCLUSÕES

De acordo com os estudos realizados com as águas do cristalino do Nordeste brasileiro, pode-se afirmar que:

1. As águas possuem baixos níveis de sulfato, carbonato e potássio, independente da CEa.
2. Há predominância de águas cloretadas sódicas,

independentemente do nível de salinidade, dos locais e das fontes de origem;

3. Os teores de cloretos podem atingir valores superiores a 80% do total de ânions presentes na água com níveis de salinidade elevados ($CEa > 3.000 \mu S \text{ cm}^{-1}$).

4. As águas com baixos níveis de salinidade ($CEa < 750 \mu S \text{ cm}^{-1}$) podem ter as concentrações percentuais de bicarbonato próximas ou superiores às de cloreto;

5. O clima, quanto ao índice de aridez local, exerce influência sobre o teor de salinidade total da água cujo níveis, altos de salinidade, são associados aos índices elevados;

6. Para os núcleos estudados, os valores de Cl^- , Na^+ , $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ e RAS são melhor estimados pela CEa quando se utilizam-se equações empíricas obtidas em base de cada núcleo, com exceção de teor de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ para o núcleo de Pau dos Ferros, RN.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUDRY, P.; SUASSUNA, J. **A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino**. Recife: ORSTOM/FUNDAJ, 1995, 128p.
- ALBUQUERQUE, J.P.T. Inventário hidrogeológico básico do Nordeste. Folha no 15, Jaguaribe, Brasil, SUDENE, 1970. 187p. il. Série Hidrogeologia, 32
- COSTA, R.G.; CARVALLO, H.O.; GHEYI, H.R. Qualidade da água de irrigação na microrregião homogênea de Catolé do Rocha, PB. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, p.242-244, 1982.
- COSTA, R.G.; GHEYI, H.R. Variação da qualidade de água de irrigação da microrregião de Catolé do Rocha, PB. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.8, p.1021-1025, 1984.
- CRUZ, W.B.; FRANÇA, H.P.M. Inventário hidrogeológico básico do Nordeste. Folha no 14, Jaguaribe, Brasil, SUDENE, 1970. Série Hidrogeologia 31.
- CRUZ, W.B.; MELO, F.A.C.F. **Estudos geoquímicos preliminares das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil**. Brasil, SUDENE, 1974. 128 p. il. Série Hidrogeologia 19
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 13ª ed. Piracicaba, SP: Nobel, 1990. 486p.
- KOVDA, D.A. **Irrigation, drainage and salinity: An international sourcebook**. Paris: FAO/UNESCO, 1973. p.177-205.
- LARAQUE, A. **Estudo e previsão da quantidade de água de açudes do nordeste semi-árido brasileiro**. Recife: SUDENE, 1989. 65 p. Série Hidrológica, 26.
- LEAL A.S. **Considerações sobre circulação de águas em rochas cristalinas e salinização em regiões áridas - Área-piloto de Juazeiro-Curaçá, BA**. Recife: SUDENE, 1969. 28p. Série Hidrogeologia 24.
- LEITE, R.M. **Caracterização da qualidade da água superficial na Bacia Capiá-AL para fins da irrigação**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. 1991. 96p. Dissertação Mestrado
- LEPRUN, J.C. Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste. Relatório de fim de convênio de manejo e conservação de solos do Nordeste brasileiro. Recife: SUDENE, 1983. p.91-141.
- MARTINS, L.H. Avaliação da qualidade da água nos mananciais superficiais disponíveis para irrigação na zona Oeste Potiguar. Mossoró: Escola Superior de Agricultura de Mossoró. 1993. Monografia
- MEDEIROS, J.F. de. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo "GAT" no Estado do RN, PB e CE**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. 1992. 173p. Dissertação Mestrado
- RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soil**. Washington: United States Salinity Laboratory Staff. 1954, 160p. (USDA Handbook 60)
- SANTOS, J.P.; AZEVEDO, S.G. de; MISTRETTA, G.M. **Novos aspectos da salinização das águas subterrâneas do cristalino do Rio Grande do Norte**. São Paulo: IPT, 1984. 27p. Comunicado Técnico, 314
- SILVA, A.B.; SILVA, F.A.C. Inventário hidrogeológico básico do Nordeste. Folha no 5, Fortaleza-CE. Brasil, Recife: SUDENE, 1970. Série Hidrogeologia 27
- SUASSUNA, J.; AUDRY, P. **Estudo da salinidade das águas de irrigação das propriedades do GAT e da sua evolução sazonal durante os anos de 1988 e 1989**. Catálogo de observações de campo e dos resultados de análises. Recife: CNPq, 1992. 318p.
- YARON, B. Water suitability for irrigation. In: Yaron, E.; DANFORS, E.; VAADIP, Y. (eds) **Arid zone irrigation**. Berlin: Springer-Verlag, 1973, p.71-88 Ecological Studies, 5