

## Modelos da concentração iônica em águas subterrâneas no Distrito de Irrigação Baixo Acaraú<sup>1</sup>

Ionic concentration modeling in the groundwater at Baixo Acaraú Irrigation District

Joseilson Oliveira Rodrigues<sup>2</sup>, Eunice Maia de Andrade<sup>3</sup>, Lindbergue Araújo Crisóstomo<sup>4</sup>,  
e Adunias dos Santos Teixeira<sup>5</sup>

**Resumo** - Para se identificar a relação entre os íons  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e a condutividade elétrica (CE) das águas do lençol freático do Distrito de Irrigação Baixo Acaraú (DIBAU) monitorou-se a carga iônica em 10 poços amazonas distribuídos aleatoriamente no DIBAU. O referido distrito abrange uma área de aproximadamente 8.440 ha, localizado na parte baixa da bacia do Acaraú, Ceará. As campanhas de coleta da água foram realizadas, mensalmente, de jan/04 a set/05, exceto abril e julho/2004, perfazendo um total de 190 amostras. As análises físico-químicas foram realizadas no laboratório de água e solos da Embrapa Agroindústria Tropical. Posteriormente foram desenvolvidos modelos de regressão simples relacionando os íons estudados com a CE da água. A validação das equações foi efetuada com dados, no total de 95 amostras, não empregadas na calibração do modelo para se evitar a autocorrelação. Os resultados mostraram que os modelos desenvolvidos para os íons  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$  apresentaram coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e índice de Willmott (d) maiores que 0,96, indicando um ótimo desempenho das equações propostas ( $c > 0,90$ ). Ambos os modelos apresentaram valores estimados bem próximos aos observados, o que indica uma boa adequacidade. Já o modelo desenvolvido para se estimar o íon  $\text{Mg}^{2+}$ , apresentou um bom desempenho ( $0,66 < c < 0,75$ ) devendo ser usado com cautela para concentrações superiores a  $3,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ .

**Palavras-chave:** Qualidade de água. Salinidade. Análise de regressão.

**Abstract** - Regression equations were developed for identify the relationship between electrical conductivity (EC) and ionic concentration of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{Mg}^{2+}$ , of the water table. Water samples were collected in ten shallow wells, monthly, from Jan/04 to Sep/05, pooled a total of 190 samples. The experimental field comprehend an Irrigated District of 8,440 ha sited in down area of Acaraú Basin, Ceará, Brazil. Analyses were done at Embrapa Agroindústria Tropical soil and water laboratory. To evaluate the regression equations accuracy, 95 samples were selected for model validation. Those samples were not used in the development of the regression analysis to avoid autocorrelation. Developed models for  $\text{Cl}^-$  and  $\text{Na}^+$  ions concentration in groundwater showed values of determination coefficient ( $r^2$ ) and Willmott index(d) higher than 0.96. Both equations presented a high performance index ( $c > 0,90$ ) with a good agreement among observed and computed values. On the other hand,  $\text{Mg}^{2+}$  model showed a good performance index ( $0.66 < c < 0.75$ ), which should be used with carefulness to concentrations higher than  $3.0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ .

**Key words:** Water quality. Salinity. Regression analysis.

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 22/05/2007; aprovado em 14/09/2007

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando em Irrigação e Drenagem, bolsista do CNPq, Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, wilson\_agronomia@hotmail.com

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Ph.D., Profa. do Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, Bloco 804, Caixa Postal 12168, Campus do Pici, CEP: 60 455 970, Fortaleza-CE, eandrade@ufc.br

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical, CNPAT/EMBRAPA, lindberg@cnpat.embrapa.br

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Ph.D., Prof. do Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, adunias@ufc.br

## Introdução

No Nordeste brasileiro existem milhares de poços cujas águas são utilizadas para irrigação e consumo humano, representando um importante insumo na cadeia produtiva; no entanto, o uso de água de má qualidade pode trazer danos ao meio ambiente com sérios reflexos sócio econômicos (SILVA JUNIOR et al., 1999; MEDEIROS et al., 2003; OUYANG, 2005). Como a grande maioria das atividades antrópica gera algum tipo de impacto negativo ao meio ambiente, a irrigação se não for conduzida de modo racional pode acarretar sérios danos ao solo com aumento na concentração de sais e de sódio trocável, o que reduz a sua fertilidade e, em longo prazo, pode promover uma maior concentração de sais no lençol freático ou levar a desertificação da área afetada (ANDRADE et al., 2002; MESQUITA et al., 2006).

O indicativo da concentração de sais solúveis na água de irrigação e no solo, ou nível de salinidade, é dado pela condutividade elétrica (CE). O aumento nos valores da CE da água é acompanhado, principalmente, pela elevação nos níveis de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (SILVA JÚNIOR et al., 1999), afetando diretamente o desempenho das plantas e limitando o consumo e a disponibilidade para o homem. A determinação destes íons é realizada mediante análises laboratoriais, que apresentam demora em sua determinação, tornando-se muitas vezes inacessível ao homem do campo. Entretanto, através de modelos estatísticos empíricos e conhecendo-se o valor da CE, que é facilmente encontrada com emprego de um condutímetro portátil (equipamento simples e de baixo custo), torna-se possível estimar os parâmetros químicos que se relacionam com a CE.

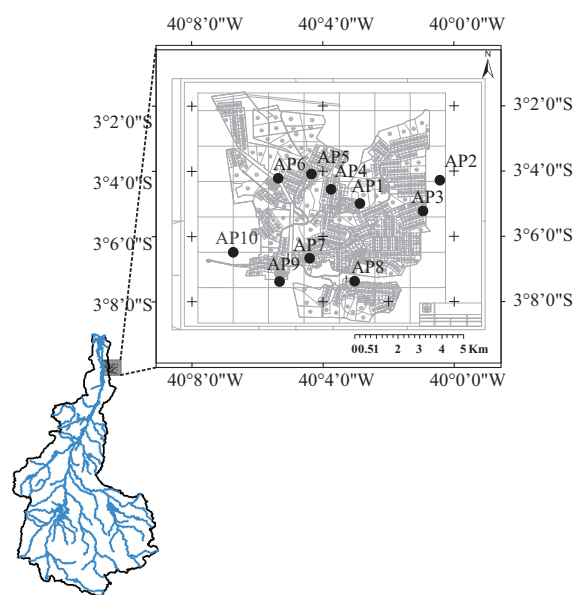
A análise de dados de salinidade deve ser realizada de modo a permitir a identificação dos fatores que estão contribuindo para o aumento de sais, para a identificação de áreas afetadas e para o monitoramento de variações temporais, tornando possível planejar o estudo de recuperação, definição de estratégias de manejo e identificação dos fatores responsáveis pelo problema. A utilização dos recursos oferecidos pela estatística complementa a análise e interpretação de dados de salinidade em uma dada região (MAIA et al., 2001; D'ALMEIDA et al., 2005). A análise de regressão simples e composta vem sendo empregada em estudos para identificar a correlação entre as características químicas e a condutividade elétrica das águas subterrâneas no Semi-Árido nordestino (MARTINS, et al., 1997; SILVA JUNIOR et al., 1999; NUNES FILHO et al., 2000; ANDRADE et al., 2004) mostrando dessa forma a possibilidade de estimativa empírica de alguns parâmetros que

apresentam um custo mais elevado ou uma maior demora para a sua determinação em laboratório. Considerando-se a importância da concentração dos cátions  $\text{Na}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e do ânion  $\text{Cl}^-$  nas águas destinadas para consumo humano e irrigação, esse trabalho teve como objetivo desenvolver modelos estatísticos empíricos para o Distrito de Irrigação Baixo Acaraú (DIBAU) e validá-los de modo que as concentrações dos íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Cl}^-$  possam ser estimadas, com um bom grau de confiabilidade, através da correlação com a leitura de CE efetuada por um condutímetro portátil.

## Material e Métodos

### Descrição da área

A área objeto de estudo está localizada na porção Norte do Estado do Ceará entre as coordenadas geográficas  $03^{\circ}11'00''$  e  $03^{\circ}22'00''$  de latitude S e  $40^{\circ}01'00''$  e  $40^{\circ}09'00''$  de longitude W (Figura 1); situada no Distrito Irrigado Baixo Acaraú (DIBAU) com uma área aproximada de 8.440 ha, abrangendo parte dos municípios de Acaraú, Marco e Bela Cruz, distando de 220 km da capital do Estado, Fortaleza. A topografia do perímetro é suave ondulada, porém com forte declividade longitudinal. O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948) é classificado como  $\text{Aw}'$  tropical chuvoso, com precipitação média anual de 900 mm, temperatura de  $28,1^{\circ}\text{C}$  e evaporação de 1600 mm. A fonte hídrica do perímetro irrigado é o rio Acaraú, perenizado pelas águas dos açudes públicos Paulo Sarasate, Edson Queiroz, Jaibaras e Acaraú-Mirim.



**Figura 1** – Localização dos pontos no Distrito de Irrigação Baixo Acaraú (DIBAU)

## Amostragem e Análise da água

Os pontos de coleta de água foram previamente escolhidos com auxílio de mapas do Distrito de Irrigação do Baixo Acaraú e visitas de campo (Figura 1). Os pontos foram distribuídos aleatoriamente de modo que abrangesse toda a área de estudo e adjacências; mesmo sendo distribuídos de modo randômico, houve a preocupação em se eleger pontos onde fosse possível o acesso durante todo o ano. As amostras foram coletadas e acondicionadas em garrafas plásticas com capacidade de 1,0 L e hermeticamente fechadas. Em seguida, foram adicionadas 2 gotas de tolueno à cada amostra, com o objetivo de mantê-las conservadas, e logo após, todo o material amostrado foi conduzido ao Laboratório de Água e Solos da Embrapa Agroindústria Tropical. Os atributos analisados foram a condutividade elétrica (CE), a concentração dos cátions  $Mg^{2+}$  e  $Na^+$  e o ânion  $Cl^-$ . As campanhas de coleta foram realizadas mensalmente no período de janeiro de 2004 a setembro de 2005, em 10 poços amazonas perfazendo um total de 190 amostras. Não foram realizadas coletas para os meses de abril e julho de 2004.

## Análise estatística e tratamento dos dados

Os cálculos das regressões lineares foram efetuados por meio de processamento eletrônico dos dados, empregando-se o software estatístico SPSS (Statistical Package For Social Sciences) versão 10 (NORUSIS, 1990). Utilizando-se o SPSS foram obtidos os valores dos coeficientes (angular e linear) da equação, o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e o valor de significância da equação (F).

Com o resultado das análises referentes aos íons  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Cl^-$ , relativo ao período janeiro-dezembro de 2004, obteve-se equações de regressão correlacionando-se os respectivos atributos com a condutividade elétrica (CE) da água de irrigação. A escolha por esses cátions deve-se ao efeito marcante que eles representam na atividade iônica da solução do solo; e, do ânion  $Cl^-$ , por ele ser considerado tóxico para a maioria das culturas. Verificou-se então o grau de dependência entre as variáveis. A equação calibrada tem o seguinte formato:

$$Y = a + bxCE \quad (1)$$

Em que Y representa a concentração dos íons ou variável dependente; e CE ( $dS\ m^{-1}$ ) expressa a condutividade elétrica da água ou variável independente e “a” e “b” são os coeficientes da equação.

Em seguida foi feita a validação dos modelos empregando-se dados referentes aos meses de janeiro a setembro de 2005, evitando-se com isso falhas proporcionadas pela autocorrelação dos dados, o que poderia induzir o modelo a resultados tendenciosos. Foram empregados os seguintes índices estatísticos para validar os resultados estimados: coeficiente de correlação r (Tabela 1), erro aleatório, índice de Willmontt, estimado pela equação:

**Tabela 1** – Interpretação dos coeficientes de correlação e determinação de Pearson

Escala de Pearson		
Fraca	Moderada	Forte
$0 \leq r^2 \leq 0,25$	$0,25 \leq r^2 \leq 0,81$	$0,81 \leq r^2 \leq 1$
$0 \leq r \leq 0,50$	$0,50 \leq r \leq 0,90$	$0,90 \leq r \leq 1$

Adaptado de Milton (1992)

$$d = 1 - \frac{\sum(P_i - O_i)}{\sum(|P_i - \bar{O}_i| + |O_i - \bar{O}|)} \quad (2)$$

onde:

$d$  - é o índice de concordância de willmontt;

$P_i$  - expressa o valor estimado da variável;

$O_i$  - representa o valor observado;

$\bar{O}$  - define a média dos valores observados.

Esse índice varia de 0 a 1, sendo que zero indica nenhuma concordância, e 1 expressa concordância perfeita. E o índice de confiança (c), obtido do produto entre o coeficiente de correlação e índice de Willmontt (CAMARGO; SENTELHAS, 1997), sintetizando de forma conjunta o resultado dos índices “d” e “r”, possibilitando mensurar melhor o desempenho do modelo. Os intervalos do índice de confiança ou desempenho são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Critérios de interpretação do índice de desempenho “c”

Valor de “c”	Desempenho	Valor de “c”	Desempenho
>0,85	Ótimo	0,51 a 0,60	Sofrível
0,76 a 0,85	Muito Bom	0,41 a 0,50	Mau
0,66 a 0,75	Bom	≤0,40	Péssimo
0,61 a 0,65	Mediano		

Adaptado de Camargo e Sentelhas (1997)

## Resultados e Discussão

Na Tabela 3 encontram-se as equações modelos desenvolvidas para as águas subterrâneas no Distrito de Irrigação Baixo Acaraú (DIBAU) obtidas a partir das análises químicas referentes aos meses de janeiro a dezembro de 2004. Os resultados das análises de regressão simples evidenciam mudanças no valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) dos modelos desenvolvidos, expressando uma maior correlação entre a condutividade elétrica (CE) e os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Verifica-se através do coeficiente de determinação ( $r^2 > 0,90$ ) e pelos valores de F, que os íons  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$  podem ser estimados com elevado grau de confiabilidade a partir da condutividade elétrica da água de irrigação. Resultados semelhantes foram obtidos por Andrade et al. (2004), em estudo sobre modelagem de íons no Rio Trussu, em Iguatu-CE

Já com relação ao íon  $\text{Mg}^{2+}$ , percebe-se valor de  $r^2$  igual a 0,79 (Tabela 3), indicando uma menor correlação entre a CE da água e este cátion, quando comparada aos íons  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ . Apesar disso, a correlação existente entre o  $\text{Mg}^{2+}$  e a CE é considerada moderada pela escala de Pearson (MILTON, 1992). Acredita-se que esse menor valor de  $r^2$  seja uma consequência das condições litológicas da região, na qual ocorre predominância de solos pobres em  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Maia et al. (1998) em trabalho de ajuste de algumas características físico-químicas da água de irrigação, através de regressão linear em poços na Chapada do Apodi e Baixo Açu (RN), encontraram valores de ajustes para o  $\text{Mg}^{2+}$  semelhantes ( $r^2 = 0,74$ ), porém um pouco inferiores aos estimados no presente estudo.

Pelos valores de F, a um nível de significância de 99%, a hipótese de que a variação dos elementos estudados não pode ser explicada por um modelo linear foi rejeitada, indicando que os parâmetros desse trabalho podem, sim, ser estudado com base em um modelo linear. Resultados semelhantes foram evidenciados por Andrade et al. (2002), em estudo sobre concentração de íons na solução do solo nas áreas irrigadas da Chapada do Apodi, Ceará. Analisando-se os ajustes feitos para os íons cloreto e o sódio, verificam-se valores superiores aos encontrados por

Martins et al (1997) e por Nunes Filho et al. (2000). Através da análise do coeficiente angular para os íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (Tabela 3), percebe-se que o íon  $\text{Mg}^{2+}$  apresentou um baixo coeficiente (2,15), quando comparado aos valores obtidos para o  $\text{Cl}^-$  (8,23) e  $\text{Na}^+$  (6,18). Esse menor valor pode ser decorrente da geologia do local que apresenta solos ricos em  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ , o que significa uma maior concentração de sódio ( $\text{Na}^+$ ) e cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) nessas águas. Silva Junior et al. (1999) em estudo sobre a composição química das águas do cristalino do Nordeste Brasileiro verificaram também predominância de águas cloretadas e sódicas, independentemente da fonte (poço natural, poço amazona ou açude).

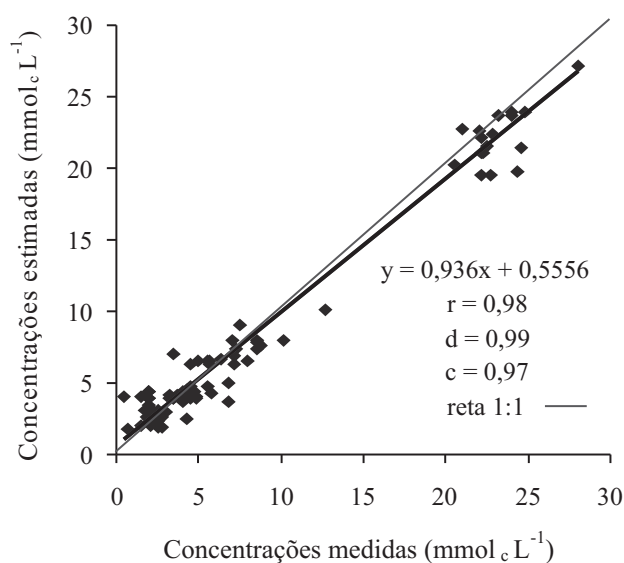
### Validação do modelo

Na Figura 2 é apresentado o grau de relacionamento entre as concentrações medidas e as estimadas a partir do modelo desenvolvido para o íon cloreto. Essa comparação é de extrema importância para fornecer suporte para a avaliação da acuracidade da simulação do modelo. Um grau de relacionamento perfeito é encontrado sempre quando os pares de pontos (estimados e medidos) coincidem com a reta 1:1. Nessa situação têm-se os valores simulados pelo modelo exatamente iguais aos observados em laboratório representando uma condição teórica.

Percebe-se, pelo índice de Willmott (d) e pelo índice de desempenho (c) que o modelo desenvolvido para o parâmetro químico  $\text{Cl}^-$  mostrou-se bastante confiável, indicando que esse íon pode ser estimado a partir da CE fazendo uso dos modelos desenvolvidos para as águas subterrâneas do (DIBAU) com elevado grau de confiabilidade. Observa-se também que para valores de  $\text{Cl}^-$  superiores a 12  $\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$ , há leve tendência do modelo em subestimar os valores reais desse íon. Comportamento semelhante foi verificado em estudos sobre modelagem da concentração de íons nas águas do vale perenizado do Rio Trussu, Iguatu-CE (ANDRADE et al., 2004). Na Figura 2 não se encontram valores de  $\text{Na}^+$  no intervalo de 13,8 a 20  $\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$ , indicando a ausência desse parâmetro químico nesse intervalo. Isso ocorreu devido um dos poços monitorados apresentar qualidade de água bastante diferenciada frente aos demais. Tal averiguação foi também constatada por Andrade et al. (2004).

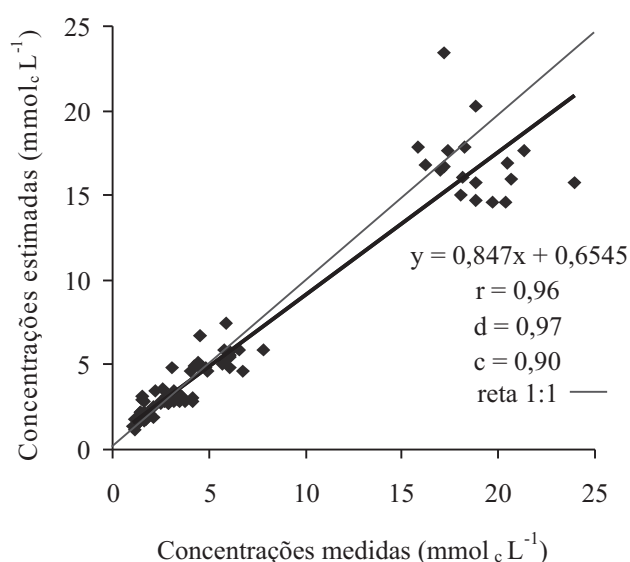
**Tabela 3** – Equações de regressão linear e parâmetros estatísticos empregados na calibração dos modelos

Relação	Modelo de Equação	$r^2$	F	Sig.	Intervalo
$\text{Cl}^- \times \text{CE}$	$\text{Cl}^- = 0,017 + 8,237\text{CE}$	0,96	2783,00	<0,001	$7,826 \leq \text{CE} \leq 8,647$
$\text{Na}^+ \times \text{CE}$	$\text{Na}^+ = -0,100 + 6,182\text{CE}$	0,92	1271,14	<0,001	$5,726 \leq \text{CE} \leq 6,638$
$\text{Mg}^{2+} \times \text{CE}$	$\text{Mg}^{2+} = -0,3927 + 2,1507\text{CE}$	0,79	379,41	<0,001	$1,860 \leq \text{CE} \leq 2,440$



**Figura 2** – Relação entre as concentrações do íon Cl<sup>-</sup> medidas e estimadas pelo modelo para águas subterrâneas do DIBAU

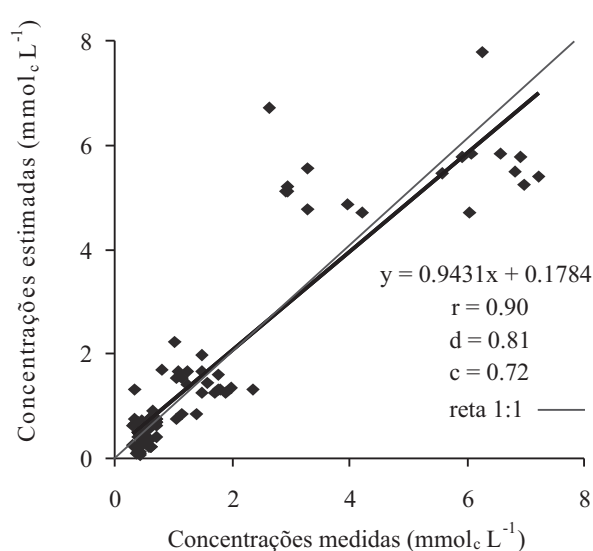
Por meio da Figura 3 observa-se a relação entre as concentrações medidas em laboratório e aquelas estimadas pelo modelo para o íon sódio. Observa-se, pela análise do índice de concordância ( $d > 0,95$ ), do coeficiente de correlação ( $r > 0,90$ ) e do índice de desempenho ( $c > 90$ ), que o modelo desenvolvido para o íon Na<sup>+</sup> é bastante confiável na estimativa desse parâmetro. Observa-se ainda, por meio



**Figura 3** – Relação entre as concentrações do íon Na<sup>+</sup> medidas e estimadas para águas subterrâneas do DIBAU

da reta 1:1, que existe uma tendência do modelo em subestimar os valores do íon sódio quando esses se encontram em concentrações superiores a 7 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>. Autores como Andrade et al. (2004); Mesquita et al. (2006) estudando modelagem da estrutura iônica em águas subterrâneas no Vale Trussu e Baixo Acaraú, respectivamente, evidenciaram também índices de desempenho dessa magnitude ( $c > 0,90$ ). Já Andrade et al. (2002), em estudo sobre modelagem para esse parâmetro no extrato de saturação, encontraram índice de desempenho  $c > 0,90$ , porém com tendência em superestimar os valores de sua concentração em todo intervalo avaliado (0,5 a 30 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>).

A relação entre as concentrações medidas e estimadas, para o parâmetro químico Mg<sup>2+</sup> pode ser vista na Figura 4. Pelos índices aplicados, verifica-se que o modelo ajustado apresenta coeficiente de correlação ( $r$ ) e índice de Willmontt ( $d$ ) iguais a 0,90 e 0,81 respectivamente, proporcionando um grau de desempenho considerado “bom” ( $c < 0,75$ ). O menor desempenho do modelo gerado para essa espécie, expressa uma menor sensibilidade da CE a este íon principalmente em concentrações superiores a 3 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>. Tal resultado indica que o modelo gerado para o Mg<sup>2+</sup>, embora apresente um “bom” desempenho (CAMARGO; SENTELHAS, 1997), pode não refletir de forma satisfatória as concentrações reais desse parâmetro. Observa-se que, assim como nos modelos anteriormente analisados, esse também apresenta uma tendência em subestimar os valores para concentrações mais elevadas ( $> 3$  mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>).



**Figura 4** – Relação entre as concentrações do íon Mg<sup>2+</sup> medidas e estimadas para águas subterrâneas de DIBAU



## Conclusões

1. Para valores inferiores a  $20 \text{ mmol } \text{L}^{-1}$ , as concentrações de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  podem ser preditas, com ótimo desempenho, conhecendo-se a condutividade elétrica da água de irrigação.
2. Não se pode estimar, com ótimo desempenho, a concentração do  $\text{Mg}^{2+}$  conhecendo-se a da condutividade elétrica da água de irrigação.

## Referências

- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L.; CRUZ, M. G. M. Modelagem da concentração de íons no extrato de saturação do solo, na Região da Chapada do Apodi. **Revista Ciência Agronômica**, v. 33, n. 2, p. 25-32, 2002.
- ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; SOUZA, I. H. de.; CRISÓSTOMO, L. A. Modelagem da concentração de íons nas águas do vale perenizado do rio Trussu, Iguatu-CE. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., 2004, São Luís. **Anais...** Porto Alegre: ABRH. 1 CD.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- D'ALMEIDA, D. B. A.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L. L. Importância relativa dos íons na salinidade de um cambissolo na Chapada do Apodi. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 615-621, 2005.
- KÖPPEN, N. W. **Climatologia : Con un estudio de los climas de la tierra**. México, Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.
- 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.
- MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C. de.; OLIVEIRA, M. de. Estimativa de algumas características químicas da água de irrigação pela condutividade elétrica nas Regiões da Chapada do Apodi e do Baixo Açu, Rio Grande do Norte. **Caatinga**, v. 11, n. 2, p. 59-63, 1998.
- MARTINS, L. H.; AMORIM, J. R. A. de.; MEDEIROS, J. F. de. Correlação entre características químicas da água para irrigação na zona oeste de Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Jaboticabal: SBEA. 1 CD.
- MEDEIROS, J. F. de.; LISBOA, R. A.; OLIVEIRA, M. de.; SILVA JÚNIOR, M. J. da.; ALVES, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão na Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p.469-472, 2003.
- MESQUITA, T. B. de.; ANDRADE, E. M.; LINDBERGUE, A. C.; MARCOS, M. RODRIGUES, O. J. Modelagem da estrutura iônica das águas da Bacia Hidrográfica do Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 1, p. 1-6, 2006.
- MILTON, J. S. **Statistical methods in the biological and health sciences**. 2ed. New York: McGraw-Hill, 1992. 526p.
- NORUSIS, M.J. **SPSS Base System User's Guide**. Chicago, 1990. 520 p.
- NUNES FILHO, J.; SOUZA, R. de; SÁ, V. A de L.; LIMA, B. P. Relação entre a concentração 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.
- OUYANG, O. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. **Water Research**, v. 39, n. 12, p. 2621-2635, 2005.
- SILVA JUNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. de. Composição química de águas do cristalino do Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 11-17, 1999.