

---

## CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA DE POÇOS TUBULARES DO NORTE DO ESTADO DE MINAS GERAIS PARA IRRIGAÇÃO

Moisés Santiago Ribeiro<sup>1</sup>, Luiz Antônio Lima<sup>2</sup>, Fábio Henrique de Souza Faria<sup>3</sup>, Silvânio Rodrigues dos Santos<sup>3</sup>, Mauro Koji Kobayashi<sup>3</sup>

### RESUMO

A classificação da água para fins de irrigação geralmente é baseada apenas nos teores individuais dos seus íons ou na sua salinidade total em função da condutividade elétrica. Entretanto, uma classificação que leve em consideração a relevância da condutividade elétrica de cada íon da água, esclarece melhor a origem de sua salinidade. A partir de características físico-químicas da água de poços tubulares da região de Janaúba e Jaíba, Norte do Estado de Minas Gerais, realizou-se um estudo de classificação da água de irrigação e análise da contribuição de sua composição iônica na salinidade total, utilizando a regressão linear múltipla, com seleção por etapa pelo método Stepwise. Com base nos teores médios de Ca, Mg, Na e Cl a água da região de Janaúba e Jaíba é indicada para irrigação, desde que utilizem alternativas de manejo. Os teores de Na na água por si só não oferecem riscos de sodicidade. Mas, os teores de  $\text{HCO}_3$  na água superiores aos de Ca e Mg, pode interferir na relação de adsorção de sódio. A água da região é classificada como de médio a alto risco de salinização dos solos, podendo ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação e drenagem adequada. Apesar dos elevados teores de  $\text{HCO}_3$  na água, os teores de Ca, Mg e Cl contribuem em maiores proporções no incremento da salinidade total. Os valores de potencial osmótico estimados são um indicativo da necessidade de uso adequado da água de irrigação.

**Palavras-chave:** composição iônica, salinidade, qualidade da água, regressão linear múltipla.

### ABSTRACT

#### CLASSIFICATION OF WATER FROM TUBULAR WELLS NORTH OF THE STATE OF MINAS GERAIS FOR IRRIGATION

The classification of water for irrigation purposes is usually based only on their individual levels ions or in its total salinity according to the electrical conductivity. Meanwhile, a classification that takes into account the relevance of each ion in solution in the electrical conductivity of the water, better explains the origin of its salinity. From physical-chemical characteristics of water tubular wells in the region of Janaúba and Jaíba, North of the state of Minas Gerais, was carried out a study of classification of the irrigation water and analysis of the contribution of ionic composition in total salinity, using multiple linear regression with selection for step by Stepwise method. Based on the average levels of Ca, Mg, and Cl the water of the region of Janaúba and Jaíba is indicated for use in irrigation, from using alternative management. The levels of Na in water alone do not offer risks of sodicidade. But the levels of  $\text{HCO}_3$  in the water higher than Ca and Mg, may interfere with the relationship of sodium adsorption. The water of the region is classified as a medium to high risk of salinization of the soil and can be used whenever there is a moderate degree of leaching and adequate drainage. Despite high levels of  $\text{HCO}_3$  in the water, the levels of Ca, Mg and Cl contribute in larger proportions in increasing the total salinity. The average values of osmotic potential estimated are an indicative of the need for use adequate of irrigation water.

**Keywords:** ionic composition, salinity, water quality, multiple linear regression.

---

Recebido para publicação em 27/05/2009. Aprovado em 19/01/2010

1- Doutor em Engenharia Agrícola, DEG/UFLA;

2- Professor Adjunto, DEG/UFLA;

3- Professor Adjunto, DCA/UNIMONTES.

## INTRODUÇÃO

Tem se evidenciado a irrigação como fator de modernização agrícola, principalmente como propulsora do desenvolvimento regional em áreas de clima semi-árido do Norte de Minas Gerais, destacando-se a região de Janaúba e Jaíba. Estes municípios localizam-se em uma região cárstica, assim designada pela marcante ocorrência de rochas carbonáticas (calcário, margas e outras) que dão lugar às condições peculiares no que se referem ao relevo, solos e drenagem superficial e subterrânea.

O Norte do Estado de Minas Gerais é uma região com elevado potencial para irrigação do ponto de vista edáfico, além da capacidade do aquífero cárstico ser suficiente para suprir pequenas demandas, com vazões específicas variando de  $0,006 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$  até  $36,1 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ .

É notável a expansão da área com agricultura irrigada na região de Janaúba e Jaíba, sobretudo com águas de poços tubulares e, destacadamente com a cultura da banana 'prata-anã'. Apesar do intenso uso da água subterrânea na região, poucos trabalhos têm sido realizados a respeito da sua caracterização físico-química e de seus efeitos sobre o "status" da salinização e alcalinização dos solos.

Na região foram estimados, segundo Lemos Filho *et al.* (2007) valores médios totais anuais de evapotranspiração de referência e precipitação, iguais a 1350 mm e 850 mm, respectivamente. Assim, se verifica um déficit hídrico que se torna acentuado pela má distribuição das chuvas ao longo do ano.

O clima e a influência litológica na composição química da água dos aquíferos são fatores que interferem no processo de salinização dos solos causado pelo uso da água subterrânea. Com as irrigações, as misturas de sais de origem natural contidos na água acumulam-se próximo às raízes das plantas, aumentando o potencial osmótico no solo e com isso dificultando o processo de absorção de água pelas plantas

À medida que a qualidade da água se agrava, o uso desta na irrigação sem o manejo adequado pode acarretar sérios danos ao solo devido a um aumento da 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 à desertificação da área afetada.

A utilização contínua de águas com elevadas concentrações de  $\text{HCO}_3$  e Ca em áreas irrigadas, eleva

o pH do solo, o que pode promover desequilíbrio entre Ca, K e Mg.

É comprovado o efeito negativo dos íons quando em excesso, principalmente de Na e Cl sobre processos fisiológicos importantes para o crescimento das plantas. A presença de sais na solução do solo faz com que sejam aumentadas as forças de retenção por seu efeito osmótico e, portanto, a magnitude da escassez de água na planta a tal ponto que, seus rendimentos são prejudicados.

A salinidade da água está associada à sua quantidade de sais dissolvidos totais, expressa em miligramas por litro ou pela sua condutividade elétrica que, corresponde à capacidade da água em conduzir corrente elétrica, crescendo praticamente com a mesma proporção conforme aumenta a concentração de sais. A condutividade elétrica é a medida mais empregada para expressar a concentração de sais solúveis na água de irrigação, porém, não levando em conta as espécies de íons presentes. No entanto, o incremento de condutividade elétrica da água é verificado principalmente, com a elevação nos teores de Na, Cl e Mg.

Em grande parte dos trabalhos que visam avaliar a qualidade da água, alguns autores (NUNES FILHO *et al.*, 2000; RIBEIRO *et al.*, 2005; RODRIGUES *et al.*, 2007) ajustaram os valores de Ca, Mg, Na e Cl e a soma de cátions, em função da condutividade elétrica da água, através de regressão linear simples. Estudos assim levam em consideração a concentração do íon na água, sem estimar a sua interação com os demais. Entretanto, a utilização de regressão linear múltipla auxilia no entendimento das interações entre íons em relação à salinidade total. Maia *et al.* (2001) conseguiram com o emprego da regressão linear múltipla, classificar as águas com base na contribuição de cada íon na salinidade, conforme modelo ajustado.

Com uma classificação da água para fins de irrigação fundamentada não apenas em limites de classes, segundo Ayers & Westcot (1991), Richards (1954) e UCCC (1974), mas examinando também a contribuição iônica no incremento da salinidade total, se infere com maior precisão potenciais riscos de salinização das águas.

Perante uma suposta variação das características físico-químicas da água proveniente de poços tubulares da região de Janaúba e Jaíba, Norte de Minas Gerais, este trabalho teve por objetivo caracterizar e classificar as águas quanto à contribuição dos íons na sua salinidade total e ao seu potencial risco de

salinização em áreas irrigadas.

## MATERIAL E MÉTODOS

As amostras analisadas foram coletadas nos municípios de Janaúba e Jaíba, localizados na região cárstica do Norte de Minas Gerais compreendida entre os paralelos 14°00' e 16°00' S e os meridianos 43°00' e 44°30' W. É uma região caracterizada por uma extensa área rebaixada, elaborada ao longo dos rios São Francisco, Verde Grande e Gortuba, que recebe a denominação genérica de depressão Sanfranciscana, com topografia uniforme cujas cotas altimétricas variam de 550 a 430 m. São identificadas na área rochas do Grupo Bambuí, representadas pela formação Paraopeba constituídas predominantemente de calcários, siltitos e ardósia (PEIXOTO *et al.*, 1986).

Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Aw, caracterizado por um verão chuvoso e inverno seco. A temperatura média mensal oscila entre valores extremos de 18 e 27 °C e a média das temperaturas máximas nos meses mais quentes do ano atinge valores de 34 a 38 °C. Os valores médios mensais de evapotranspiração potencial oscilam entre 75 mm e 95 mm no inverno e entre 110 e 165 mm no verão, sendo valores elevados quando comparados com os totais de precipitação mensal. A precipitação pluviométrica média anual é de 850 mm, concentrada de outubro a março. A umidade relativa varia entre 65 a 80% e 55 a 75%, no verão e inverno, respectivamente. O saldo de radiação chega a valores máximos da ordem de 160 cal cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> em outubro e mínimos de 70 cal cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> em janeiro. O regime dos ventos com baixas velocidades não oferece limitações de ordem técnica à prática de irrigação.

Os dados utilizados para o presente estudo foram provenientes dos boletins de análises de água emitidos pelo Laboratório de Solos, Plantas e Água do Centro Tecnológico Norte de Minas Gerais pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (CTNM/EPAMIG). Foi utilizado um total de 280 e 165 análises de poços tubulares distribuídos na região de Janaúba e Jaíba, respectivamente, obtidas entre os anos de 1999 e 2006.

Para certificar o equilíbrio entre cátions e ânions presente nas análises de água calculou-se o erro iônico (EI) utilizando-se Equação 1.

$$EI(\%) = \frac{\sum \text{cátions} - \sum \text{ânions}}{\sum \text{cátions} + \sum \text{ânions}} * 100 \quad (1)$$

em que

$\Sigma$ cátions = concentração total de cátions (meq L<sup>-1</sup>);

$\Sigma$ ânions = concentração total de ânions (meq L<sup>-1</sup>).

As seguintes características físico-químicas das águas foram analisadas: pH, condutividade elétrica da água (CE<sub>a</sub>), os cátions cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) e os ânions cloro (Cl), carbonato (HCO<sub>3</sub>) e bicarbonato (CO<sub>3</sub>), segundo EMBRAPA (1997).

A classificação das características físico-químicas: pH, CE<sub>a</sub>, Ca, Mg, Na, Cl e HCO<sub>3</sub> foi obtida pela distribuição de frequência com base nos limites das classes: sem problema, moderada (de médio a alto risco) e severa restrição para uso na irrigação, segundo Ayers & Westcot (1991) e Villas Bôas *et al.* (1994). Para auxiliar na classificação foi determinada a média aritmética, a moda e a amplitude da classe modal e o coeficiente de variação dos dados das características físico-químicas da água.

Para classificar a água de irrigação com base na contribuição de sua composição iônica na salinidade total utilizou-se a análise de regressão linear múltipla, com seleção por etapa pelo método Stepwise. Assim, busca-se relacionar o incremento de condutividade elétrica da água (variável dependente) com uma função linear dos íons Ca, Mg, Na, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub> e Cl.

O critério para a classificação da água (cálcica, sódica, bicarbonatada, etc) usando a regressão linear múltipla foi estabelecido não apenas pela permanência das variáveis independentes no modelo ajustado devido à sua significância estatística, mas também pela contribuição de cada variável no modelo. Esta contribuição quantitativa foi estimada pelo aumento verificado na soma de quadrado da regressão, quando da adição de cada variável no modelo.

Então, a notação de redução (R) é usada para diferenciar os dois tipos de somas de quadrados fornecidas pelo procedimento. Considere, por exemplo, as Equações 2 e 3.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon_i$$

$$R(\beta_3 / \beta_0, \beta_1, \beta_2) = SQ_{\text{modelo}}(3) - SQ_{\text{modelo}}(2) \quad (3)$$

em que,

$\beta_n$  = Parâmetros do modelo de regressão;

$Y_i$  = Variável dependente;

$X_n$  = Variável independente;

$SQ_{\text{modelo}}$  = Soma de quadrado do modelo.

A contribuição percentual de cada variável independente do modelo ajustado é obtida somando-se todos os pesos (somadas de quadrados do modelo) e assumindo igual a 100%. O maior peso percentual multiplicado por 0,9 foi considerado o valor limite para a inclusão dos íons na classificação da água.

Para a comparação da composição iônica da água em diferentes níveis de salinidade calcularam-se os valores percentuais dos cátions (Ca, Mg e Na) e dos ânions (Cl e  $\text{HCO}_3$ ) com relação às respectivas somas.

Para avaliar o perigo de salinização da água, foi utilizada a classificação em função de sua condutividade elétrica, ou seja, de sua concentração de sais solúveis, segundo corpo técnico do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (RICHARDS, 1954) e o UCCC (1974).

Foram estimados os sais dissolvidos totais (SDT) em  $\text{mg L}^{-1}$ , multiplicando a condutividade elétrica da água em  $\text{dS m}^{-1}$  por 640, segundo Holanda & Amorim (1997). A condutividade elétrica do extrato saturado ( $\text{CE}_{\text{es}}$ ) e da zona radicular ( $\text{CE}_{\text{zr}}$ ) em  $\text{dS m}^{-1}$  foram estimadas multiplicando a condutividade elétrica da água por 1,5 e 3,0, respectivamente, segundo Ayers & Westcot (1991). O potencial osmótico no solo ( $\psi_{\text{osm}}$ ) em kPa foi estimado multiplicando a condutividade elétrica em  $\text{dS m}^{-1}$  por -36, como sugerida pelo corpo técnico do laboratório de salinidade dos Estados Unidos (RICHARDS, 1954), com base em dados obtidos por Campbell *et al.* (1949).

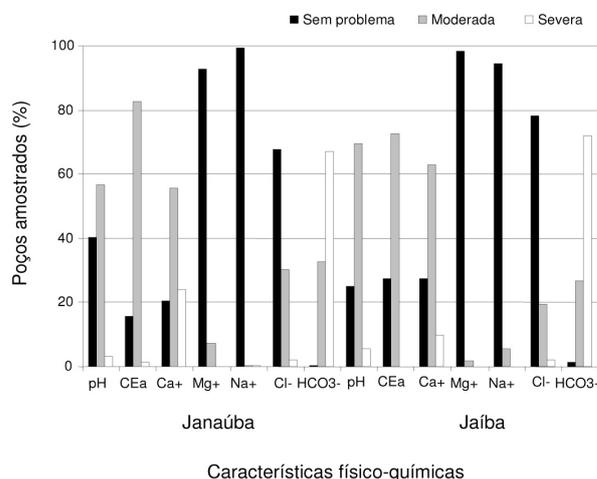
As medidas de posição e dispersão da distribuição de frequência das características físico-químicas da água adquiridas e estimadas, bem como a regressão linear múltipla pelo método Stepwise foram obtidas com o auxílio do programa computacional estatístico Sisvar, versão 5.0, segundo Ferreira (2003).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O erro iônico médio verificado para as análises físico-químicas das águas de diferentes poços tubulares foi igual a -14% e -22% para a região de Janaúba e Jaíba, respectivamente. Com base no valor médio de condutividade elétrica da água, a diferença média entre cátions e ânions admitida seria de até -6,48% para Janaúba e -7,04% para Jaíba, segundo Custodio & Llamas (1983). Entretanto, os valores de erro iônico encontrados podem ser creditados à

ausência dos íons K, Fe e Mn nas análises obtidas, uma vez que, segundo Nunes *et al.* (2005) os teores destes elementos são elevados na água dessa região.

Os valores percentuais das classes: sem problema, moderada e severa restrição para uso na irrigação, com relação às características físico-químicas das águas analisadas, oriundas dos poços tubulares da região de Janaúba e Jaíba estão apresentados na Figura 1.



**Figura 1.** Classificação do pH, da dutividade elétrica da água ( $\text{CE}_a$ ) em  $\text{dS m}^{-1}$ , dos teores de Ca, Mg, Na, Cl e  $\text{HCO}_3$  em  $\text{meq L}^{-1}$  da água de poços tubulares da região de Janaúba e Jaíba, quanto ao grau de restrição para uso na irrigação.

Maior frequência percentual de 55,56 e 62,8% para Janaúba e Jaíba, respectivamente foi observada para os níveis de Ca considerados moderados ( $\text{Ca} < 5 \text{ meq L}^{-1}$ ). Os níveis de Mg são considerados adequados para irrigação em 92,8 e 98,2% das águas de Janaúba e Jaíba, respectivamente.

Verificou-se baixo teor relativo de  $\text{Mg Ca}^{-1}$  com valores variando de 0,07 a 1,19 e de 0,06 a 1,08 para Janaúba e Jaíba, respectivamente. Os valores médios da razão  $\text{Mg Ca}^{-1}$  obtidos foram ligeiramente maiores quando comparados ao valor médio de 0,19 encontrado por Nunes *et al.* (2005). Assim, se revela a prevalência dos teores de Ca sobre os de Mg em solução, indicando predomínio de calcários calcíticos sobre os dolomíticos. A amplitude de classe da razão  $\text{Mg Ca}^{-1}$  verificada, ressalta a existência de variação faciológica do calcário da região Norte de Minas Gerais.

O pH das águas de Janaúba e Jaíba em 40 e 25%, respectivamente, situou-se em valores de 5,5 a 7,5, faixa esta recomendável para uso na irrigação.

Os elevados valores de pH verificados podem ser atribuídos à presença marcante de bicarbonatos. Cabe salientar que os valores de pH das águas classificadas como severa, se devem a valores de pH observados abaixo de 4,5 e acima de 8,0. Cuidados devem ser tomados com o uso destas águas, pois o seu pH elevado pode induzir à deficiência de zinco, cobre, ferro, boro e manganês no solo, por terem sua solubilidade reduzida. O molibdênio e o cloro são micronutrientes cuja disponibilidade no solo aumenta com a elevação do pH do solo. O pH em torno de 6, valor próximo das médias obtidas, resulta em uma maior solubilidade de fósforo. À medida que o pH aumenta, a solubilidade do fosfato de cálcio diminui, enquanto a do fosfato de ferro e alumínio diminui em sentido oposto, com a diminuição do pH.

Baixos teores de Na ( $< 3 \text{ meq L}^{-1}$ ) foram observados em Janaúba (99,28%) e Jaíba (94,51%), o que possibilita o uso da água na irrigação, sem restrição quanto à sodicidade. Isto pode ter sido influenciado por um efeito de diluição ocasionado pelo Ca presente na água em maior concentração.

Os valores médios e modais de Ca, Mg, Na e pH estão próximos aos observados por Silva & Carvalho (2004) e Nunes *et al.* (2005) quando avaliaram a qualidade da água de poços tubulares da região Norte de Minas Gerais.

Em 67,73 e 78,30% das águas analisadas de Janaúba e Jaíba, respectivamente foram verificados teores de Cl dentro do limite aceitável ( $< 4 \text{ meq L}^{-1}$ ) para uso na irrigação. Apenas aproximadamente 2% dos poços amostrados nos dois municípios situaram-

se em níveis severos ( $> 10 \text{ meq L}^{-1}$ ). Observou-se proximidade dos valores médios de Cl para Janaúba com os obtidos por Nunes *et al.* (2005) na mesma região.

São observados maiores teores de  $\text{HCO}_3^-$  em Janaúba (66,93%) e Jaíba (71,74%) para a classe severa ( $> 8,5 \text{ meq L}^{-1}$ ). Os teores médios e modais de  $\text{HCO}_3^-$  dos dois municípios foram um pouco mais elevados que os encontrados por Silva & Carvalho (2004) e Nunes *et al.* (2005). Quando os teores de bicarbonatos da água são mais elevados que os de Ca e Mg, esses são precipitados sob a forma de carbonatos.

Parte do cálcio na solução do solo é retirada pela precipitação do carbonato de cálcio, interferindo na relação de adsorção de sódio (ANDRADE JUNIOR *et al.*, 2006). Assim, o aumento da salinidade do solo é contribuído quando há significativa concentração de sódio no solo, o que aumenta a diferença de potencial osmótico, restringindo a água disponível para as culturas, e por reduzir a permeabilidade dos solos, devido a dispersão de argilas ocasionadas pelo sódio, além de causar problemas de toxicidade específica às plantas, afetando seus rendimentos.

Os elevados teores de bicarbonatos (Quadro 1) podem ter influenciado nos valores de pH obtidos. A aplicação continuada de águas calcárias causam aumento do pH do solo após alguns anos de cultivo. Silva *et al.* (2001) verificaram que o pH do solo em áreas do Norte de Minas Gerais após aplicação de água calcária se elevou em torno de 1,4 unidades, em apenas quatro anos de irrigação.

**Quadro 1.** Características físico-químicas da água de poços tubulares da região de Janaúba e Jaíba

| Composição                        | Janaúba |       |      |       | Jaíba |      |      |       |
|-----------------------------------|---------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|
|                                   | Me      | Mo    | A    | CV    | Me    | Mo   | A    | CV    |
| pH                                | 7,11    | 7,00  | 2,90 | 5,81  | 7,23  | 7,09 | 2,20 | 5,80  |
| $\text{CE}_a$                     | 1,06    | 0,98  | 3,30 | 45,5  | 0,86  | 0,86 | 1,62 | 30,4  |
| $\text{Ca}^{2+}$                  | 7,92    | 7,25  | 26,9 | 48,0  | 6,55  | 6,79 | 14,1 | 41,5  |
| $\text{Mg}^{2+}$                  | 2,40    | 2,44  | 10,8 | 65,2  | 1,82  | 1,70 | 6,40 | 62,9  |
| $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ | 10,3    | 9,00  | 31,8 | 45,7  | 8,37  | 8,94 | 17,6 | 37,8  |
| $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$   | 0,34    | 0,30  | 1,12 | 63,1  | 0,32  | 0,25 | 1,02 | 65,6  |
| $\text{Na}^+$                     | 1,87    | 1,89  | 9,51 | 70,0  | 1,36  | 0,12 | 8,22 | 94,9  |
| $\text{CO}_3^{2-}$                | 0,06    | 0,00  | 2,00 | 396,2 | 0,06  | 0,00 | 1,00 | 279,0 |
| $\text{HCO}_3^-$                  | 12,4    | 12,98 | 33,0 | 42,6  | 12,0  | 13,4 | 28,0 | 40,8  |
| $\text{Cl}^-$                     | 3,35    | 2,90  | 17,6 | 82,8  | 2,92  | 0,00 | 16,0 | 86,8  |

pH; Condutividade elétrica da água ( $\text{CE}_a$ ) em  $\text{dS m}^{-1}$ ; Íons em  $\text{meq L}^{-1}$ ; Média (Me), Moda (Mo) e Amplitude (A) em  $\text{meq L}^{-1}$ ; Coeficiente de Variação (CV) em %.

**Quadro 2.** Equações de regressão linear múltipla calculadas pelo método Stepwise e coeficientes de determinação do modelo para a região de Janaúba e Jaíba

| Origem  | Equação                                                                   | R <sup>2</sup> | Contribuição dos íons no modelo |
|---------|---------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------|
| Janaúba | $CE_a = 0,1378 + 0,0621Ca + 0,0431Cl + 0,0760Mg + 0,0535Na$               | 0,68           | Ca>Cl>Mg>Na                     |
| Jaíba   | $CE_a = 0,2497 + 0,0569Ca + 0,0927Mg + 0,3164HCO_3 + 0,0185Cl$            | 0,70           | Ca>Mg>HCO <sub>3</sub> >Cl      |
| Todas   | $CE_a = 0,1674 + 0,0622Ca + 0,0854Mg + 0,0363Cl + 0,0291Na + 0,1021HCO_3$ | 0,76           | Ca>Mg>Cl>Na>HCO <sub>3</sub>    |

Condutividade elétrica da água (CE<sub>a</sub>) em dS m<sup>-1</sup>; Ca, Mg, Na, HCO<sub>3</sub> e Cl em meq L<sup>-1</sup>.

**Quadro 3.** Peso na soma de quadrado e em porcentagem de cada íon incluído no modelo ajustado pela regressão linear múltipla para a região de Janaúba e Jaíba

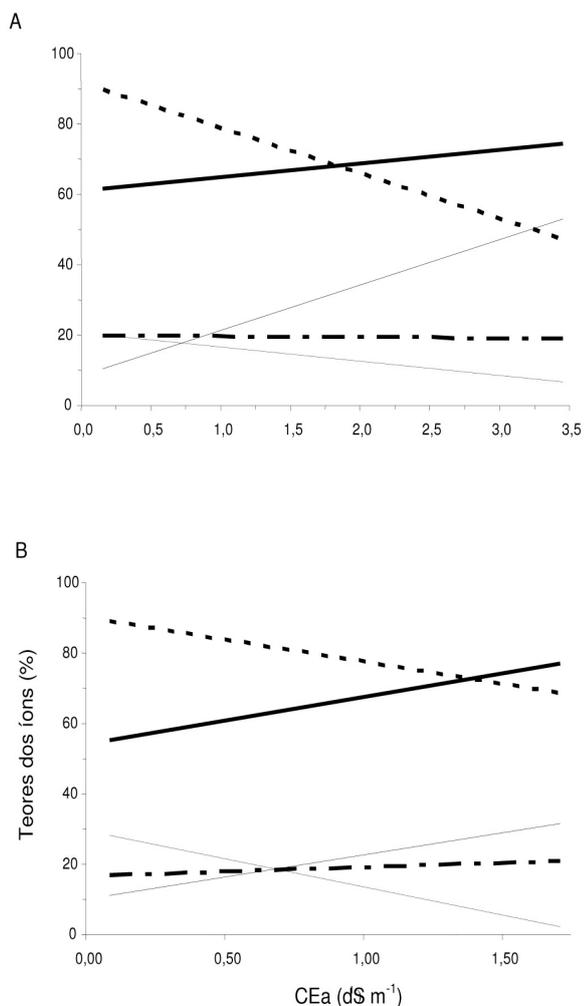
| Origem            | Íons (*)                      | Peso na Soma de Quadrado | Peso em Porcentagem |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------|
| Janaúba           | Ca <sup>2+</sup>              | 34,03                    | 81,20               |
|                   | Cl <sup>-</sup>               | 4,03                     | 9,62                |
|                   | Mg <sup>2+</sup>              | 2,91                     | 6,94                |
|                   | Na <sup>+</sup>               | 0,94                     | 2,24                |
| Jaíba             | Ca <sup>2+</sup>              | 4,62                     | 67,94               |
|                   | Mg <sup>2+</sup>              | 1,55                     | 22,79               |
|                   | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 0,38                     | 5,59                |
|                   | Cl <sup>-</sup>               | 0,25                     | 3,68                |
| Todas as análises | Ca <sup>2+</sup>              | 40,76                    | 80,57               |
|                   | Mg <sup>2+</sup>              | 5,90                     | 11,66               |
|                   | Cl <sup>-</sup>               | 3,2                      | 6,33                |
|                   | Na <sup>+</sup>               | 0,56                     | 1,11                |
|                   | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 0,17                     | 0,34                |

\* Significativo em nível de 5% de probabilidade no método Stepwise.

Atenção deve ser dada aos elevados teores de bicarbonatos e Ca + Mg das águas para uso na irrigação (Quadro 1), associadas às práticas de correção de acidez e fertilidade dos solos. Como exemplo, cabe aqui citar a cultura da bananeira por ser amplamente cultivada no Norte de Minas Gerais, que segundo Silva & Carvalho (2004) é muito sensível ao desequilíbrio entre Ca, K e Mg, por vez, causado pelo aumento do pH e dos teores de Ca do solo.

A composição iônica percentual das águas em função do incremento de condutividade elétrica está apresentada na Figura 2. É observado um aumento nos teores de Ca e Cl e uma diminuição nos teores de HCO<sub>3</sub> e Na, com o incremento da concentração

salina, o que torna a água de Janaúba e Jaíba mais cálcica e menos sódica, uma vez que a percentagem dos teores de Mg pouco variou com o aumento da salinidade. Quanto maior a salinidade da água, menor será o risco de sodificação, pois os sais atuam no solo de maneira oposta ao sódio. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva Junior *et al.* (1999) ao observarem que águas pouco salinas (CE<sub>a</sub> < 0,75 dS m<sup>-1</sup>) tornaram-se mais bicarbonatadas e as mais salinas, cloretadas. O aumento da concentração salina das águas proporciona cada vez mais os teores de cloretos, em detrimento dos teores de carbonato de cálcio e magnésio que, tendem a precipitar em virtude da sua baixa solubilidade, 6,6 e 1,8 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.



**Figura 2.** Composição iônica percentual da água oriunda de poços tubulares da região de Janaúba (A) e Jaíba (B) em função do incremento de condutividade elétrica ( $CE_a$ ) em  $dS\ m^{-1}$

Uma melhor precisão na classificação do tipo de água da região de Janaúba e Jaíba para uso na irrigação é conseguida ao considerar a sua contribuição iônica na salinidade total identificada nos modelos ajustados pela regressão linear múltipla (Quadro 2) e pelo peso de cada íon na soma de quadrados dos respectivos modelos (Quadro 3).

No modelo ajustado para a água de poços da região de Janaúba, observou-se que o maior peso na condutividade elétrica se deva ao Ca, seguido pelo Cl, Mg e Na. Para a água da região de Jaíba observou-se também que o maior peso na condutividade elétrica se deva ao Ca e, que o  $HCO_3$  mesmo contribuindo com um peso menor, faz parte do modelo, o que não foi verificado para as águas de Janaúba. O maior peso na condutividade elétrica das águas no modelo ajustado considerando todas as análises, independente da

origem, é devido ao Ca, seguido pelo Mg, Cl, Na e  $HCO_3$  (Quadro 3).

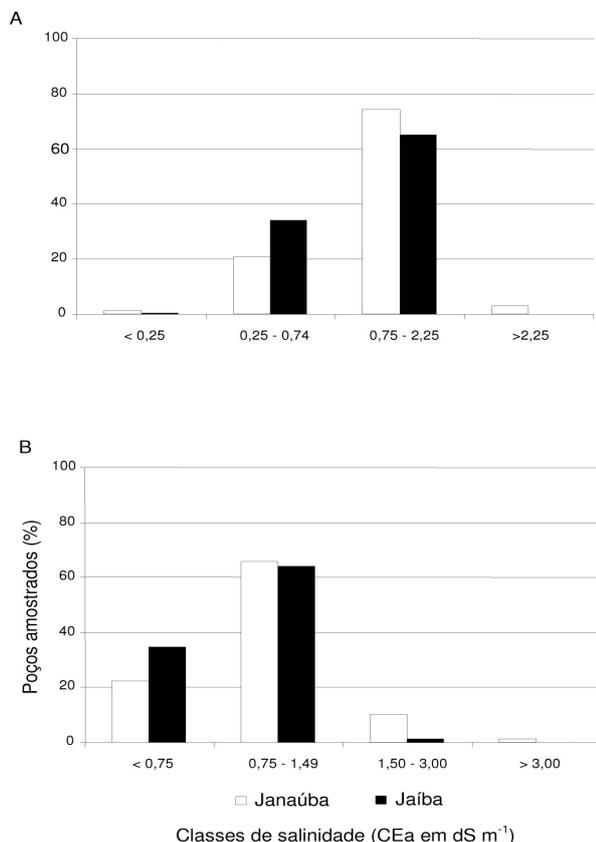
Para a classificação das águas com relação à sua composição iônica, poder-se-ia utilizar apenas o peso da soma de quadrados. No entanto, utilizou-se o peso em porcentagem para maior precisão no diagnóstico da classificação já que os íons de cada origem estariam na mesma escala. Observou-se valores limites para a classificação iguais a 73,08, 61,15 e 72,51% para as águas de Janaúba, Jaíba e todas as análises, respectivamente. Assim, as águas da região de Janaúba e Jaíba são classificadas como cálcicas do ponto de vista da contribuição iônica na salinidade total, devido ao peso do cálcio em porcentagem ter sido o único a superar os limites calculados.

Apesar dos elevados teores de  $HCO_3$  verificados nas águas de Janaúba e Jaíba, se observou que este elemento muito pouco contribuiu no incremento da condutividade elétrica. O elevado teor médio de  $HCO_3$  é creditado à ocorrência de rochas carbonáticas na região Norte de Minas Gerais. Mas, a sua inexpressividade nos modelos ajustados está relacionada à grande variabilidade de seus teores nas águas, em função de uma possível variação de seus teores no material de origem, já que este elemento é dotado de baixa solubilidade quando combinado com o Ca ( $CaCO_3 = 6,6\ mg\ L^{-1}$  a  $20\ ^\circ C$ ), contribuindo pouco para o aumento da salinidade, ao contrário do que se verifica para o cloro, altamente solúvel quando combinado com o Ca ( $CaCl_2 = 813.000\ mg\ L^{-1}$  a  $25\ ^\circ C$ ), com o Na ( $NaCl = 360.000\ mg\ L^{-1}$  a  $20\ ^\circ C$ ), entre outros.

O fato da água da região ser bicarbonatada, segundo alguns estudos mostram, ao levar em consideração os elevados teores de bicarbonatos, não quer dizer que a sua salinidade seja oriunda dos bicarbonatos. Já a alta contribuição do Ca observada nos modelos, seguida pelo Mg, e a passividade destes íons em se unir com o cloreto formando sais altamente solúveis vem melhor comprovar o incremento da salinidade total das águas da região de Janaúba e Jaíba. Cabe salientar que, apesar dos teores de Cl na água ter sido apenas significativo sem, no entanto, ter entrado na classificação da mesma, a sua contribuição na salinidade total esteve entre as maiores observadas para os modelos de Janaúba e todas as análises, superando a contribuição do bicarbonato.

Verificou-se que as maiores frequências relativas das águas de Janaúba e Jaíba (Figura 4) se enquadraram nas classes de águas com salinidade

média ( $0,25 \leq CE_a \leq 0,74 \text{ dS m}^{-1}$ ) e com salinidade alta ( $0,75 \leq CE_a \leq 2,25 \text{ dS m}^{-1}$ ), segundo corpo técnico do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (Richards, 1954). Estes resultados estão de acordo com os observados por Peixoto *et al.* (1986), nos quais não se verificam importantes restrições ao uso agrícola.



**Figura 4.** Classificação de salinidade das águas de poços tubulares das regiões de Janaúba e Jáiba, segundo: A) Richards (1954); B) UCCC (1974)

Ao avaliar a salinidade total das águas utilizando a classificação proposta pela UCCC (1974), se observaram maiores frequências relativas médias de Janaúba e Jáiba, iguais a 28,7 e 65% para as classes de águas com salinidade baixa ( $0,75 \leq CE_a \leq 0,14 \text{ dS m}^{-1}$ ) e com salinidade média ( $0,15 \leq CE_a \leq 0,30 \text{ dS m}^{-1}$ ), respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Nunes *et al.* (2005) ao avaliarem a qualidade das águas de 10 poços tubulares da região de Janaúba, onde 80% das amostras foram classificadas como de média salinidade, enquanto 10% de baixa salinidade e outros 10%, alta salinidade. Leva-se em consideração a pequena quantidade de poços amostrados pelos autores ao comparar estes resultados.

Os valores médios e modais de condutividade elétrica da água da região se enquadraram nas classes de médio e alto risco de salinidade, segundo o corpo técnico do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (RICHARDS, 1954) e o UCCC (1974), respectivamente.

Ao considerar as classificações utilizadas neste trabalho, algumas considerações são feitas por Holanda & Amorim (1997) em relação às diferentes concentrações salinas das águas de irrigação. Águas de baixa salinidade podem ser usadas para irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos, com muito pouca probabilidade de que se desenvolvam problemas de salinidade. Águas de média salinidade podem ser usadas sempre e quando houver uma lixiviação moderada de sais. Águas de alta salinidade não podem ser usadas em solos com drenagem deficiente, necessitando ou não de práticas especiais de controle da salinidade. Já as águas com salinidade muito alta, que neste estudo ficou restrita a apenas uma pequena parcela (< 4%) do total de poços amostrados no município de Janaúba, não é apropriada para irrigação sob condições normais, porém, podem ser usadas ocasionalmente em circunstâncias muito especiais.

Apesar dos riscos de salinidade serem maiores quando se utilizam águas com elevados níveis de sais, segundo Ayers & Westcot (1991) a água utilizada na irrigação, mesmo com baixos níveis de salinidade, pode acarretar um processo de salinização, caso não seja manejada corretamente.

Ressalta-se para o fato da composição química das águas da região em estudo, se enquadrar nas mesmas classificações de salinidade após se passado pouco mais de 20 anos. Por terem sido utilizados dados coletados em diferentes anos e épocas do ano se tornam imprecisas quaisquer inferências a respeito dos processos de diluição e concentração salina das águas subterrâneas em estudo.

Os valores médios e modais do total de sais dissolvidos (SDT), da condutividade elétrica do extrato de saturação ( $CE_{es}$ ), da condutividade elétrica da zona radicular ( $CE_{zr}$ ) e do potencial osmótico ( $\psi_{os}$ ) estimados com base na fração de lixiviação entre 0,15 e 0,20, preconizadas por Ayers & Westcot (1991) estão apresentados no Quadro 4.

Sólidos dissolvidos totais (SDT) em  $\text{mg L}^{-1}$ ; Condutividade elétrica do extrato saturado ( $CE_{es}$ ) e da zona radicular ( $CE_{zr}$ ) em  $\text{dS m}^{-1}$ ; Potencial osmótico ( $\psi_{os}$ ) em kPa; Média (Me), Moda (Mo) e Amplitude (A) em  $\text{meq L}^{-1}$ ; Coeficiente de Variação (CV) em %.

A água da região de Janaúba e Jaíba foi enquadrada em classes com níveis moderados de SDT em 82,08 e 71,95% dos poços amostrados, respectivamente. Observou-se que, em apenas aproximadamente 1% da água analisada de Janaúba, a concentração de sais totais em solução poderia implicar no aparecimento de problemas no solo e nas plantas, salvo em condições especiais de manejo. Estes resultados servem apenas para demonstrar a quantidade de sais aplicados aos solos quando da utilização dessas águas para uso na irrigação, visto que suas estimativas são baseadas na condutividade elétrica da água, já relatada e classificada, anteriormente.

Assim, se for considerada uma necessidade hídrica para as bananeiras 'Prata anã' e 'Grand Naine' igual a 2.200 mm ano<sup>-1</sup> (OLIVEIRA *et al.*, 2005) e um sistema de irrigação com 80% de eficiência na aplicação, estaria sendo aplicado por hectare plantado em média 16.850 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de sais para a região de Janaúba e Jaíba. É observado um valor médio de sais na água de 0,61 ton 1.000 m<sup>-3</sup>, o que está de acordo com Macêdo & Santos (1992) que relataram existir nas águas de irrigação quantidades de sais variando de 0,1 (água boa) a 4,0 (água imprópria) toneladas de sal em cada 1.000 m<sup>3</sup>.

Considerando a necessidade hídrica anual da bananeira, e que a mesma seja tolerante a uma condutividade elétrica do extrato saturado do solo de até 1,5 dS m<sup>-1</sup>, um pouco superior ao valor de 1 dS m<sup>-1</sup> relatado por Doorenbos & Kassam (1994) para manter seus rendimentos em níveis satisfatórios, pode-se inferir pela salinidade média da água de Janaúba igual a 1,07 dS m<sup>-1</sup>, que a necessidade média de lixiviação é de 0,17. Isto quer dizer que, a lâmina anual de irrigação para satisfazer a evapotranspiração da cultura e a necessidade de lixiviação para controle da salinidade em longo prazo é de 2.640 mm, ou seja,

foram acrescidos 17% à lâmina correspondente a evapotranspiração anual da cultura. Segundo Nunes *et al.* (2005) é aplicada em média uma lâmina de 2.370 mm ano<sup>-1</sup> na bananicultura da região. Assim, se verifica que a lâmina média aplicada atualmente entre os bananicultores é 10% inferior à lâmina necessária à cultura e a lixiviação dos sais para manter a salinidade do solo, em níveis aceitáveis.

Cabe salientar que, estas estimativas levam em consideração o padrão de extração normal da água consumida pelas culturas, preconizados por Ayers & Westcot (1991), bem como, valores de evapotranspiração aproximados e condutividade elétrica média da água para a região de Janaúba. Chama-se a atenção para as estimativas apresentadas acima que, devem ser reconsideradas para cada situação em particular, evitando sobre ou subestimativas das frações de lixiviação.

O componente osmótico aparece pelo fato da água no solo ser uma solução de sais minerais. Assim, há uma tendência do potencial osmótico no solo aumentar com o uso inadequado de águas salinas.

Verifica-se para a região de Janaúba e Jaíba que, mesmo com as aplicações das lâminas de lixiviação, os valores de potencial osmótico estimados ainda assim podem refletir em um aumento das forças de retenção da água no solo, causando redução de absorção de água pela planta à planta. No entanto, Lima (1997) relata que o efeito no crescimento, de níveis similares de potencial osmótico e mátricial, é diferente. Para o autor, embora o crescimento da parte aérea das plantas se reduza com o acentuado potencial osmótico do solo onde estão, a redução da absorção de água não é necessariamente a causa principal do reduzido crescimento das plantas em ambientes salinos. Os efeitos indesejáveis dos sais

**Quadro 4.** Características físico-químicas estimadas das águas de poços tubulares das regiões de Janaúba e Jaíba

| Características  | Janaúba |        |         |       |
|------------------|---------|--------|---------|-------|
|                  | Me      | Mo     | A       | CV    |
| SDT              | 674,91  | 627,81 | 2110,72 | 45,59 |
| CE <sub>es</sub> | 1,58    | 1,47   | 4,95    | 45,58 |
| CE <sub>zr</sub> | 3,21    | 3,88   | 15,41   | 50,73 |
| Características  | Jaíba   |        |         |       |
|                  | Me      | Mo     | A       | CV    |
| SDT              | 550,74  | 551,84 | 1040,00 | 30,47 |
| CE <sub>es</sub> | 1,29    | 1,30   | 2,44    | 30,46 |
| CE <sub>zr</sub> | 2,58    | 2,59   | 4,87    | 30,45 |

sobre as culturas podem trazer prejuízos irreversíveis às áreas irrigadas com águas salinas, fato observado quando não há informações precisas sobre a qualidade da água da região.

## CONCLUSÕES

- Com base nos teores médios de Ca, Mg, Na e Cl, a água dos poços tubulares da região de Janaúba e Jaíba é indicada para irrigação, desde que se utilizem alternativas de manejo.
- Os teores de Na na água por si só não oferecem riscos de sodicidade.
- Os teores de HCO<sub>3</sub> superiores aos de Ca e Mg, podem interferir na relação de adsorção de sódio.
- A água da região é classificada como de médio a alto risco de salinização dos solos, podendo ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação e drenagem adequada.
- Apesar dos elevados teores de HCO<sub>3</sub> na água, os teores de Ca, Mg e Cl contribuem em maiores proporções no incremento da salinidade total.
- Os valores médios de potencial osmótico estimados são um indicativo da necessidade de um manejo adequado no uso da água para irrigação.

## AGRADECIMENTOS

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) pelo fornecimento dos boletins de análises de água da região de Janaúba e Jaíba.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão de bolsas de estudos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE JUNIOR, A.S. de; SILVA, E.F. de F. e; BASTOS, E.A.; MELO, F. de B.; LEAL, C.M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no semi-árido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.4, p.873-880, 2006.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB,

1991. 218p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29, rev. 1)

CAMPBELL, R.B.; BOWER, C.A.; RICHARDS, L.A. Change of electrical conductivity with temperature and the relation of osmotic pressure to electrical conductivity and concentration for soil extracts. **Soil Science Society of America Journal**. v.13, p.66-69, 1949.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. **Hidrologia subterrânea**. 2. ed. Barcelona: Omega, 1983. 1200p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeitos da água no rendimento das culturas**. Estudo FAO, Irrigação e Drenagem 33. Tradução GHEYI, H.R.; SOUZA, A.A. de; DAMASCENO, F.A.V.; MEDEIROS, J.F. de. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

FERREIRA, D.F. **Programa de análises estatísticas (statistical analysis software) e planejamento de experimentos - SISVAR 5.0 (Build 67)**. DEX/UFLA, Lavras, 2003.

HOLANDA, J.S. de; AMORIM, J.R.A. de. Qualidade da água para irrigação. **In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. de. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. cap.5, p.137-169.

LEMO FILHO, L.C. de A.; CARVALHO, L.G. de; EVANGELISTA, A.W.P.; CARVALHO, L.M.T. de; DANTAS, A.A.A. Análise espaço-temporal da evapotranspiração de referência para Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.5, p.1462-1469, set./out., 2007.

LIMA, L.A. Efeitos de sais no solo e na planta. **In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. de. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. cap.4, p.113-136.

MACÊDO, L. de S.; SANTOS, J.B. dos. Efeito da aplicação de água salina sobre os solos irrigados na Bacia Sucuru/Sumé, PB. **Pesquisa Agropecuária**

- Brasileira**, Brasília, v.27, n.6, p.915-922, jun. 1992.
- 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**, Campina Grande, v.5, n.1, p.55-59, 2001.
- NUNES FILHO, J.; SOUZA, A.R. de; SÁ, V.A. de L. e; LIMA, B.P. Relação entre 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**, Campina Grande, v.4, n.2, p.189-193, 2000.
- NUNES, W.A.G. de A.; KER, J.C.; NEVES, J.C.L.; RUIZ, H.A.; FREITAS, G.A.; BEIRIGO, R.M. Qualidade da água de irrigação de poços tubulares e do rio Gorutuba na região de Janaúba-MG, **Irriga**, Botucatu, v.10, n.4, p.403-410, nov./dez., 2005.
- OLIVEIRA, S.L. de; BORGES, A.L.; COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M.A.; SILVA, J.T.A. da. **Uso da irrigação e da fertirrigação na produção integrada de banana no Norte de Minas Gerais**. (Circular Técnica 77), Cruz das Almas: Embrapa, p.1-7, dez., 2005.
- PEIXOTO, C.A. de M.; ESCONDINO, P.C.B.; MARQUES, A.F.S.M. Água subterrânea para irrigação na região cárstica do Norte de Minas Gerais e Sul da Bahia – Discussão preliminar. **Revista Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n.86, p.11-17, 1986.
- RIBEIRO, G.M.; MAIA, C.E.; MEDEIROS, J.F. de. Uso da regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.15-22, 2005.
- RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C.: U.S. Salinity Laboratory., 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).
- RODRIGUES, J.O.; ANDRADE, E.M. de; CRISÓSTOMO, L.A.; TEIXEIRA, A. dos S. Modelos da concentração iônica em águas subterrâneas no Distrito de Irrigação Baixo Acaraú. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.38, n.4, p.360-365, out./dez., 2007.
- 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.
- SILVA, E.B.; RODRIGUES, M.G.V.; SANTOS, J.O. Estado nutricional de um bananal irrigado com água subterrânea. In: Simpósio Norte Mineiro Sobre a Cultura da Banana, 1., 2001, Nova Porteirinha. **Anais...** Nova Porteirinha: EPAMIG, 2001. p.203-217.
- SILVA, J.T.A. da; CARVALHO, J.G. de. Propriedade do solo, estado nutricional e produtividade de bananeiras ‘Prata anã’ (AAB) irrigadas com águas calcárias. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.28, n.2, p.332-338, mar./abr., 2004.
- UCCC – University of California Committee of Consultants. **Guidelines for interpretation of water quality for agriculture**. Davis: University of California, 1974. 13p.
- VILLAS BÔAS, R.L.; BOARETTO, A.E.; WITTI, G.C. Aspectos da fertilização. In: Simpósio Brasileiro Sobre Fertilizantes Fluidos. Piracicaba: Potafos, p.284-308, 1994.