



Estimativa de carbonato de cálcio aplicado via água de irrigação nas regiões da Chapada do Apodi e Baixo Açu, RN



Celso E. Maia¹, Elis R.C. de Moraes² & Maurício de Oliveira³

¹ ESAM. R. Miro F. de Mendonça, 130, Planalto 13 de Maio, CEP 59633-010, Mossoró, RN. E-mail: celsemyaia@bol.com.br (Foto)

² AGROMASTER

³ ESAM. E-mail: mauricio@esam.br

Protocolo 086 - 11/07/2000

Resumo: A aplicação de água com elevados teores de carbonato e bicarbonato pela irrigação, pode contribuir para o aumento do pH dos solos após alguns anos de cultivo. Esse trabalho teve como objetivo avaliar a água de irrigação quanto a seu teor de carbonato e bicarbonato, baseado no conceito do equivalente carbonato de cálcio (E_{CaCO_3}) da água de irrigação nas regiões da Chapada do Apodi e Baixo Açu no Estado do Rio Grande do Norte. Considerando uma lâmina de irrigação de 400 mm, os resultados mostraram que as águas da região da Chapada do Apodi apresentaram maiores valores de E_{CaCO_3} quando comparadas com as águas da região do Baixo Açu. Na região da Chapada do Apodi os maiores valores de E_{CaCO_3} independente da origem foram para as águas da região de Mossoró, com média de 765 kg ha⁻¹ e o menor valor foi para a região de Grossos e Upanema com 626 kg ha⁻¹. Para a região do Baixo Açu, verifica-se que, independente da origem das águas, a região de Ipanguassu apresentou os maiores valores de E_{CaCO_3} com média de 654 kg ha⁻¹, e o menor valor foi para a região de Carnaubais com 580 kg ha⁻¹.

Palavras-chave: alcalinidade, precipitação de carbonato, deficiência nutricional, pH do solo

Estimate of the calcium carbonate applied through irrigation water in Chapada do Apodi and Baixo Açu regions of Rio Grande do Norte, Brazil

Abstract: The application of irrigation water with high contents of carbonate and bicarbonate can contribute to pH elevation of the soils after some years of cultivation. This study had as its objective the evaluation of the irrigation water with respect to its carbonate and bicarbonate content, based on the concept of the Equivalent Calcium Carbonate (E_{CaCO_3}) in the region of the Chapada do Apodi and Baixo Açu in the state of Rio Grande do Norte, Brazil. Considering an irrigation water depth of 400 mm, the results showed that the waters of the region of the Chapada do Apodi presented larger values of E_{CaCO_3} compared to those of the region of Baixo Açu. In the region of the Chapada do Apodi, independent of the origin, largest values of E_{CaCO_3} were found for the waters of the region of Mossoró, with an average of 765 kg ha⁻¹ and the smallest value was observed for Grossos and Upanema with 626 kg ha⁻¹. For the region of Baixo Açu, independent of the origin of the waters, the region of Ipanguassu presented the highest values of E_{CaCO_3} with an average of 654 kg ha⁻¹ whereas the smallest values were found for the region of Carnaubais, with 580 kg ha⁻¹.

Key words: alkalinity, precipitation of carbonate, deficiency nutritional, soil pH

INTRODUÇÃO

Para se prever um problema relacionado com a qualidade da água, tem que se avaliar seu potencial em criar condições no solo que possam restringir seu uso e avaliar a necessidade de empregar técnicas de manejos especiais para manter rendimentos aceitáveis das culturas. Existem vários procedimentos para realizar esta avaliação, porém, independente de método que se usa e, uma vez que estes problemas devem ser resolvidos à nível de parcela, a avaliação deve ser feita

levando-se em conta as condições locais específicas e a capacidade de manejo do usuário (Ayers & Westcot, 1991). Ainda segundo estes autores, o conceito de qualidade da água refere-se as suas características físico-químicas, que podem afetar a adaptabilidade para seu uso específico; em outras palavras, a relação entre a quantidade da água e as necessidades do usuário. A qualidade da água define-se por uma ou mais características físicas, químicas ou biológicas. Usos específicos podem ter diferentes requisitos de qualidade. Assim, uma água pode ser considerada como de melhor

qualidade, se produzir melhores resultados ou causar menos danos. No caso específico da agricultura irrigada, tem-se preparado numerosos guias para o uso de água segundo sua qualidade. Cada uma delas com certa utilidade, porém, nenhuma tem sido completamente satisfatória, devido principalmente, as variabilidades das condições de campo. Assim, dependendo da granulometria do solo, da sua mineralogia, e das relações catiônicas solo-solução, águas classificadas com diferentes graus de qualidade, podem exibir comportamento diferenciado nas alterações químicas do solo (Kelley, 1963; Inoue, 1984; Shainberg & Letey, 1984).

Os principais íons analisados na água de irrigação são o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, o cloreto, o sulfato, o carbonato e o bicarbonato. Com especial referência ao carbonato e bicarbonato, esses são os principais responsáveis pelo equilíbrio que governa o pH da água de irrigação. Os principais efeitos do excesso de carbonato e bicarbonato são os problemas de precipitação nas tubulações, diminuindo a eficiência de aplicação de água e fertilizantes quando se utiliza a irrigação localizada e se pratica a fertirrigação (Burt et al, 1995). Atualmente, verifica-se o contrário do que ocorre em outras regiões onde, áreas irrigadas com água com altos teores de carbonato e bicarbonato na região da Chapada do Apodi ocorre, um aumento nos valores de pH dos solos depois de alguns anos de cultivo. O aumento no pH do solo com os anos de cultivo é devido aos elevados teores de carbonato e bicarbonato na água de irrigação, principalmente as de poço tubular. Assim, a aplicação dessas águas ao solo tem um efeito no pH desses, que pode ser calculado em relação ao equivalente a carbonato de cálcio com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 100 %.

Os solos da região da Chapada do Apodi são caracterizados por serem solos jovens, de boa fertilidade e, devido ser de origem calcária, apresentam pH natural de neutro a alcalino. Porém, com os cultivos sucessivos, em especial com a cultura do melão, verifica-se que com 3 anos de cultivo, o pH desses solos aumenta, ocorrendo o contrário do que ocorre em outras regiões, onde o pH dos solos decresce com os anos de cultivo, sendo necessário a aplicação de calcário para elevação do pH desses solos para uma faixa ideal para a cultura.

A região do Baixo Açu, situada no oeste do estado do Rio Grande do Norte, é um pólo hortifrutigranjeiro, onde são produzidos principalmente banana, tomate, melão e manga. A região possui uma extensa faixa de solo de origem calcária, porém nas margens dos rios formam-se as várzeas. A principal fonte de água da região é a barragem Armando Ribeiro Gonçalves, responsável pela irrigação na região. Ao contrário da região da Chapada do Apodi, as águas do Baixo Açu apresentam composição iônica menos salina, porém apresentam maior valor de carbonato de sódio residual e menor problema com relação a precipitação de carbonato e bicarbonato nas tubulações (Maia & Morais, 1998). A água da região mesmo com teores de carbonato e bicarbonato inferiores aos verificados na Chapada do Apodi, tem mostrado que o uso contínuo dessa água está causando o aumento do pH dos solos após alguns anos de cultivo.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a água de irrigação quanto a seu teor de carbonato e bicarbonato, baseado no conceito do Equivalente Carbonato de Cálcio da água de irrigação nas regiões da Chapada do Apodi e Baixo Açu no estado do Rio Grande do Norte.

MATERIAL E MÉTODOS

Base de dados

Os dados utilizados para a presente pesquisa foram provenientes dos boletins de análises de água emitidos pelo Laboratório de Análises de Água e Fertilidade do Solo da Escola Superior de Agricultura de Mossoró - RN (LAAFS/ESAM), entre os anos de 1990-1995, num total de 607 amostras de águas de diferentes mananciais. Os dados foram cadastrados através do software SCASA (Maia & Morais, 1996) e avaliados pelo software ALKA (Egreja Filho et al., 1999).

Fisiografia da área de abrangência do estudo

A microrregião Salineira Norte-Rio-Grandense é atualmente composta por 8 municípios (Alto do Rodrigues, Areia Branca, Carnaubais, Grossos, Guamaré, Macau, Mossoró e Pendências) enquanto a microrregião Açu e Apodi é constituída de 15 municípios (Assu, Apodi, Campo Grande, Caraúbas, Felipe Guerra, Governador Dix-Sept Rosado, Ipanguassu, Itajá, Itau, Janduí, Paraú, São Rafael, Serra do Mel, Severiano Melo e Upanema). Comercialmente, no entanto, as regiões de maior expressividade agrícola são denominadas de Baixo Açu (que compreende a região e enclaves da planície aluvional do baixo curso do Rio Piranhas-Açu) - liderada pela cidade do Assu e Chapada do Apodi - liderada comercialmente pela cidade de Mossoró.

As áreas supra mencionadas estão localizadas no extremo noroeste do Estado do Rio Grande do Norte, na quadrícula geográfica entre os Paralelos 4°48' a 5°41' de latitude Sul e os Meridianos 37°30' a 38°5' a Oeste de Greenwich. Nas áreas estudadas predomina o tipo bioclimático de Gausen 4aTh - Tropical quente de seca acentuada, com índice xerotérmico entre 150 e 200. Pela classificação de Thornthwaite que está baseada numa série de índices térmicos utilizando-se o balanço hídrico, as regiões apresentam clima do tipo Dda'a', ou seja, semi-árido megatérmico com pouco ou nenhum excesso de água durante o ano. Pelo regime térmico e pluviométrico, as regiões apresentam um clima do tipo BSw'h' pela classificação de Köppen. As chuvas têm distribuição bastante irregular no tempo e no espaço, aumentando sobremaneira o risco climático. A média anual de precipitação é de aproximadamente 679 mm. Devido a baixa latitude e a ausência de fatores geográficos influenciadores, a temperatura apresenta-se sem grande variação anual. A média anual de temperatura é de aproximadamente 27,5 °C, sendo que o mês mais quente é dezembro, com média de 28,5 °C, e o mês mais frio é julho, com média de 26,5 °C. As temperaturas máximas e mínimas do ar têm valores médios iguais a 33,3 e 22,7 °C respectivamente (Carmo Filho et al, 1991).

Análise de água

Nas análises de água realizadas pelo Laboratório de Análise de Água e Solos da ESAM, foram determinadas as seguintes características físico-químicas: pH, CE, cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) e ânions (Cl^- , HCO_3^- e CO_3^{2-}). É utilizada para determinação dessas características a metodologia proposta por Richards (1954).

Equivalente carbonato de cálcio (E_{CaCO_3})

Quando se aplica calcário ao solo, 1,0 mol de H^+ é neutralizado por 0,5 mol de $CaCO_3$, de acordo com o equilíbrio (1)



O equilíbrio (1) resume 2 reações:



Desse modo, pode-se afirmar que 1,0 mol de CO_3^{2-} neutraliza 2,0 mol de H^+ e 1,0 mol de HCO_3^- neutraliza 1,0 mol de H^+ . Utilizando o conceito da equivalência química pode-se afirmar que:

$$1,0 \text{ mmol}_c CO_3^{2-} = 1,0 \text{ mmol}_c HCO_3^- = 1,0 \text{ mmol}_c CaCO_3$$

Sabendo ainda que 1,0 mmol_c de CO_3^{2-} = 30 mg, 1,0 mmol_c de HCO_3^- = 61 mg e 1,0 mmol_c de $CaCO_3$ = 50 mg e fazendo os cálculos em separado para o carbonato e bicarbonato, tem-se:

$$E_{CaCO_3} = (A_{CO_3} + A_{HCO_3}) * 50$$

onde A_{CO_3} e A_{HCO_3} representam, respectivamente concentração de carbonatos e bicarbonatos na água.

Como os resultados de carbonato e bicarbonato são dados em mmol_c L⁻¹ o resultado do E_{CaCO_3} é em mg L⁻¹. Considerando que na irrigação as lâminas são aplicadas em mm, e que 1 mm equivale a 1,0 L m⁻², ou seja, 10.000 L ha⁻¹, tem-se:

$$E_{CaCO_3} = \frac{50 * (A_{CO_3} + A_{HCO_3}) * h * 10.000}{1.000.000}$$

$$E_{CaCO_3} = \frac{A_{CO_3} + A_{HCO_3}}{2} * h$$

onde:

- E_{CaCO_3} - equivalente carbonato de cálcio PRNT 100% (kg ha⁻¹)
- A_{CO_3} - teor de carbonato na água de irrigação (mmol_c L⁻¹)
- A_{HCO_3} - teor de bicarbonato na água de irrigação (mmol_c L⁻¹)
- h - lâmina de água aplicada (mm).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados do Tabela 1 mostram que, independente da origem das águas, a região de Mossoró apresentou os maiores valores do Equivalente Carbonato de Cálcio (E_{CaCO_3}) com média de 765 kg ha⁻¹ e o menor valor foi para a região de Grossos e Upanema com 626 kg ha⁻¹.

Levando em consideração a origem da água, os maiores valores de E_{CaCO_3} foram para a água de rio da região de Upanema com $E_{CaCO_3} = 920$ kg ha⁻¹, e os menores valores para as águas de rio da região de Mossoró, com média de 630 kg ha⁻¹.

Esses dados mostram que, mesmo observando regiões com maiores valores de E_{CaCO_3} , todos os valores são elevados. Levando

Tabela 1. Equivalente carbonato de cálcio (E_{CaCO_3}) para algumas cidades da região da Chapada do Apodi

Cidade/Origem	$CO_3^{2-} + HCO_3^-$ mmol _c L ⁻¹	E_{CaCO_3} (kg ha ⁻¹) *
Apodi	2,93	671
Poço tubular	2,75	644
Poço amazonas	2,79	651
Baraúna	3,07	706
Poço tubular	3,10	714
Poço amazonas	3,29	790
Governador Dix-Sept Rosado	2,98	680
Poço tubular	2,95	684
Poço amazonas	3,15	732
Rio	2,75	636
Grossos	2,69	626
Poço tubular	3,02	699
Poço amazonas	2,72	654
Mossoró	3,37	765
Poço tubular	3,26	742
Poço amazonas	3,01	698
Rio	2,72	630
Caraúbas	2,72	654
Poço tubular	3,29	790
Poço amazonas	3,29	790
Upanema	2,69	626
Poço tubular	2,75	644
Poço amazonas	3,15	732
Rio	3,74	920

Os Valores de $CO_3^{2-} + HCO_3^-$ e E_{CaCO_3} são valores médios

(*) Para uma lâmina de 400 mm

em consideração uma lâmina de 400 mm, média de aplicação de água na cultura de melão por ciclo na região da Chapada do Apodi e, considerando 2 ciclos por ano, no caso seria aplicado aproximadamente 800 mm ano⁻¹, é de se esperar que esses solos apresentem, com o tempo, um aumento no pH, pois equivaleria a aplicação de, em média, 1,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de $CaCO_3$ PRNT 100 %.

A principal implicação dessa quantidade de carbonato e bicarbonato aplicado no solo pode ser, por exemplo, uma precipitação de micronutrientes pelo aumento do pH do solo, bem como favorecendo a precipitação de fósforo na forma de fosfato de cálcio, já que, além do solo ser rico em cálcio, as águas também apresentam elevados teores do elemento. Isso sem contar que, a quantidade de carbonato e bicarbonato dessas águas pode precipitar dentro das tubulações e causar entupimento, prejudicando a uniformidade de distribuição da água e fertilizantes.

Observando a Tabela 2, verifica-se que, independente da origem das águas, a região de Ipanguassu apresentou os maiores valores

Tabela 2. Equivalente carbonato de cálcio (E_{CaCO_3}) para algumas cidades da região do Baixo Açu

Cidade/Origem	$CO_3^{2-} + HCO_3^-$ mmol _c L ⁻¹	E_{CaCO_3} (kg ha ⁻¹) *
Assu	2,75	644
Poço tubular	2,65	634
Poço amazonas	2,75	652
Rio	2,85	680
Carnaubais	2,38	580
Poço amazonas	2,38	594
Ipanguassu	2,83	654
Poço amazonas	2,92	678
Rio	2,72	654

Os Valores de $CO_3^{2-} + HCO_3^-$ e E_{CaCO_3} são valores médios

(*) Para uma lâmina de 400 mm

de E_{CaCO_3} com média de 654 kg ha⁻¹, e o menor valor foi para a região de Carnaubais com 580 kg ha⁻¹. Levando em consideração a origem da água, os maiores valores de E_{CaCO_3} foram para a água de rio da região de Assu com $E_{CaCO_3} = 680$ kg ha⁻¹, e os menores valores para as águas de poço amazonas da região de Carnaubais, com média de 580 kg ha⁻¹.

Comparando esses dados com os obtidos para a região da Chapada do Apodi, verifica-se que, em média, os valores são 10 % inferiores. Mesmo assim, para uma lâmina de 400 mm a quantidade E_{CaCO_3} tem que ser levada em consideração. Isso porque, as águas dessa região apresentam teores de cálcio e magnésio inferiores aos verificados na região da Chapada do Apodi. Nesse caso, poderá haver um aumento do pH do solo sem o fornecimento desses dois nutrientes. O fato se torna mais complicado em decorrência do aumento relativo do sódio em relação ao cálcio e magnésio. Assim, pelo fato do carbonato e bicarbonato de sódio ser mais solúvel, a predominância do sódio no solo favorece o aumento do pH mais intensamente que na região da Chapada do Apodi. Atualmente já é visível o efeito desse mecanismo nos solos da região, principalmente no Perímetro Irrigado do Baixo Açu, que é intensificado ainda mais, pela baixa condutividade hidráulica da maioria dos solos do projeto.

Na região do Baixo Açu, há uma expansão no plantio da cultura da banana. Como a cultura é perene e pela alta evapotranspiração na região, aplica-se por ano aproximadamente 2.000 mm de água via irrigação. Assim, é aplicada via água uma grande quantidade de carbonato e bicarbonato que, traduzindo em E_{CaCO_3} , a tendência dos solos sob essa cultura é aumentar o pH, principalmente naqueles solos sob condições de drenagem inadequadas.

Segundo Whipker et al. (1996), os teores de bicarbonatos e carbonatos são as principais formas químicas que contribui para a alcalinidade, mas hidróxidos dissolvidos, amônia, borato, bases orgânicas, fosfatos e silicatos também podem contribuir para a alcalinidade. Cita também que os íons carbonatos e bicarbonatos podem ter efeito tóxico para o crescimento das plantas. Esse efeito tóxico acredita-se ser devido a interferência na absorção pelas raízes de elementos essenciais e associado ao aumento no pH na solução do solo, do que a absorção direta do íons carbonatos e bicarbonato pelas plantas, além disso águas com excessiva alcalinidade também reduz a disponibilidade de micronutriente para as plantas pelo aumento do pH da solução do solo. Devido a isso, a alcalinidade das águas de irrigação tem que ser reduzida. Para Babcock & Egorov (1973), a acumulação de carbonato, principalmente de cálcio, pela água de irrigação, pode provocar o processo de cimentação no solo, que pode ocorrer depois de um período de 5-7 anos de irrigação, dificultando assim, a penetração da água de irrigação e de raízes. Em ambiente que possua carbonato de sódio e gesso, pode ocorrer a formação de Na₂SO₄ que é muito tóxico para as plantas.

Costa (2000), trabalhando com resposta do arroz à adubação fosfatada associada à correção do solo com calcário em um Latossolo Vermelho-Amarelo Álico em condição de casa-de-vegetação, observou que, na ausência da calagem o pH do solo, que originalmente era de 5,2, passou para aproximadamente 7,8,

com aplicação diária de água com teor de carbonato e bicarbonato de 0,6 e 2,1 mmol L⁻¹, respectivamente. O aumento do pH do solo provocado pela água de irrigação também contribui para a perda de nitrogênio por volatilização, devido o amônio passar para amônia e se perder na forma de gás para a atmosfera em condições alcalina.

Além da aplicação de ácido para baixar o pH da água (Egreja Filho et. al., 1999; Ayers & Westcot, 1991; Burt et al., 1995), outra alternativa usada atualmente para reduzir o pH das águas é a injeção de CO₂ via água de irrigação. Segundo Storlie & Heckman (1996) o dióxido de carbono reduz o pH da água e o pH do solo. Essa redução do pH do solo e da água para níveis ótimos, aumenta a absorção de alguns nutrientes, induzindo a um aumento de produtividade com o uso do CO₂ nas águas alcalinas. Basile et al. (1993) mostraram que a disponibilidade de Zn, Mn, Fe e Ca aumentou com a aplicação de CO₂ via água na irrigação localizada. Esse aumento na disponibilidade destes nutrientes foi atribuído ao pH do solo ter diminuído de 7,5 para 6,0. Bialczyk et al. (1994) também verificaram efeito do CO₂ no aumento da produtividade de tomate. Verificaram um aumento na absorção de N, K e Ca em plantas cultivadas em solução com diferentes concentrações de HCO₃⁻ e concluíram que o efeito positivo do uso do CO₂ via água de irrigação só ocorreu em um intervalo limitado de concentração de HCO₃⁻ na água.

CONCLUSÕES

1. As águas da região da Chapada do Apodi apresentaram valores de E_{CaCO_3} superiores aos da região do Baixo Açu.
2. Independente da origem das águas, para a Chapada do Apodi, a região de Mossoró apresentou os maiores valores de E_{CaCO_3} com média de 765 kg ha⁻¹ e os menores valores foram para as regiões de Grossos e Upanema com média de 626 kg ha⁻¹.
3. Para a região do Baixo Assu, independente da origem, a região de Ipanaguassu apresentou os maiores valores de E_{CaCO_3} com média de 654 kg ha⁻¹, e os menores valores foram, em média, para a região de Carnaubais com 580 kg ha⁻¹.

LITERATURA CITADA

- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande, UFPB, 1991. 218p. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29
- Babcock, K.L.; Egorov, V.V. Chemistry of saline and alkali soil of arid zone. In: Irrigation, drainage and salinity: An international source book. Paris: FAO/UNESCO. 1973. p.122-127.
- Basile, G.M.; Arienzo, M.; Zena, A. Soil nutrient mobility in response to irrigation with carbon dioxide enriched water. Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, v.24, 1183-1195, 1993.
- Bialczyk, J.; Lechowski, Z.; Libik, A. Growth of tomato seedlings under different HCO₃⁻ concentrations in the medium. Journal Plant Nutrition, New York, v.17, n.5, 801-816, 1994.
- Burt, C.; O'Connor, K.; Ruehr, T. Fertigation. San Luis Obispo: Carlifornia Polytechnic State University, Irrigation Training and Research Center, 1995. 295p.
- Carmo Filho, F.; Espínola Sobrinho, J.; Maia Neto, J. M. Dados meteorológicos de Mossoró (Jan. de 1988 à Dez. de 1990), Mossoró: ESAM/FGD, 1991. 121p. Coleção Mossoroense

- Costa, S.A.D. Resposta de arroz à adubação fosfatada associada à correção do solo com calcário e metassilicato de cálcio em Latossolo Vermelho-Amarelo álico sob condições de casa de vegetação. Mossoró, RN: ESAM, 2000, 20p. Monografia de Graduação
- Egreja Filho, F.B.; Maia, C.E.; Morais, E.R.C. de. Método computacional para correção da alcalinidade de águas para fertirrigação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.23, n.2, p.415-423, 1999.
- Inoue, A. Thermodynamic study of Na, K, Ca exchange reation in vermiculite. Clays & Mineralogy, v.30, n.4, p.311-319. 1984.
- Kelley, R.T. Use of saline irrigation water. Soil Science, Baltimor, v.95, n.6, p.386-391, 1963.
- Maia, C.E.; Morais, E.R.C. de; SCASA: Sistema de cadastramento de análises de solo e água. In: Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, 13, 1996, Águas de Lindóia. Resumos... Campinas: SBCS, 1996. CDROM.
- Maia, C.E.; Morais, E.R.C. Qualidade da água para fertirrigação por gotejamento. II. Região do Baixo Assu, RN. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG: v.6, n.1, p.12-26. 1998.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. 1.ed. Washigton: US Department of Agriculture, 1954. 160p. USDA Handbook 60
- Shainberg, I.; Letey, J. Response of soil to sodic and saline conditions. Hilgardia, Oakland. v.52, n.1, p.1-57. 1984.
- Storlie, C.A.; Heckman, J.R. Soil, plant, and canopy responses to carbonated irrigation water. Hort Technology, v.6, n.2, p.111-114, 1996.
- Whipker, B.E.; Bailey, D.; Nelson, P.V.; Fonteno, W.C.; Hammer, P.A. A novel approach to calculate acid additions for alkalinity control in greenhouse irrigation water. Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, v.27, p.959-976. 1996.