

## AVALIAÇÃO DA SALINIDADE, SODICIDADE E ALCALINIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA IRRIGAÇÃO EM JAÍBA E JANAÚBA, MINAS GERAIS

**Fábio Henrique de Souza Faria<sup>1</sup>; Luiz Antônio Lima<sup>2</sup>; Moisés Santiago Ribeiro<sup>2</sup>; Silvânio Rodrigues Santos<sup>1</sup>; Kleber Mariano Ribeiro<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG, fabio.faria@unimontes.br*

<sup>2</sup>*Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*

### 1 RESUMO

Devido à escassez hídrica superficial, os irrigantes da região Norte Mineira utilizam as águas subterrâneas disponíveis e de qualidade inferior. Os problemas de seu uso na irrigação são a salinização, alcalinização, sodificação dos solos e suas conseqüências, além da obstrução ou corrosão de equipamentos. A avaliação da qualidade de água é uma alternativa para minimizar prejuízos aos investimentos na agricultura irrigada. Com o objetivo de avaliar a qualidade das águas subterrâneas de Janaúba e Jaíba, MG, quanto aos problemas salinidade e sodicidade, utilizou-se de dados da Epamig/CTNM referentes aos anos entre 1993 e 2006. As características analisadas foram pH, condutividade elétrica (CE),  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ . Os valores médios de pH e CE predominantes indicam risco moderado de uso, com pequena superioridade para Jaíba. A RASaj tem classificação S<sub>1</sub> em 94% das análises. Os valores de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{HCO}_3^-$  são, em maioria, baixos, médios e elevados e classificados como sem risco, risco moderado e severo de uso na irrigação, respectivamente. O  $\text{Na}^+$ , o PS das águas e o PST do solo não representam risco de sodificação dos solos ou restrição ao uso da água na irrigação. As águas são classificadas como de uso irrestrito em 59 a 83% das análises quanto ao risco de redução da sua infiltração nos solos. A classificação USSL das águas para uso na irrigação é C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> e a UCCC é C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> para o maior percentual de análises destes municípios

**UNITERMOS:** condutividade elétrica, pH, RAS, poço tubular

**FARIA, F. H. S.; LIMA, L. A.; RIBEIRO, M. S., SANTOS, S. R.; RIBEIRO, K. M.  
EVALUATION OF UNDERGROUND WATER SALINITY, SODICITY AND  
ALKALINITY FOR IRRIGATION IN JAÍBA AND JANAÚBA, MG, BRAZIL**

### 2 ABSTRACT

Due to surface water shortages, the northern Minas Gerais region producers use the available groundwater that has inferior quality. The common problems of these waters in the region are soil salinity, sodicity and alkalinity and their possible consequences, and corrosion or clogging of equipment. The assessment of the water quality is an alternative to avoid or reduce damage to investment in irrigated agriculture. In order to examine the Janaúba and Jaíba (MG) groundwater quality for the sodicity and alkalinity problems, Epamig /

CTNM database from 1993 at 2006 was used. The analyzed characteristics were pH, electrical conductivity (EC),  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{CO}_3^{2-}$ . The pH and EC average values indicate moderate risk for irrigation use, but with small values in Jaíba. RASaj has  $S_1$  classification in 94% of the analysis. The  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{HCO}_3^-$  predominant values were mostly classified as low, middle and high, and they indicated no risk, moderate risk and severe risk to water use in irrigation, respectively.  $\text{Na}^+$ , PS water and soil PST did not represent sodicity risk or restriction of water use for irrigation. The waters were classified as unrestricted use regarding their risk of reducing soil infiltration in 59 to 83% of the tests. The USSL classification for water use in irrigation is  $C_3S_1$  and the UCCC is  $C_2S_1$  for both municipalities in most analyses.

**KEYWORDS:** electrical conductivity, pH, RAS, wells

### 3 INTRODUÇÃO

Com a fruticultura irrigada tem-se obtido sucesso na região Norte Mineira em função de fatores climáticos favoráveis e investimentos em infra-estrutura específica. Apesar dos projetos públicos de irrigação não integrarem a região, a atividade tem despertado o interesse dos demais produtores que possuem recursos hídricos subterrâneos satisfatórios, dada à insuficiência da malha hidrológica superficial.

Estudos geológicos evidenciaram as potencialidades hídricas do cárstico regional, com vazões específicas de até  $36 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , classificaram as águas como  $C_2S_1$  e  $C_3S_1$ , em geral, mas não qualificaram com propriedade a natureza e eventuais problemas de seu uso (Peixoto et al., 1986; Ramos & Paixão, 2003). A região compreendida entre os rios São Francisco, Verde Grande e Gorutuba apresentam intensa carstificação, com domínio geológico do Grupo Bambuí, seguido pela formação Paraopeba.

Para avaliar e classificar as águas com relação aos problemas de salinidade, sodicidade e alcalinidade pode-se utilizar as características CE, pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$  e suas interrelações - razão de adsorção de sódio (RAS), porcentagem de sódio (PS), carbonato de sódio residual (CSR), índice de saturação (IS), índice de estabilidade (IE), equivalente carbonato de cálcio ( $E_{\text{CaCO}_3}$ ), entre outras.

A irrigação com água acentuadamente calcária propicia altas concentrações de  $\text{HCO}_3^-$  na solução do solo,  $\text{CaCO}_3$  precipitado, valores elevados de pH e virtualmente nenhum  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis. Assim, ao reduzir a concentração de  $\text{Al}^{3+}$  na solução do solo, ou ainda, se concomitante, houver contribuição percentual expressiva de cátions como o sódio, potássio ou magnésio na água de irrigação ou no solo, haverá tendência à dispersão da estrutura dos solos devido ao aumento da dupla camada difusa (DCD), provocada por esses cátions de grande raio hidratado e de elevada energia de hidratação, principalmente quando o teor total de cátions no solo for baixo (Emerson, 1983; Jucksch, 1987; So & Aylmore, 1995). Pizarro (1985) relacionou os cátions decrescentemente com relação à força de adsorção ao complexo de troca:  $\text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{H}^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ .

Sob outra ótica, a irrigação com água rica em  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  favorece a floculação da argila e a estabilidade de agregados, pois nos solos da região predominam cátions divalentes e a relação entre  $\text{Na}/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  é baixa, apresentando partículas de argila floculadas e, conseqüentemente, boa permeabilidade (Silva & Carvalho, 2005). Lindsay (1979) afirmou que o carbonato de cálcio em teores elevados influencia algumas propriedades, como por

exemplo, os valores de pH, que se situam na faixa de 7,3 a 8,5, e apenas na presença de sódio são superiores a 8,5.

Nunes et al. (2006) compararam os efeitos das águas de 10 poços tubulares com os de 14 águas superficiais em solos na região de Janaúba e constataram decréscimo do grau de flocculação das argilas e dispersão promovida pela elevação do pH, causando elevação na densidade do solo, diminuição na porosidade total e macroporosidade, bem como redução da condutividade hidráulica em meio saturado. Em avaliação da qualidade destas águas, estes autores concluíram que as águas de poços têm teores elevados de cálcio e bicarbonato e valores médios de CE e RAS, superiores às de rio (Nunes et al., 2005).

Silva & Carvalho (2004) estudaram os efeitos da irrigação com águas calcárias e não-calcárias sobre propriedades químicas e físicas dos solos em bananais de 100 propriedades em Janaúba e Jaíba, Minas Gerais. Verificaram maiores valores de pH, CE, teor de  $\text{Ca}^{2+}$  e matéria orgânica, menor densidade de solo, além de maiores produtividades aplicando-se águas calcárias em relação às não-calcárias. Tal conclusão é contraditória à de Nunes et al. (2006) e segundo este autor, pode ser atribuída ao efeito modulador de propriedades do solo como o teor de matéria orgânica, mineralogia e status anterior de saturação por cátions do complexo sortivo.

No semi-árido Nordeste tem sido desenvolvidos vários trabalhos de caracterização e classificação das águas para fins de irrigação (Maia et al., 2001; Medeiros et al., 2003; Andrade Júnior et al., 2006), com ênfase para os problemas da salinização, sodificação e alcalinização. Maia et al. (1998a,b) ressaltaram as alterações na classificação da água de irrigação quando utilizadas diferentes metodologias de cálculo da RAS. Na avaliação do risco de sodicidade das águas para fins de irrigação da região da Chapada do Apodi e no Baixo-Açu (RN) observaram que, em média, a  $\text{RAS}_{\text{prática}} < \text{RAS} < \text{RAS}_{\text{corrigida}} < \text{RAS}_{\text{ajustada}}$ , ocorrendo superestimação dos valores por esta última em 50%.

A variação espaço-temporal das características das águas, o uso e a textura dos solos dos irrigantes devem ser considerados na análise do uso de água calcária de qualidade duvidosa. Contudo, as informações de um diagnóstico grupal de análise são necessárias, relevantes e indicadoras. Práticas corriqueiras como calagem e correção da fertilidade de solos a serem irrigados com águas calcárias podem ser desnecessárias e até mesmo prejudiciais e irreversíveis.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar e classificar a qualidade de águas subterrâneas para irrigação com relação à salinidade, sodicidade e alcalinidade na região do pólo hortifrutícola Janaúba-Jaíba, Minas Gerais.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização e Fisiografia da Área de Abrangência do Estudo

O estudo foi realizado na região Norte de Minas, para as análises de águas de poços tubulares localizados entre os rios São Francisco, Verde Grande e Gorutuba, denominada Depressão SanFranciscana, com altitude de aproximadamente 518 m. A classificação do clima da região segundo Koeppen é Aw, caracterizado por chuvas concentradas no verão, e seco nos meses do inverno, apresentando pluviosidade média anual de 871 mm, concentrados de novembro a março. A temperatura média anual é de 24°C e as médias de verão e inverno são 32 e 19,5°C, respectivamente. A insolação é de 2763 horas anuais e umidade relativa média de 70,6%, podendo atingir no período seco 20% de UR. A evapotranspiração potencial

média calculada pelo método de Hargreaves para a região é 1.649 mm anuais, com déficit hídrico médio de 778 mm ano<sup>-1</sup> (Rodrigues et. al., 2002).

As análises de água utilizadas neste trabalho foram cedidas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG/CTNM) - Laboratório de Água e Solos. Os protocolos de água são referentes aos anos entre 1993 e 2006, totalizando 1.200 análises. Selecionaram-se 450 análises em área potencial de irrigação restrita ao aquífero confinado de alta vazão, com 280 análises próximas a Janaúba e 170 análises próximas a Jaíba.

## 4.2 Características , Metodologias e Classificação das Análises de Água

As características analisadas foram pH, CE em dS m<sup>-1</sup> a 25° C, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> em mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>. A partir destas, foram calculadas as variáveis RAS (razão de adsorção de sódio), RAS ajustada (RASaj), RAS corrigida (RAScor), pHc (pH calculado ou teórico de equilíbrio da água com CaCO<sub>3</sub>) e Ca<sup>0</sup> (teor de cálcio corrigido e remanescente na solução do solo em função da salinidade da água e pressão parcial de CO<sub>2</sub>) segundo Ayers & Westcot (1991), Porcentagem de Sódio (PS), Porcentagem de Sódio Trocável do Solo (PST), Carbonato de Sódio Residual (CSR) e Erro Iônico (EI) conforme Teissedré (1988), Índice de Saturação de CaCO<sub>3</sub> (IS) segundo Langelier (1936), Índice de Estabilidade (IE) segundo Ryznar (1944), e Equivalente Carbonato de Cálcio (E<sub>CaCO3</sub>) de acordo com Maia et al.(2001), sendo determinadas pelas equações:

$$RAS = Na / (Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2}, \text{ em } (mmol_c L^{-1})^{1/2};$$

$$RASaj = Na / (Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2} \cdot [1 + (8,4 - pHc)], \text{ em } (mmol_c L^{-1})^{1/2};$$

$$RAScor = Na / (Ca^0 + Mg^{2+})^{1/2}, \text{ em } (mmol_c L^{-1})^{1/2};$$

onde: pHc = (pk<sub>2</sub> - pk<sub>c</sub>) + p(Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>) + pAlc, com valores de pk<sub>2</sub>, pk<sub>c</sub>, p(Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>), pAlc e Ca<sup>0</sup> obtidos em tabelas para concentrações correspondentes aos elementos das águas;

CSR (carbonato de sódio residual): CSR = (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) - (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>), em mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>;

PS = Na.100/(Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + Na<sup>+</sup>), em %;

PST = 100 (-0,0126 + 0,01475 RAS) / 1 + (-0,0126 + 0,01475 RAS), em %;

IS = pHa - pHc, onde pHa é o pH atual da água, valores de IS positivo indicam águas incrustantes e valores negativos águas corrosivas;

IE = 2 pHc - pHa, em que valores entre 6 e 6,5 indicam águas neutras, abaixo de 6,0 águas incrustantes e acima de 6,5 águas corrosivas, em escala conforme a gravidade dos problemas;

E<sub>CaCO3</sub> = A<sub>CO3</sub> + A<sub>HCO3</sub> \* h / 2, onde: E<sub>CaCO3</sub> - equivalente carbonato de cálcio PRNT 100% (Kg ha<sup>-1</sup>), A<sub>CO3</sub> - teor de CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> na água (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), A<sub>HCO3</sub> - teor de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> na água (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) e h - lâmina aplicada (mm);

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

onde: Σcátions e ânions indicam concentração total de cátions e ânions em mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>.

A metodologia de análise de água adotada pelo laboratório da Epamig no período em estudo foi Embrapa (1979; 1997). Os dados foram tabulados em planilha eletrônica e analisados pelo programa computacional Sisvar 5.0 (Ferreira, 2003). Elaborou-se tabelas com média, moda, coeficiente de variação (CV) e amplitude de valores de qualidade de água.

Para a interpretação das características da qualidade de água e classificação adotaram-se as metodologias descritas em Ayers & Westcot (1991), Langelier (1936), Pizarro (1985), Ryznar (1944), Teissedré (1988), e Villas Boas et al.(1994). Para a classificação da salinidade (C), e sodicidade (S), utilizou-se as metodologias: Laboratório de Salinidade do Departamento

de Agricultura dos Estados Unidos (USSL) segundo Richards (1954) e Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia (1974) citado por Pizarro (1985). Foram feitos testes de regressão linear simples, polinomial quadrática e múltipla correlacionando as características das análises com a finalidade de estudar as inter-relações dos principais íons para o conjunto das análises das águas. Para classificar a água de irrigação pela análise de regressão múltipla, utilizou-se a seleção por etapa (the stepwise regression procedure) de acordo com Draper & Smith (1981).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características analisadas das águas subterrâneas dos municípios de Janaúba e Jaíba necessárias ao estudo da salinidade, sodicidade e alcalinidade têm seus valores dispostos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Estatísticas descritivas dos resultados analíticos de características físico-químicas das águas subterrâneas dos municípios de Janaúba e Jaíba, Minas Gerais.

Atributos	Janaúba				Jaíba			
	Me	Mo	CV %	A	Me	Mo	CV %	A
<b>pH</b>	7,11	7,00	5,81	2,90	7,23	7,45	5,80	2,20
<b>CE</b> dS m <sup>-1</sup>	1,06	0,98	45,46	3,30	0,86	0,86	30,45	1,62
<b>Ca<sup>2+</sup></b> mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	7,92	7,25	48,02	26,93	6,55	6,79	41,54	14,16
<b>Mg<sup>2+</sup></b> mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	2,40	2,44	65,27	10,87	1,82	1,70	62,92	6,40
<b>K<sup>+</sup></b> mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0,17	0,12	51,48	1,02	0,12	0,10	127,31	1,02
<b>Na<sup>+</sup></b> mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	1,87	1,89	69,82	9,51	1,36	0,91	94,92	8,22
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	12,44	12,98	42,64	33,00	12,05	13,42	40,81	28,00
<b>CO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	0,06	0,00	397,10	2,00	0,03	0,00	408,10	1,00
<b>Cl<sup>-</sup></b> mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	3,35	2,90	82,89	17,60	2,92	3,40	86,84	16,00

Me – média, Mo – moda, CV – coeficiente de variação, A – amplitude de valores.

Os valores médios e modais de pH são superiores a 7 para os dois municípios. A amplitude de 2,2 a 2,9 unidades indica grande variabilidade da característica nas análises.

Os valores médios de CE das águas foram 0,86 e 1,06 dS m<sup>-1</sup> para Jaíba e Janaúba, respectivamente. Essa diferença provavelmente se deve à proximidade de Jaíba ao Rio São Francisco, dreno natural da bacia considerando-se a macro-toposequência e o fator de diluição/depuração da água. A amplitude dilatada dos valores de CE de Janaúba se deve a peculiaridade de poucas localidades isoladas conhecidas por águas de valores elevados de CE.

Valores médios de CE e pH semelhantes foram encontrados por Nunes et al. (2005) e Silva & Carvalho (2004), em análise da água calcária da região, com CE 1,2 e 1,0 dS m<sup>-1</sup>, e pH 7,2 e 7,0, respectivamente.

Na Tabela 2 encontram-se estatísticas descritivas de alguns parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas. Dentre eles, temos a razão de adsorção de sódio (RAS), o indicador mais adequado e adotado para avaliação da sodicidade das águas e sua capacidade de sodificação do solo. Nas análises deste estudo obtiveram-se baixos valores de RAS com as metodologias de cálculo preconizadas – RAS, RAScor e RASaj, para os dois municípios. Os

valores médios e modais das RAS de Jaíba tiveram pequena superioridade sobre os de Janaúba, mas com menores amplitudes.

Com valores médios de pH pouco superiores a 7 e valores médios de pHc pouco inferiores a 7 (diferença média de 0,5 unidade), obteve-se índices de saturação (IS) com baixos valores positivos e índices de estabilidade (IE) na faixa de neutralidade. De acordo com a classificação de Ryznar (1944), valores entre 6,0 e 6,5 correspondem às águas neutras ou com baixa atividade obstrutiva/corrosiva. Pode-se afirmar, portanto, para as águas dos dois municípios a condição de baixa alcalinidade.

**Tabela 2.** Estatísticas descritivas de parâmetros físico-químicos das águas de poços tubulares de Janaúba e Jaíba, Minas Gerais.

Atributos	Janaúba				Jaíba			
	Me	Mo	CV %	A	Me	Mo	CV %	A
<b>RAS</b> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	0,88	0,87	95,80	10,86	0,96	1,32	63,39	3,82
<b>RAScor</b>	1,38	1,21	72,69	10,17	1,53	2,05	55,27	5,88
<b>RASaj</b>	2,45	1,91	67,29	12,38	2,64	3,79	55,19	10,94
<b>pHc</b>	6,69	6,55	5,30	2,50	6,79	6,80	5,62	2,80
<b>I. Saturação</b>	0,41	0,36	121,09	3,44	0,30	0,37	123,70	3,90
<b>I. Estabilidade</b>	6,04	5,89	12,61	4,72	6,37	6,26	9,42	6,18
<b>Ca/Mg</b>	4,24	3,81	63,20	14,16	4,79	3,70	68,91	17,10
<b>Mg/Ca</b>	0,34	0,30	1,12	63,18	0,32	0,25	1,02	65,62
<b>Ca+Mg</b> mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	10,32	10,20	45,96	31,86	8,37	8,97	37,80	17,66
<b>Ca°</b> mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	1,68	1,95	77,83	18,96	1,64	1,76	31,13	3,19
<b>HCO<sub>3</sub>/Ca</b>	2,86	2,10	159,43	43,44	2,01	2,11	75,84	14,77
<b>PS</b> %	16,17	16,43	68,40	91,47	14,86	9,64	85,11	65,06
<b>CSR</b> mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	2,27	2,38	268,25	46,69	3,92	6,08	140,24	32,34
<b>E<sub>CaCO3</sub></b> kg ha <sup>-1</sup>	1.880	1.861	42,65	4.980	1.816	2.035	40,73	4.200
<b>PST solo</b> %	0,04	-1,24	3760,85	16,20	-0,20	-0,56	513,01	5,69
<b>EI</b>	-14,02	-18,45	136,27	113,6	-10,26	-6,41	182	105,8

Me – média , Mo – moda , CV – coeficiente de variação , A – amplitude de valores ocorridos.

Analisou-se conjuntamente os valores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca° e das relações Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>/Ca<sup>2+</sup> e Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>. Os valores médios de Ca<sup>2+</sup> (7,96 e 6,55 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) expressam risco moderado de uso na irrigação para a maioria das águas (55 a 62%), e os valores de Mg<sup>2+</sup> (2,40 e 1,82 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) pertencem a faixa de normalidade para irrigação das águas (92 a 98%), para Janaúba e Jaíba, respectivamente (Tabela 3). No entanto, as amplitudes dos valores de Mg ultrapassam a faixa de normalidade, segundo Ayers & Westcot (1991) e indicam alta variação da qualidade de água.

**Tabela 3.** Classificação quanto ao uso de água na irrigação das características de salinidade, sodicidade e alcalinidade das águas subterrâneas dos municípios de Janaúba e Jaíba, Minas Gerais.

Atributos	Janaúba			Jaíba		
	Grau de restrição de uso da água na irrigação					
	S R	R M	R S	S R	R M	R S
	----- % -----					
<b>CE</b>	15,41	<b>82,79</b>	1,80	27,44	<b>72,56</b>	0
<b>pH</b>	40,14	<b>56,63</b>	3,23	25,0	<b>69,51</b>	5,49
<b>Ca<sup>2+</sup>*</b>	19,0	<b>54,50</b>	26,5	30,5	<b>59,75</b>	9,75
<b>Mg<sup>2+</sup>*</b>	<b>92,83</b>	7,17	0	<b>98,17</b>	1,83	0
<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>99,28</b>	0,36	0,36	<b>94,51</b>	5,49	0
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,40	32,67	<b>66,93</b>	1,45	26,81	<b>71,74</b>
<b>CSR</b>	43,42	<b>52,19</b>	4,39	29,00	<b>64,50</b>	6,50
<b>PS**</b>	<b>99,65</b>	0	0,35	<b>98,78</b>	1,22	0
<b>Infilt. (RAS)</b>	<b>83,87</b>	15,41	0,72	<b>70,73</b>	28,66	0,61
<b>Infilt. (RASco)</b>	<b>82,87</b>	16,33	0,80	<b>65,94</b>	33,33	0,73
<b>Infilt. (RASaj)</b>	<b>71,71</b>	27,49	0,80	<b>59,42</b>	39,86	0,72

Fonte: Ayers & Westcot (1991)/University of California Committee of Consultants (1974), Villas Boas et al.(1994)\*, Teissedré (1988)\*\*. SR-sem restrição, RM – restrição moderada, RS – restrição severa

Apesar da classificação dos valores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> das águas quanto ao uso na irrigação ser predominantemente de moderado e nenhum risco, respectivamente, o histórico de conseqüências nos solos irrigados com águas calcárias na região norte Mineira acusa elevado acúmulo de seus teores nos solos (Ca<sup>2+</sup>>7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e Mg<sup>2+</sup>>3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Silva & Carvalho (2005) corroboram os relatos, afirmando que o cálcio chega a teores quatro vezes maiores em solos irrigados com águas calcárias quando comparadas às águas não calcárias.

O cálcio é notadamente um íon floculante por ter força eletrostática superior aos cátions monovalentes, força esta superior à força de hidratação, que causa o distanciamento das placas de argilas ou expansão da dupla camada difusa (DCD) por íons superiores em raio iônico hidratado (Lima, 1997). É importante conhecer os valores das relações do íon Ca<sup>2+</sup> com os íons Mg<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup> da água de irrigação para que se preveja a provável condição de dispersão ou floculação dos solos. As águas deste estudo apresentaram relação Ca/Mg superiores a 4,0 e de amplitudes superiores a 14,0 para os dois municípios. Estes valores analisados conjuntamente com os baixos valores de sódio e PS, indicam e permitem concluir que é grande a probabilidade de ocorrer alcalinização e não sodificação dos solos irrigados com estas águas.

A alcalinização dos solos pode induzir a dispersão das argilas por precipitar Al<sup>3+</sup> e assim permitir que cátions com menor valência em relação ao Al<sup>3+</sup> passem a dominar o complexo de troca do solo, favorecendo a expansão da DCD (Jucksch, 1987). Como conseqüências tem-se indisponibilidade dos nutrientes Fe, B, Cu, Zn, N, S e P, elevação de densidade global, redução da macroporosidade, porosidade total, armazenamento de água, aeração, condutividade hidráulica e permeabilidade do solo. Entretanto, a condição regional norte Mineira de intensa pluviografia resulta em lixiviação natural de parte dos sais.

Os valores médios e de amplitude de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> nas águas de Janaúba e Jaíba são elevados (12 a 13,42 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), típicos da formação geológica cárstica. A classificação das águas

quanto ao uso na irrigação para teores de bicarbonato indicam restrição severa em percentuais elevados de análises (67-71%). Esta classificação evidencia seu potencial de alcalinização e sodificação, pela ação neutralizadora dos íons  $H^+$  e pela ação precipitante de carbonatos de cálcio e magnésio, com conseqüente vacância no complexo de troca para o sódio, ou seja, permite elevar a concentração de sódio na solução do solo.

Ao estabelecer-se a relação entre  $HCO_3^-$  e  $Ca^{2+}$  pode-se analisar empiricamente a disponibilidade do cátion para a formação do carbonato de cálcio e conseqüente precipitação, bem como a disponibilidade do ânion para se associar à outros cátions, como por exemplo o sódio. Nas águas de Janaúba, verificada a razão média 2,86, tem-se que em 78,5% das águas analisadas os valores desta relação foram maiores que 1, enquanto em Jaíba, com razão média 2,01, 66,67% das análises foram maiores que 1. Essa disponibilidade superior proporcional de  $Ca^{2+}$ , maior nas águas de Jaíba, evidencia que poderá ocorrer precipitação do cálcio na forma de carbonato de cálcio e assim se reduz sua concentração na solução do solo, o que reduziria sua influência sobre o pH.

Tal fato é comprovado pelos elevados valores de CSR médios (2 a 4  $mmol_c L^{-1}$ ), classificando as águas como de moderada restrição ao uso na irrigação em 52 a 65% das análises. Entretanto, é necessário que haja equivalente disponibilidade de sódio nas águas ou nos solos para que tal sodificação se verifique, o que não se confirmou nas análises de água. Nunes et al. (2005) e Silva & Carvalho (2004), em análise da água calcária na região, apresentaram dados que resultam em CSR com valores aproximados aos deste estudo: 1,9 e 2,25  $mmol_c L^{-1}$ , respectivamente, corroborando a afirmação.

Os teores médios estimados de  $Ca^{\circ}$  são semelhantes nos dois municípios: 1,68 e 1,64  $mmol_c L^{-1}$ . Porém, significativamente discrepantes em amplitude (18,96 e 3,19  $mmol_c L^{-1}$ ) a favor de Jaíba. O  $Ca^{\circ}$ , segundo Suarez (1981), citado por Ayers & Westcot (1991) representa a concentração final de cálcio que permanecerá na solução do solo, como resultado da aplicação de uma água de determinada salinidade e teor relativo de bicarbonato em relação ao cálcio ( $HCO_3^-/Ca^{2+}$ ). O  $CaCO_3$  provável a ser formado tem baixa solubilidade em solução (6,6  $mg L^{-1}$ ). Considerando-se que no semi-árido Mineiro as irrigações são necessárias em mais de 300 dias  $ano^{-1}$ , que a  $ET_c$  média da bananeira (principal cultura irrigada) é de 8  $mm dia^{-1}$  e que cada  $mm$  de lâmina representa 10  $m^3 ha^{-1}$  de água, pode-se calcular o montante de  $Ca^{2+}$  adicionado à solução do solo por ano agrícola (800  $kg Ca^{2+} ha^{-1} ano^{-1}$ ) e prever as conseqüências.

O equivalente de cálcio é um estimador bastante prático da quantidade de carbonato de cálcio adicionado ao solo. A elevação do pH do solo ao longo dos anos se deve aos elevados teores acumulados de cálcio e bicarbonato das águas de poço tubular da irrigação. O efeito dessas águas sobre o pH dos solos pode ser estimado com base nos teores de  $HCO_3^- + CO_3^{2-}$ , relativos ao equivalente em carbonato de cálcio com PRNT de 100 % (Maia et al., 2001). A estimativa para as águas em questão resultou em equivalentes 1.816 e 1.880  $kg CaCO_3 ha^{-1}$ , para Jaíba e Janaúba, respectivamente, considerando-se hipoteticamente uma safra de cultura anual com consumo de lâmina igual a 300  $mm$ . Naturalmente, uma cultura perene irrigada 300 dias  $ano^{-1}$  exigiria uma lâmina oito vezes maior. A amplitude dos valores desta variável para os municípios ultrapassou 4.000  $kg ha^{-1}$ , refletindo a grande variação dos teores de bicarbonato das águas e de efeito marcante sobre o pH dos solos irrigados.

É difícil prever a elevação do pH dos solos com base na quantidade de  $Ca^{2+}$  adicionado, pois a reação depende do poder tampão de cada solo. Pode-se, entretanto, construir curvas de incubação de cada solo com doses crescentes da água subterrânea. Esta simulação da alteração do pH do solo devido ao uso contínuo de diferentes níveis de água de



irrigação ainda é dificultada devido ao manejo diferenciados que influenciam as variações de umidade do solo e o balanço de nutrientes em função da diversificação dos cultivos.

A classificação da água para pH, segundo Ayers & Westcot (1991), é predominante como uso moderado na irrigação para 56 a 69% das análises, respectivamente para Janaúba e Jaíba. No norte de Minas Gerais, Silva et al. (2001) em irrigação de bananeiras utilizando águas calcárias com atributos semelhantes aos encontrados nesta avaliação, estudaram os efeitos sobre as propriedades químicas do solo. Os autores verificaram que o pH do solo elevou-se em média, em torno de 1,4 unidades em apenas quatro anos, reduzindo a solubilidade de alguns nutrientes essenciais à nutrição das plantas.

A classificação da CE quanto ao uso das águas na irrigação é de moderada restrição em percentual predominante das análises (72 a 82%), pois encontra-se na faixa de 0,7 a 3,0 dS m<sup>-1</sup> pela classificação UCCC (1974), segundo Ayers & Westcot (1991). Vale ressaltar que os valores de salinidade da água são importantes na análise de risco da salinização do solo, pelo aumento nos teores dos sais solúveis, da sodificação do solo, haja vista que o aumento do teor de sais no solo pode resultar em maiores teores de sódio, aumento ou redução de floculação das argilas e elevação do pH devido ao incremento de cátions no complexo de troca do solo.

O íon potássio (K<sup>+</sup>) nas águas subterrâneas apresentou valores médios de 0,17 e 0,12 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> para Janaúba e Jaíba, respectivamente. A amplitude de valores foi de 1,02 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> para ambos os municípios. O K<sup>+</sup> é um cátion de menor raio iônico (10,64 Å), isento de caráter dispersante, apesar de monovalente (menor força eletrostática), tendo mobilidade moderada no solo. Sua presença nas águas é desejável, já que como principal nutriente para a bananicultura, predominante na região, pode reduzir parte dos custos de adubação. Os teores acusados nas análises de águas de 0,12 a 0,17 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> ou 4,7 a 6,6 mg L<sup>-1</sup> as classificam como anormais por serem superiores a 2 mg L<sup>-1</sup> (Ayers & Westcot, 1991). Esses níveis indicam uma concentração aproximada de 4 - 6 g m<sup>-3</sup> de água, ou seja, ao se aplicar 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> adiciona-se ao solo 0,4 kg K<sup>+</sup> ha<sup>-1</sup>, dos quais parte se solubiliza.

A porcentagem de sódio trocável do solo (PST) é uma característica de grande importância para a predição e classificação de solos sódicos. A metodologia de estimação da PST utiliza a RAS, através de nomograma ou a equação, segundo Pizarro (1985).

Os valores médios de PST encontrados para Janaúba e Jaíba foram muito baixos, 0,04 e -0,20%, os modais negativos e as amplitudes iguais a 16,20 e 5,60%, respectivamente, o que denota grande variação das águas e conseqüências sobre os solos. Porém, evidenciam de modo geral ausência de problemas.

Nunes et al. (2005) encontraram em análises de águas subterrâneas da região de Janaúba e Jaíba valores médios de RAS = 0,6 (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> = 7,8, Na<sup>+</sup> = 1,7, Ca<sup>2+</sup> = 10,3 e Mg<sup>2+</sup> = 1,6 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>. Estes valores foram inferiores aos do presente estudo em bicarbonato e magnésio e superiores em cálcio, mas proporcionam IS = 0,5. Com estas características, as águas analisadas pelos autores supracitados causaram nos solos efeitos deletérios típicos de alcalinidade e sodificação: redução de floculação, porosidade total e macroporosidade, densidade global e condutividade hidráulica.

Já no estudo de Silva et al. (2004) na mesma região, águas de semelhantes características - RAS= 0,64 (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup>; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> = 7,0; Na<sup>+</sup> = 1,4; Ca<sup>2+</sup> = 7,5 e Mg<sup>2+</sup> = 2,0 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> e IS = 0,2 induziram efeitos diferenciados, causando floculação das argilas dos solos evidenciada pela redução na densidade global, mas com o efeito prejudicial da elevação do pH. Nunes et al. (2005) atribuíram a possibilidade de estas conseqüências opostas ocorrerem à qualidade das argilas presentes (2:1) e ao teor de matéria orgânica do solo, induzindo um efeito modulador das propriedades do solo.

Os valores médios de sódio (1,3 a 1,8 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), bem como das porcentagens de sódio (PS = 14 a 16%) são relativamente baixos nestas águas, ambos classificam-nas quanto ao uso na irrigação como irrestritas, em grande maioria das análises (94 a 99%). Entretanto, ocorreram grande amplitude de valores para as duas características. Tais níveis condizem com a sua formação geológica, predominantemente carbonatada-cálcica e com baixas concentrações de sódio.

A redução da infiltração de água nos solos é uma das principais conseqüências da irrigação com águas de qualidade inferior. Para classificação dos efeitos das águas sobre a permeabilidade dos solos confrontou-se a RAS com a CE das análises individualmente, conforme Ayers & Westcot (1991). Obteve-se percentual variável de 59 a 83% das análises classificadas sem restrição de uso, 15 a 39% como restrição moderada e menos de 1% como restrição severa. Utilizou-se RAS obtida com três metodologias e o resultado mostrou uma variação máxima de 11 a 12% de mudança de classes ao se trocar a RAS pela RASaj (crítica). A variação dos percentuais das análises dentro da classe moderada quando comparados os municípios variou de 15 a 27% para Janaúba e de 28 a 39% para Jaíba, contraditoriamente às outras características, que comprovaram superioridade de qualidade das águas a favor de Jaíba.

**Tabela 4.** Classificação CS das águas de poços tubulares do Norte de Minas com a RAS calculada por diferentes metodologias, segundo os métodos UCCC e USSL.

Classes	USSL						
	Janaúba			%	Jaíba		
	RAS	RAScor	RASaj		RAS	RAScor	RASaj
C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	1,08	1,20	1,20	0,61	0,72	0,72	
C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	20,79	22,31	22,31	34,15	36,96	36,23	
C <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	0,36	0	0	0	0	0,72	
C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	74,19	72,11	68,53	65,24	60,87	58,70	
C <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	0	0,80	3,59	0	1,45	3,63	
C <sub>3</sub> S <sub>3</sub>	0	0	0,80	0	0	0	
C <sub>4</sub> S <sub>1</sub>	3,22	3,58	2,77	0	0	0	
C <sub>4</sub> S <sub>2</sub>	0,36	0	0,80	0	0	0	
UCCC							
C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	21,86	21,91	21,91	34,76	37,68	36,96	
C <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	0,36	0,40	0,40	0	0	0,72	
C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	65,95	66,53	64,94	64,02	59,42	57,25	
C <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	0	0	1,59	0	1,45	3,62	
C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	9,68	9,17	8,37	1,22	1,45	1,45	
C <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	0,36	0,40	0,80	0	0	0	
C <sub>3</sub> S <sub>3</sub>	0	0	0,40	0	0	0	
C <sub>4</sub> S <sub>1</sub>	1,79	1,59	0,40	0	0	0	
C <sub>4</sub> S <sub>2</sub>	0	0	1,20	0	0	0	

RAS – razão de adsorção de sódio, RAScor e aj – razão de adsorção de sódio corrigida e ajustada

Na Tabela 4 encontram-se as classificações CS das águas pelo método USSL e UCCC. Houve predominância da classe C<sub>3</sub> no método USSL e da classe C<sub>2</sub> no método UCCC e, de

modo geral, superioridade de qualidade de água para Jaíba em ambos. Tais valores diferenciados das classes entre os métodos são devidos ao nível superior da classe C<sub>2</sub> (1,5 dS m<sup>-1</sup>) do método UCCC ser inferior ao da classe C<sub>2</sub> do método USSL (2,25 dS m<sup>-1</sup>).

A classificação da sodicidade das análises revelou para os dois métodos concentração na classe S<sub>1</sub> acima de 90% para Janaúba e Jaíba mesmo em seus valores mais críticos – RASaj. Os acréscimos de valores de RAS advindos de maior rigor das diferentes metodologias de cálculo não promoveram mudanças significativas de classes significativas para as águas dos dois municípios, porém, nota-se uma pequena margem de superioridade de qualidade para a região de Jaíba. Analisando-se os valores, nota-se que é baixo o risco de sodificação dos solos pelas águas subterrâneas da região.

Tendências divergentes foram observadas por Maia et al. (1998a,b) na classificação das águas e avaliação do risco de sodificação dos solos na Chapada do Apodi e Baixo Açu (RN), utilizando as metodologias de cálculo da RAS. Segundo os autores, quanto maior a CE da água menor o número de águas que passavam de uma classe de menor para maior risco de sodicidade, quando se utilizada a RAS ou a RAScor. Utilizando-se a RASaj o perigo de sódio foi superestimado em 50%. Ressalta-se que na região deste estudo há predominância de águas cloretadas-sódicas com valores superiores de CE.

Verifica-se, portanto, que os maiores riscos do uso dessas águas estão relacionados à salinidade e alcalinidade e não à sodicidade. Peixoto et al. (1986) em discussão preliminar sobre o uso das águas subterrâneas do Norte de Minas para irrigação a classificaram como C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> e C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> utilizando a metodologia USSL, semelhante à esta avaliação. Evidencia-se a manutenção dos níveis de salinidade e sodicidade das águas desta região nestas duas décadas, apesar do acentuado e contínuo rebaixamento de nível dinâmico dos poços, em toda a região.

**Tabela 5.** Equações de regressão das características das águas

Municípios	Características	Tipo regressão	Equações regressão	r <sup>2</sup>
Janaúba	Ca x CE	Linear	y= 2,01 + 5,563CE	
		Quadrática	y= -1,112 + 10,107CE – 1,205CE <sup>2</sup>	
Jaíba		Linear	y= 0,316 + 7,245CE	
		Quadrática	y= -2,247 + 13,427CE – 3,406CE <sup>2</sup>	
Janaúba	Ca + Mg x CE	Linear	y= 2,898 + 6,91CE	
		Quadrática	y= -1,655 + 13,457CE – 1,707CE <sup>2</sup>	
Jaíba		Linear	y= 1,18 + 1,087CE	
		Quadrática	y= 0,297 + 1,415CE – 0,0247CE <sup>2</sup>	
Janaúba	ΣCátions x CE	Linear	y= 3,8052 + 7,941CE	
		Quadrática	y= 1,413 + 15,44CE - 1,956CE <sup>2</sup>	
Jaíba		Linear	y= -9,897 + 1,308CE	
		Quadrática	y= -0,194 + 13,569CE – 2,04CE <sup>2</sup>	
Janaúba*	CE <sub>a</sub> = 0,1378 + 0,0621Ca + 0,0431Cl + 0,0760Mg + 0,0535Na			
Jaíba*	CE <sub>a</sub> = 0,2497 + 0,0569Ca + 0,0927Mg + 0,3164HCO <sub>3</sub> + 0,0185Cl			

Significativo ao nível de 5% de probabilidade. \*Método Stepwise.

Nos testes de regressão linear simples, polinomial quadrática e múltipla (método stepwise) realizados com os principais íons das água encontrou-se significância para várias interações, contudo, os melhores ajustes (p<0,05) foram obtidos com Ca<sup>2+</sup> x CE, Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>

x CE e  $\Sigma$  Cátions x CE, descritas na Tabela 5. A regressão múltipla evidenciou contribuição significativa dos íons  $\text{Ca}^{2+}>\text{Cl}^{-}>\text{Mg}^{2+}>\text{Na}^{+}$  para Janaúba e  $\text{Ca}^{2+}>\text{Mg}^{2+}>\text{HCO}_3^{-}>\text{Cl}^{-}$  para Jaíba. Os percentuais de contribuição iônica do Ca na CE foram de 81 e 68% para Janaúba e Jaíba, respectivamente. As demais regressões não apresentaram bom ajuste, com baixos valores de  $r^2$ .

Calculou-se o erro iônico (EI) das análises (Tabela 2), conforme Teissedré (1988) para averiguar o equilíbrio de cátions e ânions, ou seja, verificar a ausência significativa de íons nas análises, devido à probabilidade da ocorrência de elementos problemáticos não analisados como manganês, ferro ou boro nas águas. Os resultados médios foram - 14 e - 10,2 % para Janaúba e Jaíba, respectivamente. Expressam a ausência destes percentuais em cátions, provavelmente pela ausência do Fe e Mn, este último em altos teores nestas águas, segundo Nunes et al. (2006). 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). É aconselhável, portanto, que se faça uma análise completa para constatação dos teores dos íons ausentes das análises.

## 6 CONCLUSÕES

Os valores de pH indicam baixa alcalinidade das águas e classificam seu uso na irrigação como risco moderado nos dois municípios.

O potencial de salinização dos solos dos dois municípios é maior pela elevada presença do cálcio e do bicarbonato.

O sódio não representa risco de sodificação dos solos e redução de infiltração de água no solo.

Constatou-se predomínio de análises de água com a classificação  $\text{C}_3\text{S}_1$  pela metodologia USSL, e  $\text{C}_2\text{S}_1$  pela UCCC para os dois municípios. A RAS foi classificada como  $\text{S}_1$  em percentual superior à 94%, mesmo com a utilização da RASaj.

## 7 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.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al.. 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**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos FAO: Irrigação e drenagem, 29).

- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterrânea**. 2. ed. Barcelona: Omega, 1983. 1200 p.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1981. 709 p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos e análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, SNLCS, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. 249 p.
- EMERSON, W. W. Inter-particle bonding. In:\_\_\_\_\_. **Soils: an Australian viewpoint**. Melbourne: CSIRO : Academic Press, 1983. p. 477-498.
- FERREIRA, D. F. **Programa de análises estatísticas (statistical analysis software) e planejamento de experimentos - sisvar 5.0 (build 61)**. LAVRAS: DEX/UFLA, 2003. Disponível em <http://www.dex.ufla.br/~danielff/software.htm>. Acessado em 12.03.2008.
- JUCKSCH, I. **Calagem e dispersão de argila em amostra de um latossolo vermelho-escuro**. 1987. 37 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1987.
- LANGELIER, W. F. The analitical control of anticorrosion water treatment. **Journal of American Water Works Association**, Denver, v. 28, n. 10, p. 1500-1521, 1936.
- LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley, 1979. 449 p.
- LIMA, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, SBEA, 1997. cap. 4, p. 113-136. 1997.
- MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M.. Classificação da água de irrigação utilizando quatro metodologias de cálculo para a Razão de Adsorção de Sódio - I. Região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte. **Caatinga**, Mossoró, v. 11, n. 1/2, p. 41-46, 1998a.
- MAIA, C. E., MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M.. Classificação da água utilizando quatro metodologias de cálculo para a Razão de Adsorção de Sódio - II. Região do Baixo Açu, Rio Grande do Norte. **Caatinga**, Mossoró, v. 11, n. 1/2, p. 47-52, 1998b.
- MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M. Estimativa de carbonato de cálcio aplicado via água de irrigação nas regiões da Chapada do Apodi e Baixo Açu, RN. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 71-75, 2001.
- MEDEIROS, J. F. et al. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 469-472, 2003.

NUNES, W. A. G. DE A. et al. Qualidade de 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.

NUNES, W. A. G. DE A.; KER, J.C.; RUIZ, H.A. , NEVES, J.C.L.; BEIRIGO, R.M.; BONCOMPANI, A.L.P. Características físicas de solos da região de Janaúba-MG, irrigados com água de poços tubulares ou do rio Gorutuba. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 1, p.107 -118, jan./mar. 2006.

PEIXOTO, C. A. DE MELLO, ESCODINO, 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. **ITEM**, Brasília, DF, n. 26, p. 11-17, 1986.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid: Editorial Española, 1985. 542 p

RAMOS, M. L. S. & PAIXÃO, M. M. O. M. **Disponibilidade hídrica de águas subterrâneas – Produtividade de poços e reservas exploráveis dos principais sistemas aquíferos**: Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2003. 41 p.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, D.C: United States Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (United States Department of Agriculture Handbook, 60).

RODRIGUES, M. G. V.; SOUTO, R. F.; MENEGUCCI; J. L. P. Efeito da poda da última penca do cacho da bananeira prata anã (AAB) irrigada na produção de frutos no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Pelotas, v. 24, n. 1, p. 108-110, abr. 2002

RYZNAR, T. A new index for determining the amount of calcium carbonate scale formed by a water. **Journal of American Water Works Association**, Denver, v. 36, p. 472, 1944.

SILVA, E. ; 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.; Nova Porteirinha. **Anais...** Nova Porteirinha: EPAMIG, 2001. p. 203-217. 2001

SILVA, J. T. A.; CARVALHO, J. G. Avaliação nutricional de bananeira Prata-Anã sob irrigação no semi-árido do Norte de Minas Gerais, pelo método do DRIS. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v. 29, n.4. p. 731-739, jul/ago. 2005.

SILVA, J.T.A.; CARVALHO, J.G. DE. Propriedades do solo, estado nutricional e produtividade de bananeiras Prata Anã irrigadas com águas calcárias. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v. 28, n. 2, p. 334-340, mar./abr. 2004.

SO, H. B.; AYLMOORE, L. A. G. The effects of sodicity on soil physical behaviour. In: NAIDU, R.; SUMNER, M. E.; RENGASAMY, P. (Eds.). **Australian sodic soils: distribution, properties and management**. East Melbourne: CSIRO, 1995. p. 71-80.

---

TEISSÉDRE, J. M.. **Qualidade da água para irrigação**. Curso de elaboração de projetos de Irrigação. Módulo 3.2. Brasília, DF: ABEAS. 1988. 31 p.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA COMMITTEE OF CONSULTANTS. **Guidelines for interpretation of water quality for agriculture**. Davis: University of California, 1974. 13 p.

VILLAS BOAS, R. L.; BOARETTO, A. E.; WITTI, G. C. Aspectos da fertilização. **In:** SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS. Piracicaba: Potafos, 1994. p. 284-308.