

VARIABILIDADE TEMPORAL DA SALINIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DOS RESERVATÓRIOS NA SUB-BACIA DO ALTO JAGUARIBE

M. M. S. Moura¹, H. A. de Q. Palácio², J. B. Brasil³, J. C. Ribeiro Filho⁴,
J. C. N. dos Santos⁵

RESUMO: Objetivou-se com esta pesquisa, avaliar a qualidade das águas superficiais para fins de irrigação e variabilidade temporal dos sais dessas águas em função do volume armazenado pelos dos reservatórios durante o período de 2011 a 2015 na sub-bacia do Alto Jaguaribe, Ceará. O estudo foi realizado em 10 reservatórios, com dados provenientes do banco de dados da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), utilizando os seguintes parâmetros: condutividade elétrica (CE), cloreto (Cl^-), sódio (Na^+) e magnésio (Mg^{2+}). Os reservatórios Brôco e Favelas obtiveram as maiores concentrações de sais dentre os estudados, com valores acima dos limites para irrigação. As águas superficiais dos reservatórios da sub-bacia do Alto Jaguaribe sofreram aumento nas concentrações dos sais em função da diminuição do volume armazenado.

PALAVRAS-CHAVE: irrigação, índice de salinidade, semiárido

VARIABILITY IN TIME OF SHALLOW WATERS SALINITY OF THE RESERVOIRS IN ALTO JAGUARIBE WATERSHED

SUMMARY: It aimed at this work, evaluate the quality of surface waters for irrigation and temporal variability of the salts of these waters according to the volume stored by the reservoirs during the period of 2011 to 2015 in the sub basin of the Alto Jaguaribe, Ceará. The study was conducted in 10 reservoirs, with data from the database of the Water resources Management Company (COGERH), using the following parameters: Electrical conductivity (EC), chloride (Cl^-), sodium (Na^+) and magnesium (Mg^{2+}). The reservoirs Brôco and Favelas obtained the highest concentrations of salts among the studied, with values above the limits for irrigation.

¹ Graduando em Tecnologia em Irrigação e Drenagem, IFCE, Iguatu – Ceará, CEP 63500-000. Fone: (88) 996568183. E-mail: matheusmsm@hotmail.com.br.

² Doutora em Engenharia Agrícola, Professora do IFCE, Iguatu – Ceará.

³ Mestrando em Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza – Ceará.

⁴ Mestrando em Manejo de Solo e Água, UFRSA, Mossoró – Rio Grande do Norte.

⁵ Doutor em Engenharia Agrícola, Professor do IFTM, Uberlândia – MG.

The surface waters of the reservoirs of the sub basin of the Alto Jaguaribe have increased in concentrations of salts due to the decrease in the stored volume.

KEYWORDS: irrigation, salinity index, semi-arid

INTRODUÇÃO

As águas armazenadas em reservatórios superficiais são as principais fontes para múltiplos usos como, demandas por consumo humano, animal, indústrias e, sobretudo, da agricultura irrigada (Silva & Araújo Neto, 2016). De acordo com Araújo Neto et al. (2014), durante o século XX, foram desenvolvidos no Nordeste brasileiro projetos de irrigação, em decorrência da disponibilidade hídrica presente nos reservatórios, como um dos mecanismos de desenvolvimento da região, através da adoção da agricultura irrigada. Assim, a irrigação desempenha um papel fundamental na produção agrícola e no desenvolvimento agrícola em muitas regiões áridas e semi-áridas, apesar das suas fontes de água doce limitadas (Bezborodov et al., 2010).

Embora contribuam significativamente, um dos problemas mais graves dos reservatórios é a salinização. Segundo Ayers & Westcot (1999), os sais presentes nas águas têm sua origem na intemperização das rochas e dos solos, que são levados pelas águas de irrigação e se depositam no solo, acumulando à medida que a água evapora. Além disso, a irrigação com água de má qualidade e a lixiviação insuficiente dos solos são os principais fatores que contribuem para a salinização secundária ou a acumulação de sal nos solos por meio da intervenção humana (Mau & Porporato, 2015).

Os principais problemas de qualidade de água para irrigação estão relacionados com a salinidade uma vez que o excesso de sais solúveis no solo que reduz a disponibilidade da água para às plantas, e podem de causar sérios problemas de impermeabilização dos solos, além de toxicidade em culturas sensíveis (Ayers & Westcot, 1999). Pois o seu acúmulo no solo à medida que a água evapora, pode resultar em salinização do solo (Lucas et al., 2014). Scudiero et al. (2017) afirmaram que a salinidade é tipicamente administrada por solos de irrigação, que prejudicam o crescimento vegetativo das plantas, devido a efeitos osmóticos, efeitos específicos de toxicidade iônica, desequilíbrios nutricionais e influências sobre textura e permeabilidade dos solos. Portanto, o diagnóstico das águas para fins de irrigação é fundamental para que tais reflexos sejam minimizados (Zamberlan et al., 2013).

Diante dessa realidade, objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade das águas superficiais para fins de irrigação e variabilidade temporal dos sais dessas águas em função do volume armazenado pelos dos reservatórios durante o período estudado na sub-bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, localizada no estado do Ceará.

MATERIAL E MÉTODOS

A área em estudo está localizada na sub-bacia do Alto Jaguaribe, na porção sudoeste do Estado do Ceará, Brasil, entre as latitudes 5°54'55" e 7°04'50" S e as longitudes 38°55'22" e 40°24'47" W (Figura 1).

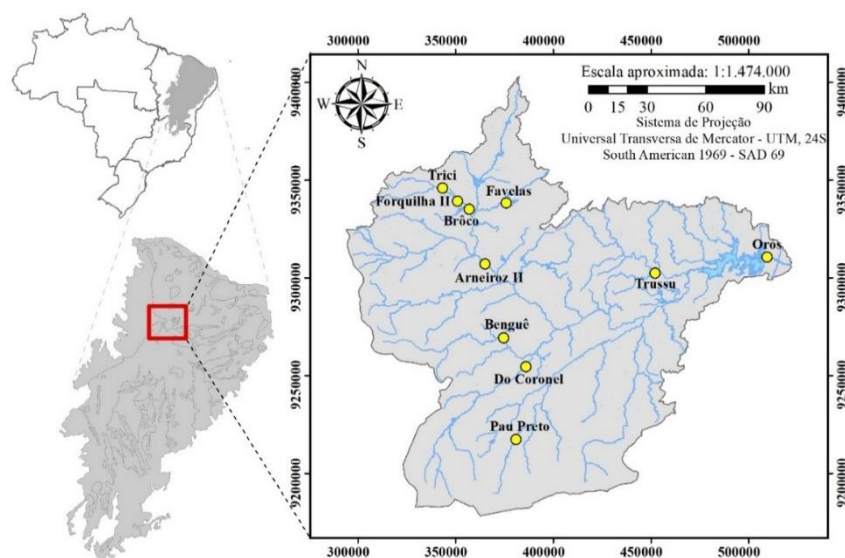


Figura 1. Localização dos reservatórios na sub-bacia do Alto Jaguaribe, Brasil.

O clima da bacia hidrográfica é do tipo BSh' (semiárido quente), de acordo com a classificação climática de Köppen. A precipitação média anual na região é de cerca de 780 mm de acordo com a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) entre os anos de 1974 a 2015, enquanto a evapotranspiração potencial da região oscila entre 1.500 e 2.000 mm ano⁻¹ e as temperaturas médias anuais registram valores de 23 a 27 °C (Araújo Neto et al., 2014). O Alto Jaguaribe é composto por 24 municípios com aproximadamente meio milhão de habitantes. Sua área de influência se estende por mais de 24.000 km², caracterizado por uma ampla distribuição de reservatórios, variando de 2.500 m³ para 2 bilhões de m³ de capacidade.

Para pesquisa, 10 reservatórios da sub-bacia (Arneiroz II, Benguê, Broco, Do Coronel, Favelas, Forquilhas II, Orós, Pau Preto, Trici e Trussu) deram suporte. Os dados das

concentrações químicas das águas dos reservatórios para o período de 2011/2015, foram provenientes do banco de dados da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). Para este trabalho foram considerados os seguintes parâmetros: condutividade elétrica (CE) em dS m^{-1} , cloreto (Cl^-), sódio (Na^+) e magnésio (Mg^{2+}) em mmolc L^{-1} , sendo estes os atributos considerados para o cálculo do índice de salinidade das águas superficiais (ISal), proposto pela classificação de Araújo Neto et al. (2014).

Empregou-se a técnica estatística multivariada, através da análise de agrupamento hierárquico (AAH), para formação de grupos de similaridade entre os reservatórios, quanto as médias dos parâmetros utilizados, processada no software SPSS 20.0. Como as variáveis classificatórias adotadas neste estudo são reais e, portanto, são mensuradas em uma escala de intervalo, foi adotada a combinação da distância Euclidiana ao quadrado para a formação da matriz de similaridade e o algoritmo do método de ligação Ward (método da variância mínima). Para avaliação dos dados médios dos grupos formados pela AAH, aplicou-se o teste t de Wilcoxon para comparação das médias a nível de significância de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$), utilizando o programa SPSS 20.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sub-bacia do Alto Jaguaribe durante o período de 2011 a 2015, com exceção o ano de 2011, as precipitações pluviométricas foram inferiores à precipitação média anual histórica da região de 780 mm (Funceme, 2017). Segundo Marengo et al. (2016), a seca que se intensificou em 2012-2013 e se estendeu em menor grau até 2015, foi considerada a mais grave nas últimas décadas. Assim, os níveis de água dos reservatórios foram influenciados pelo regime pluviométrico na bacia hidrográfica.

Tabela 1. Precipitação pluviométrica da sub-bacia do Alto Jaguaribe durante o período

Ano	2011	2012	2013	2014	2015
Precipitação média (mm)	1.046,3	507,6	568,3	668,3	520,9

Fonte: Funceme (2017).

A similaridade das águas superficiais dos reservatórios definida pela análise de agrupamento hierárquico (AAH) é mostrada no dendrograma (Figura 2). Observa-se que há presença de 2 grupos, formado a partir do ponto de corte, definido pelo segundo maior salto da distância reescalada, assim efetuou-se, ponto de corte no valor 5 da distância reescalada.

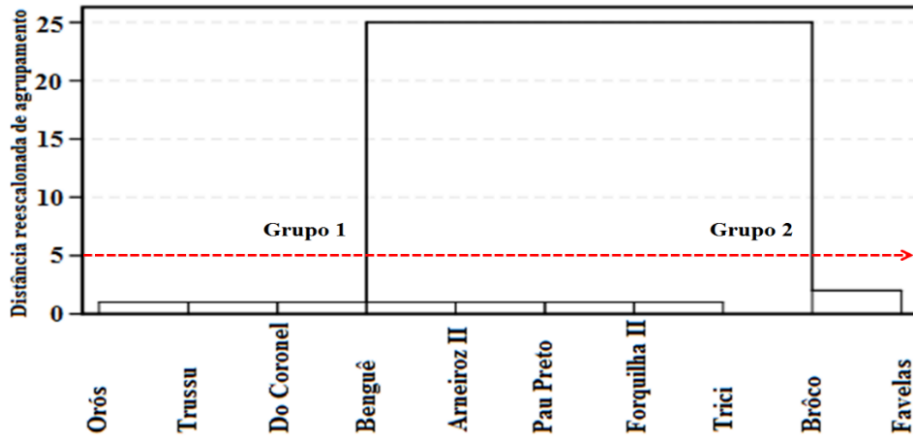


Figura 2. Dendrograma da AAH quanto à similaridade entre os reservatórios da sub-bacia do Alto Jaguaribe, Ceará, Brasil.

Os grupos formados pela AAH diferiram estatisticamente em $p \leq 0,05$ pelo teste t de Wilcoxon (Tabela 2), entre todos os parâmetros: CE, Cl⁻, Na⁺ e Mg²⁺, íons que apresentam maiores restrições na salinidade das águas superficiais, de acordo com Araújo Neto et al. (2014). Visto que, o grupo 2 apresentaram-se com maiores médias em relação aos valores do grupo 1 para todas as variáveis (Tabela 2), mostrando que, os reservatórios Brôco e Favelas tiveram maiores concentrações em suas amostras. Silva & Araújo Neto (2016), avaliando a qualidade das águas superficiais para fins de irrigação durante o período de 2001 a 2015 na sub-bacia do Alto Jaguaribe, afirmaram que os reservatórios Brôco e Favelas obtiveram as maiores concentrações de sais dentre os dentre os reservatórios estudados.

Tabela 2. Valores médios das variáveis para os grupos similares definidos pela AAH para as águas superficiais dos reservatórios da sub-bacia do Alto Jaguaribe, Ceará

Grupos	Estatística	CE (dS m ⁻¹)	Cl ⁻ (mmol _e L ⁻¹)	Mg ²⁺ (mmol _e L ⁻¹)	Na ⁺ (mmol _e L ⁻¹)
1	Média ± D. P.	0,422 ± 0,130 a	1,633 ± 0,763 a	0,601 ± 0,142 a	2,305 ± 0,703 a
	Mínimo	0,267	0,919	0,433	1,418
	Máximo	0,582	2,973	0,824	3,329
2	Média ± D. P.	1,639 ± 0,080 b	8,737 ± 2,320 b	2,181 ± 0,711 b	8,316 ± 0,117 b
	Mínimo	1,583	7,097	1,679	8,233
	Máximo	1,696	10,377	2,684	8,399

*D.P.: Desvio padrão; Médias seguidas de letras minúsculas diferem entre si na coluna pelo teste t de Wilcoxon, em nível de 5% de significância.

O grupo 2 teve 1,64 dS m⁻¹ como média para a CE, valor superior ao limite estabelecido (0,700 dS m⁻¹) por Ayers & Westcot (1999), apresentando assim, moderada restrição para uso dessas águas na irrigação. Águas com concentrações de sais elevadas podem tornar o solo salino, impossibilitando o cultivo agrícola (Silva; Araújo Neto, 2016). Mesmo com moderado

risco dessas águas, o uso de sistemas adequados de lixiviação e drenagem para eliminar a acumulação de sal causada pela salinidade da água de irrigação pode permitir que a água seja ligeiramente salina para irrigação com pouco ou nenhum dano ao solo ou diminuição nos rendimentos da planta (Kiremit & Arslan, 2016).

Para os íons Cl^- e Na^+ , o grupo 1 formado por 8 reservatórios (Figura 2), classificaram-se como nenhuma restrição na irrigação, com média de 1,63 e 2,30 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ para Cl^- e Na^+ , respectivamente. No entanto, as águas do Brôco e Favelas tiveram médias superiores, com 8,73 e 8,31 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, para Cl^- e Na^+ , respectivamente, valores próximos ao limite de moderado risco para ambos segundo Ayers & Westcot (1999), sendo águas que apresentarem para o cloreto valores entre 4 e 10 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ e para o sódio entre 3 e 9 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, são classificadas com moderado restrição para uso na irrigação. Segundo Ayers & Westcot (1999), os íons tóxicos habituais na água de irrigação são cloreto, sódio e boro, e os danos podem ser causados por cada um, individualmente ou em combinação. Os efeitos causados pela toxicidade acontecem quando as plantas absorvem os sais do solo, juntamente com a água, permitindo que haja toxidez na planta por excesso de sais absorvidos (Silva et al., 2013) e acumulam-se nas folhas durante a transpiração da água, de maneira que resulte em danos à planta (Ayers & Westcot, 1999). É necessário, pois, analisar se tais problemas poderão ser agravados no semiárido pelas elevadas temperaturas e baixa umidade do ar durante o período seco, quando ocorrem elevadas taxas de evapotranspiração das plantas, resultando em uma maior concentração estes elementos na superfície foliar (Araújo Neto et al., 2014).

Para essas águas apresentarem altas concentrações dos íons Cl^- e Na^+ na sub-bacia do Alto Jaguaribe deve-se em decorrência da ação antrópica. Segundo Lucas et al. (2014), a contaminação dos recursos hídricos é causada por diversas fontes, dentre as quais se destacam os efluentes domésticos, os efluentes industriais e a carga difusa urbana e agrícola, que comprometem o uso dessas águas. Para Zamberlan et al. (2013), a ocupação urbana e a agricultura são usos que interferem de maneira direta na qualidade da água, principalmente devido ao deflúvio superficial.

Os valores médios do íon Mg^{2+} de 0,60 e 2,18 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ para os grupos 1 e 2 (Tabela 2), respectivamente, não apresentaram risco de salinização do solo, pois estão abaixo do limite de 5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ recomendados por Ayers & Westcot (1999). Mesmo assim, baixas concentrações de Mg^{2+} na água aplicada na irrigação, podem desestabilizar a relação de absorção de sódio ($\text{Na}/\text{Ca}+\text{Mg}$), potencializando o efeito desagregador das partículas do solo provocado pelo Na^+ (Araújo Neto et al., 2014). O Na^+ em concentrações elevadas no solo pode causar problemas na estrutura do mesmo, como na diminuição da permeabilidade ao ar e à água que interferem

diretamente na produção das culturas (Freire et al., 2014). O íon Mg^{2+} em condições adequadas favorece o crescimento da planta e seu desenvolvimento metabólico, já em condições inadequadas, pode causar toxidez às plantas, prejudicando o seu desenvolvimento, conforme Ayers & Westcot (1999).

Durante o período de estudo 2011 a 2015, a partir do ano de 2012 os parâmetros (CE, Cl^- , Na^+ e Mg^{2+}) das amostras das águas superficiais dos reservatórios do Alto Jaguaribe apresentaram aumento crescente nas concentrações (Figura 3).

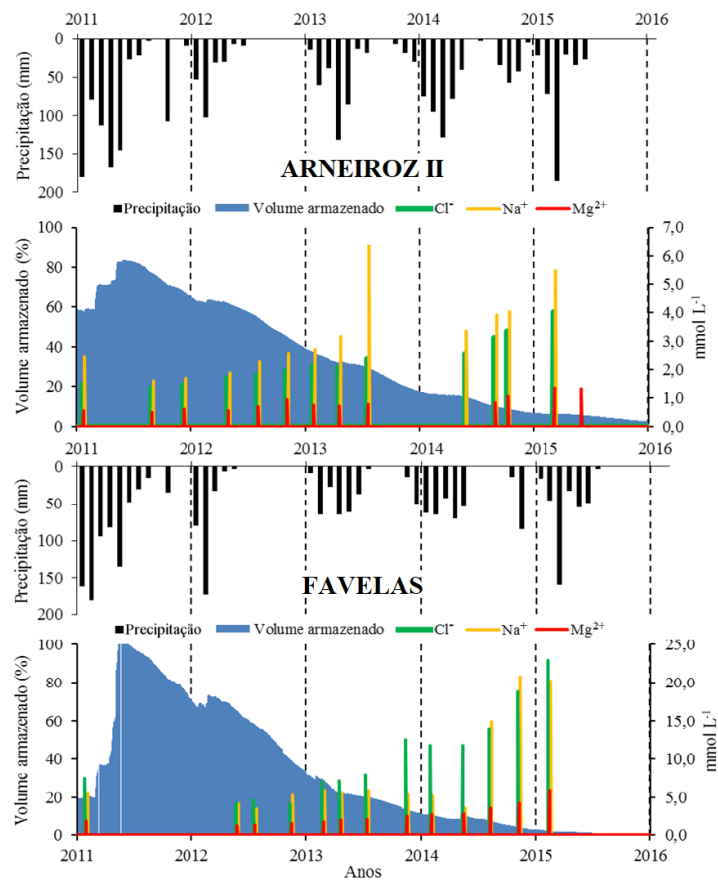


Figura 3. Altura pluviométrica mensal, volume armazenado e concentração dos íons (Cl^- , Na^+ e Mg^{2+}) nos reservatórios Arneiroz II e Favelas de 2011 a 2015.

Para avaliação situação da qualidade das águas e a relação com volume armazenado dos reservatórios nos grupos 1 e 2 durante o período, analisou-se o reservatório Arneiroz II (187,7 hm^3) do grupo 1, terceiro maior reservatório sub-bacia do Alto Jaguaribe, e o reservatório Favelas (30,1 hm^3) do grupo 2, com capacidade de armazenamento superior ao Brôco (8,44 hm^3), ambos localizados no município de Tauá-CE. Os reservatórios Arneiroz II e Favelas estão localizados na região dos Sertão Central e Inhamuns do Ceará, que apresentaram situação semelhante no regime pluviométrico durante o período de 2012 a 2015 (Funceme, 2017).

Observa-se na figura 3 a variabilidade temporal das concentrações de Cl^- , Na^+ e Mg^{2+} nos reservatórios Arneiroz II e Favelas. Apresentaram altos valores de Cl^- , Na^+ para ambos após a metade ano de 2013, principalmente o Favelas, com valores máximos de 20,3 e 23,0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ para os íons Na^+ e Cl^- , respectivamente, em fevereiro de 2015. A condutividade elétrica no Arneiroz II e no Favelas tiveram comportamento semelhante aos íons mostrados na figura 3, com maiores valores da CE em fevereiro de 2015 com 3,56 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ para o Favelas e 0,86 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ para o Arneiroz II. Caitano et al. (2012) estudando a avaliação de modelos e espacialização da qualidade das águas superficiais do estado do Ceará diagnosticaram o reservatório Favelas como sendo um dos reservatórios de maiores concentrações de sais em todo o estado do Ceará. Apesar das médias (Tabela 2) representarem os dados, durante a metade do período estudado, a maioria das amostras dos reservatórios apresentaram valores superiores ao valor médio utilizado, com severo grau de restrição ao uso dessas águas para irrigação.

Estes resultados são justificados pela situação aporte de água dos reservatórios da sub-bacia do Alto Jaguaribe, durante seca plurianual de 2012 a 2015, que de acordo com Martins & Magalhães (2015), este foi o quadriênio mais crítico em termos de totais de chuva desde 1911. Portanto, déficit hídrico na sub-bacia influenciou no volume de água armazenado dos reservatórios, e conseqüentemente na qualidade da água dos mesmos, pois conforme Misaghi et al. (2017), a qualidade da água é claramente afetada pelos padrões sazonais pluviométricos.

CONCLUSÕES

As águas superficiais dos reservatórios da sub-bacia do Alto Jaguaribe sofreram aumento nas concentrações dos sais em função da diminuição do volume armazenado.

A técnica estatística multivariada, através da análise de agrupamento hierárquico (AAH), mostrou-se uma ferramenta eficiente para definir grupos entre os reservatórios quanto à similaridade dos valores médios dos parâmetros utilizados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a FUNCAP pelo apoio financeiro e pelas bolsas de produtividade e de iniciação científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO NETO, J. R.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; GUERREIRO, M. J. S. PALÁCIO, H. A. Q. Proposta de índice da salinidade das águas superficiais de reservatórios do Ceará, Brasil. *Revista Agro@mbiente On-line*, V.8, n.2, p.184-193, 2014.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.

BEZBORODOV, G. A.; SHADMANOV, D. K.; MIRHASHIMOV, R. T.; YULDASHEV, T.; QURESHI, A. S.; NOBLE, A. D.; QADIR, M. Mulching and water quality effects on soil salinity and sodicity dynamics and cotton productivity in Central Asia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, V.138, n.1, p. 95-102, 2010.

CAITANO, R. F.; LOPES, F. B.; CHAVES, L. C. G.; ANDRADE, E. M. Avaliação de modelos de interpolação e espacialização da qualidade das águas superficiais do Estado do Ceará. In: *Inovagri International Meeting e IV Workshop de Inovações Tecnológicas na Irrigação - Winotec*, Fortaleza. Anais... Fortaleza: INOVAGRI, p.1-5, 2012.

FREIRE, M. B. G. S.; MIRANDA, M. F.; OLIVEIRA, E. E. M.; SILVA, L. E.; PESSOA, L. G. M.; ALMEIDA, B. G. Agrupamento de solos quanto à salinidade no Perímetro Irrigado de Custódia em função do tempo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi*, V.18, p. 86-91, 2014.

FUNCEME. Calendário das chuvas no Estado do Ceará. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/municipios/chuvas-diarias>. Acesso em: 11 jun. 2017.

KIREMIT, M. S.; ARSLAN, H. Effects of irrigation water salinity on drainage water salinity, evapotranspiration and other leek (*Allium porrum* L.) plant parameters. *Scientia Horticulturae*, V.201, p. 211-217, 2016.

LUCAS, A. A. T.; MOURA, A. S. A.; NETTO, A. O. A.; FACCIOLI, G. G.; SOUSA, I. F. Qualidade da água no Riacho Jacaré, Sergipe Brasil usada para irrigação. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, V.8, n.2, p. 98-105, 2014.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 20, p. 1-12, 2016.

MARTINS, E. S. P. R.; MAGALHÃES, A. R. A seca de 2012-2015 no Nordeste e seus impactos. In: CARDOSO M. de (Ed.). *Parcerias Estratégicas*. Brasília, 2015, p. 107-128.

MAU, Y.; PORPORATO, A. A dynamical system approach to soil salinity and sodicity. *Advances in Water Resources*, V.83, p. 68-76, 2015.

MISAGHI, F.; DELGOSHA, F.; RAZZAGHMANESH, M.; MYERS, B. Introducing a water quality index for assessing water for irrigation purposes: A case study of the Ghezel Ozan River. *Science of The Total Environment*, V.589, p. 107-116, 2017.

SCUDIERO, E.; SKAGGS, T. H.; CORWIN, D. L. Simplifying field-scale assessment of spatiotemporal changes of soil salinity. *Science of The Total Environment*, V.587, p. 273-281, 2017.

SILVA, E. B.; ARAÚJO NETO, J. R. Caracterização das variáveis hidroquímicas na sub-bacia do Alto Jaguaribe, Ceará utilizando análise multivariada e SIG. *Revista Engenharia na Agricultura*, V.24, n.5, p. 417-426, 2016.

SILVA, M. V. T.; LIMA, R. M. S.; MEDEIROS, J. F.; MEDEIROS, A. M. A.; SILVA, N. K. C.; OLIVEIRA, F. L. Evolução da salinidade do solo em função de diferentes doses de nitrogênio e salinidade da água de irrigação. *Agropecuária Científica no Semiárido*, V.9, n.2, p. 126-136, 2013.

ZAMBERLAN, J. F.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; FERRAZ, R. C.; PINTO, L. M. Índices sazonais de qualidade da água de irrigação via análise multivariada na região central do Rio Grande do Sul. *Irriga*, V.18, n.3, p. 376-386, 2013.