

# Modelagem da estrutura iônica das águas da bacia hidrográfica do Acaraú, Ceará<sup>1</sup>

Ionic structure modeling of water in Acaraú basin, Ceará

Ticiane Mesquita Batista<sup>2</sup>, Eunice Maia de Andrade<sup>3</sup>, Lindbergue Araújo Crisóstomo<sup>4</sup>, Marcos Meireles<sup>5</sup>  
e Joseilson Oliveira Rodrigues<sup>6</sup>

**Resumo** - Este trabalho teve como objetivo identificar os íons de maior peso na composição iônica da Condutividade Elétrica (CE) das águas superficiais da bacia do Acaraú. As coletas de água foram realizadas em onze pontos durante o período de abril/2002 a março/2003, a cada dois meses, perfazendo um total de 77 amostras. Equações de regressão lineares foram desenvolvidas relacionando a CE com os íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{K}^+$ . As equações de melhor ajuste foram executadas adotando-se o modelo de seleção por etapas - *the stepwise regression procedure*. Os resultados mostraram que o íon bicarbonato apresentou maior contribuição para a variabilidade da CE tanto para a parte alta quanto para a parte baixa da bacia. A contribuição de cada íon para o modelo apresentou a seguinte ordem:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{K}^+$  para a parte alta da bacia, e  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{K}^+$ , para a parte baixa. As águas da parte baixa apresentaram uma maior salinidade em decorrência das maiores concentrações do íon cloreto nas águas oriundas da região semi-árida da bacia. Pelos índices aplicados aos modelos desenvolvidos, os resultados apresentaram coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e índice de Willmott (id) maiores que 0,98, indicando um ótimo desempenho das equações propostas ( $c > 0,90$ ). Ambos os modelos apresentaram valores estimados bem próximos dos observados, o que indica uma boa adequabilidade do modelo.

**Termos para indexação:** água de irrigação, regressão linear, composição iônica.

**Abstract** - This work was carried out to identify and predict the relationship between electrical conductivity (EC) and the ionic load of surface water from Acaraú basin, Ceará State, Brazil. Data set used was sampled in eleven station every two months from April/2002 to Mar./2003, pooling a total of 77 samples. Stepwise regression equations were developed using EC as independent variables with ions:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , and  $\text{K}^+$  as dependent variables. Results showed that  $\text{HCO}_3^-$  presented the highest contribution to EC variability in the up side, as well as the down side, of the Acaraú basin. Order of ion importance to the model was:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ , and  $\text{K}^+$  to the up side; while to the down side was:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ , and  $\text{K}^+$ . The higher salinity was registered in the down side of the river due to the chloride water coming from the semiarid zone of the basin. All evaluated models showed excellent performance index ( $c > 0.90$ ), with coefficient of determination ( $r^2$ ) and Willmott's index (id) higher than 0.98. Computed EC values showed a good agreement with observed values for both sides; suggesting that the selected ions explain well the EC variability.

**Index terms:** water irrigation, linear regression, ionic composition.

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 09/03/2005; aprovado em 02/08/2005.

Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor apresentado ao Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, CE

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, M.Sc., Irrigação e Drenagem, UFC, CE, e-mail: honey2004@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Ph.D., bolsista do CNPq, Profa. do Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, Caixa Postal 12.168, Campus doPici, CEP:60.455.970, Fortaleza-CE, e-mail: eandrade@ufc.br

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Ph.D., pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, e-mail: lindberg@cpat.embrapa.br

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, aluno de mestrado em Irrigação e Drenagem; e-mail: marcosmeireles@bol.com.br

<sup>6</sup> Estudante de Agronomia, bolsista do SIPIBIC, CCA/UFC, CE.

## Introdução

O crescimento em larga escala da agricultura irrigada nas regiões secas do globo promoveu a substituição de baixas taxas de evapotranspiração por altas taxas em uma superfície de aproximadamente 110 milhões de hectares, (Wichelns et al., 2002). Tal ação resulta em altas concentrações de sais no solo; que muitas vezes vão além da capacidade de suporte do recurso. No entanto, sabe-se que estes sais não são novos, eles já se faziam presentes na bacia na forma de sais dissolvidos nas águas superficiais e subterrâneas.

As águas disponíveis para a irrigação nas áreas áridas e semi-áridas do Nordeste brasileiro, em quase sua totalidade, são oriundas de reservatórios superficiais (açudes), onde a água é armazenada durante a estação chuvosa. Em geral são águas de baixa a média salinidade (Oliveira et al., 2002). Variações no espelho de água e redução do volume acumulado resultam em incrementos na salinidade da água que refletirá no equilíbrio iônico da solução hídrica (Leprun, 1983; Maia et al., 2001).

A água de irrigação apresenta, na maioria das vezes, uma composição química constituída de sais de cálcio, magnésio, sódio e potássio nas formas de cloretos, sulfatos, carbonatos e bicarbonatos. Estes elementos podem apresentar diferentes proporções dependendo da fonte de água, de sua localização geográfica e da época de coleta, entre outros fatores (Silva Júnior et al., 2000).

O emprego de água de boa qualidade com baixos níveis de salinidade e risco de sodicidade não deveriam oferecer maiores problemas à irrigação. No entanto, o inadequado balanço de sais comumente verificado, em decorrência de problemas de drenagem, resulta em uma gradativa degradação dos solos irrigados e um progressivo aumento das áreas com problemas (Cordeiro, 1999). Estima-se que nas regiões semi-áridas, 25% dos solos irrigados estão afetados por diferentes graus de salinidade, sendo que a incorporação de novas áreas irrigadas vem promovendo a expansão deste problema (Pereira et al., 1991; Andrade et al., 2002).

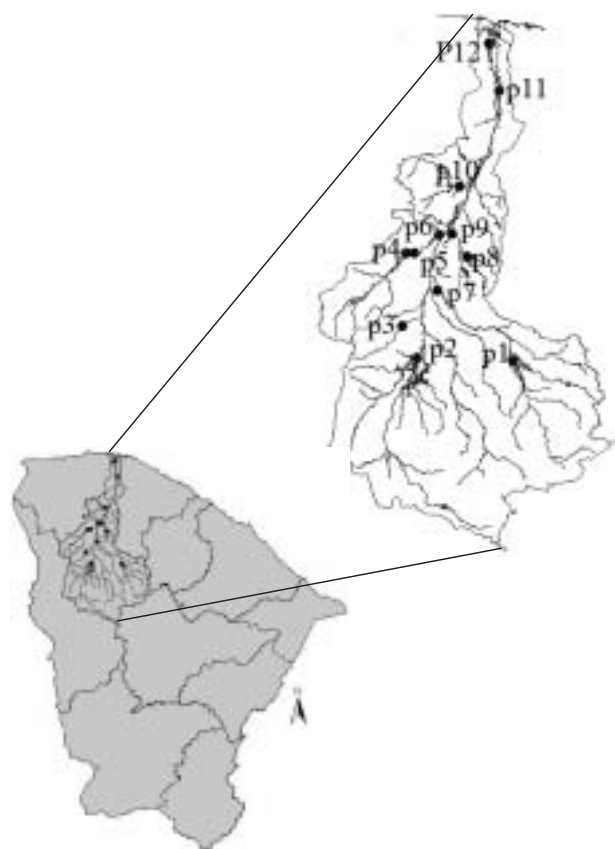
A qualidade da água, o método de irrigação e as características do solo devem ser analisados conjuntamente, para que se minimizem os riscos de deterioração do solo, em decorrência da adição de sais ao perfil (Ayers & Westcot, 1999). Contudo, mesmo de excelente qualidade, a água de irrigação pode ser um importante fator de salinização, se não for manejada corretamente, sendo este um dos principais impactos negativos da agricultura irrigada. (Nunes Filho et al., 2000; Costa & Gheyi, 1984).

O conhecimento do comportamento dos sais na água de irrigação e o risco que estes podem oferecer ao

desenvolvimento das culturas e à degradação do solo deve ser um dos suportes na definição do manejo de irrigação a ser adotado. Este trabalho teve como objetivo identificar os íons de maior contribuição na composição iônica das águas nas partes altas e baixas da bacia do rio Acaraú pelo emprego da análise de regressão múltipla.

## Material e Métodos

O trabalho foi conduzido na bacia do Acaraú situada na região norte do Estado do Ceará. A bacia é ampla em seu alto curso, estreitando-se próximo à costa (Figura 1). A referida bacia apresenta características bem distintas para cada margem do seu rio principal. A margem direita apresenta relevos aplainados da região do sertão, com predominância de substrato cristalino e do clima tipo BSh'w'. Já a margem esquerda apresenta-se sob a influência de importantes maciços residuais, como a serra da Meruoca, e da cuesta da Ibiapaba. Nesta margem predominam áreas sedimentares e o clima do tipo Aw'. Esta bacia recebe bastante água, devido à orientação do seu vale principal em relação à Ibiapaba, de onde recebe grandes porções de fontes. A região caracteriza-se pela predominância de Luvisolos e algumas manchas de Neossolos (Embrapa, 1999). Os valores médios de temperatura e umidade relativa



**Figura 1** - Localização dos pontos de amostragem e da bacia do Acaraú, Ceará.

do ar são de 28°C e 70% respectivamente. A velocidade média anual dos ventos é de 2 m.s<sup>-1</sup>, com direção predominante leste ou sudeste. A pluviometria total anual da bacia, para os anos de 2002 e 2003, foi de 892 e 1156 mm, respectivamente FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA – FUNCEME (2004).

Drenada exclusivamente pelo rio Acaraú, o qual nasce na serra da Mata em cotas superiores a 800 m, a bacia do Acaraú desenvolve-se no sentido sul-norte, com aproximadamente 315 km de extensão e uma capacidade total de acumulação de 1.426.670.000 m<sup>3</sup> (COMPANHIA DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS – COGERH, 2001). Os principais afluentes do rio Acaraú são: Groaíras, Jucurutu, Jaibaras e o riacho dos Macacos. Segundo COGERH (2001), a bacia em estudo contém 298 km de trechos de cursos d'água perenizados artificialmente.

As coletas foram realizadas a cada dois meses, em onze pontos distribuídos na bacia (Figura 1); 6 localizados na parte alta da bacia e 5 na parte baixa; durante o período de abril de 2002 a março de 2003, perfazendo um total de 77 amostras. Após as coletas, as amostras foram conduzidas ao laboratório de Solo e Água da Embrapa Agroindústria Tropical, onde os atributos analisados foram: pH, CE, cátions (Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>) e ânions (Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

Para definir os íons que apresentavam maior correlação com a CE, os dados obtidos no laboratório foram submetidos a análise de regressão múltipla através do software SPSS v.10. Utilizou-se a seleção por etapa (stepwise regression), em que a variável dependente foi a condutividade elétrica e as variáveis independentes os íons Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Esta mesma metodologia foi empregada por Maia et al. (2001) em classificação da composição iônica em águas subterrâneas da Chapada do Apodi. O nível de significância adotado na seleção das variáveis foi de 5% para entrada e de 10% para a saída.

A equação calibrada tem a seguinte forma:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \dots + e_i \quad (1)$$

onde:

Y - expressa a condutividade elétrica (variável dependente);

Xi - concentração do íon (variável independente)

a<sub>0</sub> - constante de regressão

a<sub>1</sub>; a<sub>2</sub>; a<sub>3</sub>; ... - coeficientes das variáveis incluídas no modelo

e<sub>i</sub> - erro

A validação do modelo para a parte alta da bacia foi efetuada empregando-se dados coletados para a parte baixa durante o mesmo período, em um total de 35 amostras (5 pontos x 7 coletas). Já para a parte baixa da bacia, a validação foi efetuada com os dados coletados na parte alta, em

um total de 42 amostras (6 pontos x 7 coletas). Com este procedimento elimina-se a influência da correlação, uma vez que cada modelo foi validado com dados não empregados na sua calibração.

Para avaliar o desempenho das equações de regressão foram aplicados os seguintes índices estatísticos: coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>), o qual indica o grau de correlação entre as variáveis independentes e a variável dependente, e o índice de Willmott (id) que indica o grau de precisão do modelo. O índice de concordância proposto por Willmott (1981) assume valores que variam de zero para nenhuma concordância a 1,0 para concordância perfeita entre eles. Outro índice empregado neste trabalho, na validação das equações de regressão, foi o índice de confiança "c", que também recebe a denominação de índice de desempenho. O referido índice reúne as indicações dos dois coeficientes, r<sup>2</sup> e id, (c = r<sup>2</sup> \* id), em que c = 1 significa confiança perfeita e c = 0 considerado péssimo de forma geral, conforme proposto por Camargo & Sentelha (1987).

## Resultados e Discussão

Os modelos de regressão linear propostos apresentaram comportamentos semelhantes tanto para a parte alta como para a parte baixa da bacia (Tabela 1). Verifica-se que para a parte alta, os íons que expressaram maior sensibilidade na determinação da CE foram: HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> e K<sup>+</sup>, enquanto para a parte baixa foram selecionados HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> e K<sup>+</sup>. Embora a bacia esteja localizada no semi-árido cearense, as águas das nascentes do rio Acaraú e os seus afluentes da margem esquerda drenam a parte sedimentar da bacia, aumentando, assim, os níveis de bicarbonato e cálcio. Leprun (1983) afirma que águas oriundas de regiões sedimentares, de baixa salinidade, são principalmente bicarbonatadas, sulfatadas ou mistas. O íon potássio, mesmo com baixa contribuição, se fez presente em ambos os modelos. Resultados semelhantes foram obtidos por Nunes Filho et al. (2000) e Maia et al. (2001), em pesquisas desenvolvidas no semi-árido dos estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte.

Observando-se os coeficientes de determinação (r<sup>2</sup>) das equações apresentadas, pode-se afirmar, com base na escala de Pearson (Milton, 1992), que a correlação entre eles é de forte a muito forte. Com relação aos modelos obtidos tanto para parte alta como para parte baixa, obteve-se um coeficiente de determinação r<sup>2</sup> igual a 0,98, indicando que 98% da variabilidade da CE pode ser explicada pelo modelo. Para assegurar as informações geradas pela análise de regressão, realizou-se o teste do nível de significância dos parâmetros presentes em cada modelo proposto,

**Tabela 1** - Regressão linear, coeficiente de determinação e valores do teste F para a parte alta e baixa da bacia do Acaraú.

Origem	Equação	r <sup>2</sup>	F	Sig
Parte Alta	CE = - 0,0038 + 0,07587HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 0,0625Cl <sup>-</sup> + 0,06507Na <sup>+</sup> + 0,0162Ca <sup>++</sup> + 0,104K <sup>+</sup>	0,98	381,13	,00
Parte Baixa	CE = - 0,0333 + 0,142HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 0,07058Cl <sup>-</sup> + 0,232K <sup>+</sup>	0,98	731,20	,00

(Tabela, 2). As hipóteses de nulidade dos modelos foram testadas a um nível de significância de 5%.

O íon bicarbonato apresentou-se como o parâmetro de maior expressão para determinação da CE, tanto para a parte alta quanto para a parte baixa da bacia (Tabela 2). Este comportamento pode ser explicado pelos baixos valores médios da CE (<0,30 dS.m<sup>-1</sup>) ao longo de toda a bacia. Costa & Gheyi (1984) comentam que águas com baixos níveis de salinidade (CE < 0,75 dS.m<sup>-1</sup>) podem apresentar concentrações do íon bicarbonato próximas ou superiores às de cloreto.

Apesar de a CE ter apresentado uma maior sensibilidade ao HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e ao Cl<sup>-</sup>, as concentrações destes elementos foram inferiores aos limites de toxidez (2,5 mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup> e 3,0 mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup>, respectivamente) para a maioria das culturas irrigadas (Ayers & Westcot, 1999). Ainda pela Tabela 2, observa-se que na parte baixa da bacia, a CE da água apresentou uma maior sensibilidade ao cloreto, quando comparada com as águas da parte alta da referida bacia hidrográfica. Este fato pode ser explicado pela contribuição das águas oriundas da região semi-árida da bacia (afluentes da margem direita da bacia), as quais apresentaram

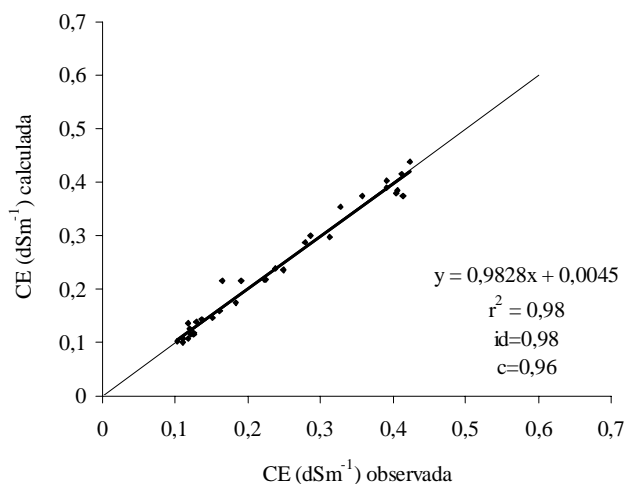
**Tabela 2** - Análise de significância dos parâmetros da regressão.

Local	Parâmetros	t	Sig (%)	Intervalo
-	Constante	-0,437	0,665	-0,022 < α < 0,014
-	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6,782	0,000	0,053 < α < 0,009
Parte Alta	Cl <sup>-</sup>	3,102	0,004	0,021 < α < 0,104
-	Na <sup>+</sup>	3,890	0,010	0,310 < α < 0,099
-	Ca <sup>++</sup>	-2,468	0,020	-0,030 < α < -0,003
-	K <sup>+</sup>	2,083	0,046	0,002 < α < 0,207
-	Constante	-2,279	0,030	-0,063 < α < -0,003
Parte Baixa	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	11,276	0,000	0,116 < α < 0,168
-	Cl <sup>-</sup>	8,098	0,000	0,053 < α < 0,088
-	K <sup>+</sup>	2,056	0,049	0,002 < α < 0,463

valores do cloreto em torno de 1,5 mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup> e da CE variando de 0,5 mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup> e 1 mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup>. Em águas com nível de salinidade superior a 0,75 mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup> predomina o íon cloreto em relação ao HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Costa & Gheyi, 1984). Estes resultados confirmam aqueles encontrados por Batista et al. (2004), quando realizaram a classificação das águas do rio Acaraú pelo emprego do Triângulo de Piper. A correlação entre CE e os íons foi de forte, a muito forte, uma vez que as equações obtidas foram significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t (Milton, 1992). Portanto a hipótese de nulidade foi rejeitada (α = 0), e os íons podem ser utilizados com segurança.

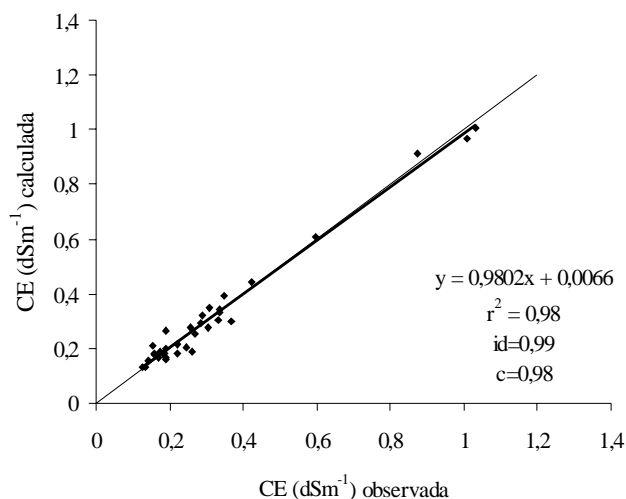
As Figuras 2 e 3 apresentam as comparações efetuadas entre os valores da condutividade elétrica obtidos em laboratório e aqueles estimados pelo modelo, ao longo de todo o período de coleta. Esta comparação fornece a base para avaliar a acuracidade do modelo; caso esta exista, os pares de pontos (medidos e estimados) deverão estar em torno da reta 1:1, a qual conecta os valores computados iguais aos observados, ou seja, a igualdade perfeita. Observa-se através das referidas figuras que os valo-

res estimados de CE apresentam-se bem próximos daqueles observados em laboratório, indicando que os íons selecionados como variáveis independentes mostram uma alta correlação com CE.

**Figura 2** - Valores observados e calculados da CE para a parte alta da bacia do Acaraú.

Para a parte alta da bacia (Figura 2), pode-se observar que a reta ajustada se confunde com a reta 1:1, para os baixos ou para os mais elevados valores da CE, expressando a condição ideal na simulação de um modelo. A referida figura deixa evidente uma tendência para valores de CE  $< 0,20 \text{ dS.m}^{-1}$ , a qual expressa a baixa concentração de sais nas águas da parte alta da bacia do Acaraú. De acordo com estudos desenvolvidos por Cordeiro (1999) águas providas da região sedimentar, de baixa salinidade, corroboram tanto para problemas de precipitação de resíduo nas tubulações, como para elevação do problema da sodicidade no solo. Autores como Ayers & Westcot (1999) discutem que águas com CE inferiores a  $0,20 \text{ dS.m}^{-1}$  tendem a lixiviar os sais e minerais solúveis, incluindo os de cálcio, reduzindo sua influência sobre a estabilidade dos agregados e estrutura do solo.

A simulação do modelo desenvolvido para a parte baixa (Figura 3) apresentou comportamento semelhante ao da parte alta, ou seja, a reta de melhor ajuste se sobrepõe à reta 1:1, indicando a alta correlação entre as variáveis independentes e a dependente.



**Figura 3** - Valores observados e calculados da CE para a parte baixa da bacia do Acaraú.

Apesar dos pares de dados encontrarem-se distribuídos entre  $0,20$  e  $1,00 \text{ dS.m}^{-1}$ , verifica-se uma maior concentração no intervalo de  $0,20$  a  $0,40 \text{ dS.m}^{-1}$ ; expressando um incremento discreto da salinidade da água em relação à parte alta da bacia. Tal fato pode ser explicado pela contribuição dos rios Groaíras e Madeiras, os quais drenam os solos cristalinos de regiões semi-áridas da bacia. São águas que apresentam maiores concentrações do íon cloreto como uma decorrência natural da litologia do local (Batista et al., 2004). As águas do cristalino do Nordeste brasileiro classificam-se, na sua maioria, como cloretadas sódicas com alguma variação, de acordo com a litologia do local de origem (Silva Júnior et al., 2000; Andrade et al., 2002).

Pelos índices aplicados, o modelo desenvolvido para cada parte da bacia (alta e baixa) apresentaram excelente precisão, com coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e índice de Willmott (id) maiores que  $0,98$ , indicando um ótimo desempenho do modelo ( $c > 0,90$ ) para as respectivas áreas. Tais parâmetros demonstram uma alta precisão e acuracidade, indicando que o modelo não é tendencioso, ou seja, estima valores bem próximos do real, quer para altas, quer para baixas concentrações. Os modelos apresentados, tanto para a parte alta como para a parte baixa da bacia, apresentaram comportamentos excelentes quanto à linearidade dos dados observados em relação aos calculados ( $r^2 = 0,98$ ).

## Conclusões

1. O emprego da regressão linear múltipla permitiu conhecer a influência e a contribuição dos íons para determinação da CE.
2. As variações na carga iônica das águas entre a parte alta e a parte baixa da bacia hidrográfica do rio Acaraú foram discretas, havendo mudanças mais significativas do íon cloreto.
3. As águas da parte baixa apresentaram uma maior salinidade em decorrência das maiores concentrações do íon cloreto nas águas oriundas da região semi-árida da bacia do Acaraú.
4. Pelos índices aplicados, o modelo desenvolvido para cada parte da bacia (alta e baixa) apresentou um ótimo desempenho com indicativo de confiabilidade elevado.

## Referências Bibliográficas

- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L. L.; CRUZ, M. G. M. Modelagem da concentração de íons no extrato de saturação do solo, na Região da Chapada do Apodí. *Revista Ciência Agrônoma*, v.33, n.2, p.25-32, 2002.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. (Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1).
- BATISTA, T. M.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; MEIRELES, M. Classificação das águas na bacia do Acaraú. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., 2004, São Luís. *Anais...* São Luís: Vídeo Congress. ICD.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação de desempenho de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- COMPANHIA DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS - COGERH. **Programa de gerenciamento das águas Territoriais**. Fortaleza, 2001. Convênio COGERH/DNOCS. Boletim técnico.

- CORDEIRO, G. **Salinidade em áreas irrigadas**. Petrolina, 1999. Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br/artigos/salinidade.html>>. Acesso em: 23 maio 2003.
- COSTA, R. G.; GHEYI, H. R. Variação da qualidade da água de irrigação da microrregião homogênea de Catolé do Rocha, PB. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.19, n.8, p.1021- 1025, 1984.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Serviço de Produção de Informação; Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.
- FUNCEME. **Atualização do monitoramento dos espelhos d'água dos açudes do Estado do Ceará**. Recursos Hídricos. Fortaleza, 2004.
- LEPRUN, J. C. **Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste**. relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo do Nordeste brasileiro. Recife: SUDENE, 1983, p.91-141.
- MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.de; OLIVEIRA M. de. Classificação da composição iônica da água de irrigação usando regressão linear múltipla. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.55-59, 2001.
- MILTON, J. S. **Statistical methods in the biological and heal sciences**. USA: Library of Congress, 1992. 156p.
- NUNES FILHO, J.; SOUSA, R de; SÁ, V. A . de L.; LIMA, B. P. Relação entre a concentração de águas subterrâneas e superficiais, visando a irrigação, no sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n2, p.189-193, 2000.
- OLIVEIRA, M. de; LEMOS, M; FERNANDES, M. S. S. Sazonalidade na qualidade da água para irrigação em corpo de água natural no semi-árido do nordeste. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 6., 2002, Maceió. **Anais...** Maceió: Trace Disc. 1 CD.
- OLIVEIRA, M. de; MAIA, C. E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na região sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.17-21, 1998.
- PEREIRA, F. A. M.; HOLANDA, J. S. de; MEDEIROS, J.d' A. F.; BRITO, R. A .L. Qualidade de água para irrigação no Seridó-RN. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., Natal. **Anais...** Natal: ABID, 1991. p.543-562.
- SILVA JÚNIOR, J. N; SOUSA, A. R. de; SÁ, V. A. L.; LIMA, B. P. Relações entra a concentração de íons e a salinidade de águas subterrâneas e superficiais visando à irrigação no sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.189-193, 2000.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p.184-194, 1981.
- WICHELNS, D.; CONE, D.; STUHR, G. Evaluating the impact of irrigation and drainage policies on agricultural sustainability. **Irrigation and Drainage Systems**, v.16, p.1-14, 2002.