



Evaluación de la salinidad de suelos bajo cultivo protegido de *Pennisetum purpureum* Schum cv. BRS Capiaçú regado con agua salina

Avaliação da salinidade de solos sob cultivo protegido de *Pennisetum purpureum* Schum cv. BRS Capiaçú irrigado com água salina

Samila Barbosa Lisboa

Facultad de Tecnología CENTEC - FATEC Cariri

Saulo Venâncio da Silva Gonçalves

Universidad Federal de Cariri – UFCA, Crato, Ceará

Rickson Tavares Bezerra

Facultad de Tecnología CENTEC - FATEC Cariri

Sebastião Erailson de Sousa Santos

Programa de Maestría PPGEM en Ingeniería Mecánica - UFCG

Rildson Melo Fontenele

Facultad de Tecnología CENTEC - FATEC Cariri

RESUMEN

La salinización es un fenómeno que consiste en la acumulación de sales hidrosolubles en el suelo, como potasio (K⁺), magnesio (Mg²⁺), calcio (Ca²⁺), cloruro (Cl⁻), sulfato (SO₄²⁻), carbonato (CO₃²⁻) y bicarbonato (HCO₃⁻), siendo un problema que limita el potencial productivo de las áreas cultivables en Brasil. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la salinidad de los suelos bajo cultivo protegido de *Pennisetum purpureum* Schum cv. BRS Capiaçú regado con agua con diferentes niveles de salinidad. El experimento se realizó en un invernadero de la Facultad de Tecnología CENTEC – FATEC Cariri, en el municipio de Juazeiro do Norte, Ceará. El experimento tuvo un diseño completamente aleatorio con quince réplicas por tratamiento. Se evaluaron cinco niveles de salinidad en el agua (S1 = 0,6 dS m⁻¹; S2 = 1,8 dS m⁻¹; S3 = 3,0 dS m⁻¹; S4 = 5,0 dS m⁻¹; S5 = 10,0 dS m⁻¹). La hierba utilizada fue *Pennisetum purpureum* Schum cv. BRS Capiaçú. Se utilizaron vasos de polietileno con un volumen de 500 ml, que contenían un sistema de drenaje en la base para permitir el flujo de lixiviados, donde se distribuyeron en el invernadero. Cada taza tenía una sola planta y se consideraba una unidad experimental, debidamente identificada con sus respectivos tratamientos. Al final del experimento, se recolectaron muestras de suelo por taza para producir extracto de pasta de saturación para determinar el pH, la conductividad eléctrica y la presión osmótica, utilizando valores de la conductividad eléctrica de la misma (ECes) a través de la fórmula: PO = 0.0365 * ECes. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y modelos de regresión múltiple y análisis descriptivo con nivel de significancia de los coeficientes de hasta 5%. El pH de los suelos mostró un efecto lineal creciente en función de la conductividad eléctrica del agua de riego ($\hat{Y} = 0.0864x + 5.8794$; R² = 0,89), con valores medios de 5,84 (±0,210); 6,01 (±0,122); 6,17 (±0,106); 6,48 (±0,120) y 6,66 (±0,117) para niveles de salinidad del agua de 0,6; 1,8; 3,0; 5.0 y 10.0 dS m⁻¹, respectivamente. La salinidad de los extractos de suelo mostró un efecto lineal creciente en función de la conductividad eléctrica del agua de riego ($\hat{Y} = 0.248x + 0.9813$; R² = 0,98), presentando los siguientes valores medios de 0,26 dS m⁻¹ (±0,065); 0,80 dS m⁻¹ (±0,113); 1,13



dS m⁻¹ ($\pm 0,153$); 1,64 dS m⁻¹ ($\pm 0,163$) y 2,69 dS m⁻¹ ($\pm 0,285$) para niveles de salinidad del agua de 0,6 dS m⁻¹; 1,8 dS m⁻¹; 3,0 dS m⁻¹; 5,0 dS m⁻¹ y 10,0 dS m⁻¹ respectivamente. Finalmente, la presión osmótica de los suelos mostró un efecto lineal creciente en función de la conductividad eléctrica del agua de riego ($\hat{Y} = 0.009x + 0.0108$; $R^2 = 0,98$), presentando valores medios de 0,010 atm ($\pm 0,0024$); 0,029 cajeros automáticos ($\pm 0,0041$); 0,041 cajeros automáticos ($\pm 0,0056$); 0,060 atm ($\pm 0,0060$) y 0,098 atm (0,0104) para niveles de salinidad del agua de 0,6 dS m⁻¹; 1,8 dS m⁻¹; 3,0 dS m⁻¹; 5,0 dS m⁻¹ y 10,0 dS m⁻¹, respectivamente. Por lo tanto, en vista de lo anterior, se concluye que los suelos, después de 28 días de aplicación de agua salina, se convirtieron en sodio.

Palabras clave: Conductividad eléctrica, pH, presión osmótica

1 INTRODUCCIÓN

La salinización es un fenómeno que consiste en la acumulación de sales hidrosolubles en el suelo, como potasio (K⁺), magnesio (Mg²⁺), calcio (Ca²⁺), cloruro (Cl⁻), sulfato (SO₄²⁻), carbonato (CO₃²⁻) y bicarbonato (HCO₃⁻), siendo un problema que limita el potencial productivo de las áreas cultivables en Brasil (FLORES, 2015). Siendo eso, esta acumulación de sales se produce en su superficie y en la zona radicular y que provoca efectos nocivos, como la disminución de la producción y en algunos casos la degradación del suelo (LHISSOU et al., 2014).

El proceso de salinización y sodio es una condición de degradación del suelo que ocurre principalmente en las regiones áridas y semiáridas del mundo. Según Daliakopoulos et al. (2016), esto se debe a factores ambientales y/o acciones antrópicas. Entre las características naturales podemos destacar el transporte de sedimentos con sales a sitios no salinizados; así como acciones de la elevación por capilaridad de los suelos a la superficie; así como altas tasas de evapotranspiración (RIBEIRO, 2010; BRADY y WEIL, 2012; PEDROTTI, 2015; WALTER et al., 2018).

En relación con las acciones humanas, la contribución a la acumulación de sales es variada, tales como: uso de agua que contiene altas cantidades de sales (DALIAKOPOULOS et al., 2016); así como, la práctica del riego sin sistema de drenaje; y finalmente, la aplicación de fertilizantes y pesticidas con una alta concentración de sales (RIBEIRO, 2010; KANZARI, et al., 2012; PEDROTTI, 2015; SALVATI y FERRARA, 2015).

Por lo tanto, el aumento de la superficie de tierra que presenta problemas de salinización en las regiones áridas y semiáridas se ha convertido en un motivo de gran preocupación, principalmente porque se concentra en zonas de regadío que han recibido altas inversiones en infraestructura para su implementación. Además, el uso de riego sin

un manejo adecuado y las malas condiciones de drenaje contribuyen a la aceleración del proceso de salinización, que puede alcanzar niveles perjudiciales para la mayoría de los cultivos en un tiempo relativamente corto (HOLANDA et al., 2001).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la salinidad de los suelos bajo cultivo protegido de *Pennisetum purpureum Schum cv. BRS Capiáçu* regado con agua con diferentes niveles de salinidad.

2 MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un invernadero de la Facultad de Tecnología CENTEC – FATEC Cariri, en el municipio de Juazeiro do Norte, Ceará. La instalación se encuentra en las coordenadas geográficas de Latitud: 7° 14' 14" Sur, Longitud: 39° 19' 20" Oeste, a una altitud de 429 m y el clima del municipio, según la clasificación de Köppen (1948), es del tipo BSh, con una temperatura media de 26.6 °C, y una precipitación media anual de 640 mm.

El experimento tuvo un diseño completamente aleatorio con quince réplicas por tratamiento. Se evaluaron cinco niveles de salinidad en el agua (S1 = 0,6 dS m⁻¹; S2 = 1,8 dS m⁻¹; S3 = 3,0 dS m⁻¹; S4 = 5,0 dS m⁻¹; S5 = 10,0 dS m⁻¹). La hierba utilizada fue *Pennisetum purpureum Schum cv. BRS Capiáçu*.

Se utilizaron vasos de polietileno con un volumen de 500 ml, que contenían un sistema de drenaje en la base para permitir el flujo de lixiviados, donde se distribuyeron en el invernadero. Cada taza tenía una sola planta y se consideraba una unidad experimental, debidamente identificada con sus respectivos tratamientos.

Para la fertilización de las plantas, se utilizó una solución nutritiva, compuesta por urea, MgSO₄, Fe-EDTA, K₂HPO₄, CaCl₂ y micronutrientes, a los 21 días después del riego con aguas salinas, aplicándose cada dos días hasta el vigésimo octavo día del experimento.

Se sembraron 75 esquejes que contenían una yema, obtenidos de plantas adultas suministradas por Embrapa Gado de Leite y plantadas en el Centro de Ciencias Agrícolas y de la Biodiversidad – CCAB de la Universidad Federal de Cariri – UFCA. Antes de la aplicación de los tratamientos, las plantas se regaban con agua con conductividad eléctrica (ECa) de 0,6 dS m⁻¹, manteniendo el suelo a plena capacidad de campo. A los 15 días de la siembra, se realizó el corte de uniformización y se inició la aplicación de los

tratamientos en las unidades experimentales. Los cortes se hicieron con tijeras a una altura de 5 cm del suelo.

Las soluciones de riego salino fueron preparadas semanalmente en el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal del CCAB de la UFCA, y almacenadas en reservorios con una capacidad de 05 litros. Para la preparación de las soluciones destinadas a la salinización artificial de las aguas, se realizó una prueba preliminar utilizando agua del grifo con conductividad eléctrica de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ y NaCl. Y la concentración de sales correspondientes a los tratamientos se estimó en base a las ecuaciones de regresión generadas a través de este ensayo preliminar.

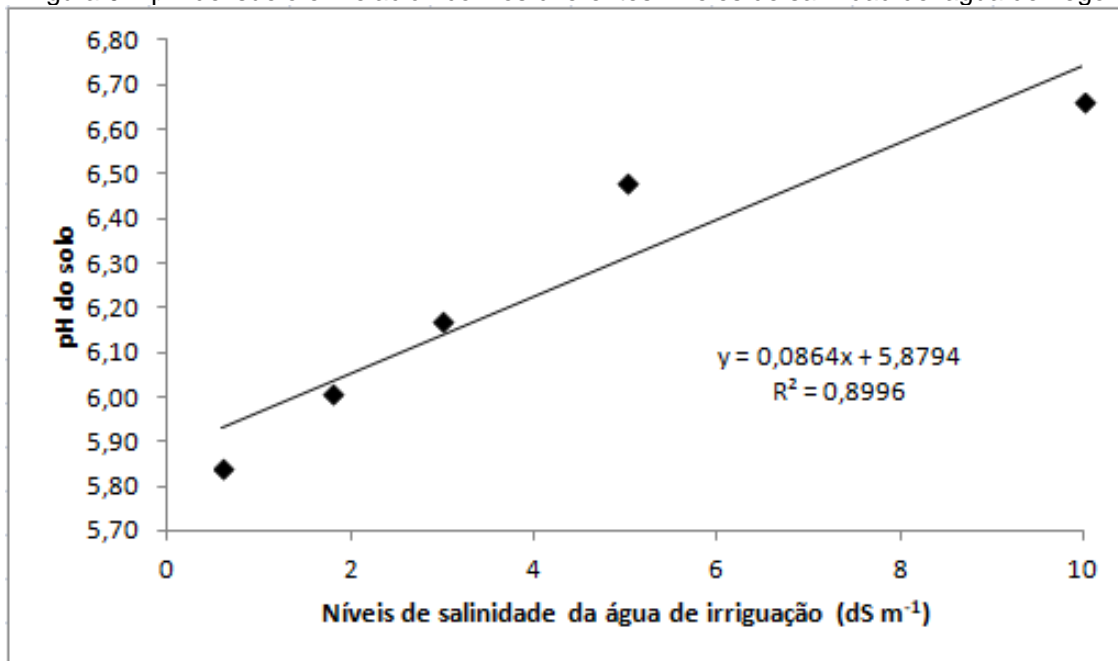
Al final del experimento, se recolectaron muestras de suelo por taza para producir extracto de pasta de saturación para determinar el pH, la conductividad eléctrica, según Richards (1954), y la presión osmótica (PO), utilizando valores de la conductividad eléctrica de la misma (ECes) a través de la fórmula: $PO = 0.0365 * CEes$.

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y modelos de regresión múltiple y análisis descriptivo. La elección de los modelos se basó en la significación de los coeficientes hasta el nivel de probabilidad del 5% y el coeficiente de determinación. Para el análisis estadístico de los datos, se utilizó el programa informático Sisvar (Versión 5.6).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 01 muestra el comportamiento del pH del suelo en relación con los diferentes niveles de salinidad del agua utilizada en el riego. Se observó que el pH de los suelos presentaba un efecto lineal creciente en función de la conductividad eléctrica del agua de riego ($\hat{Y} = 0,0864x + 5,8794$; $R^2 = 0,89$), con valores medios de 5,84 ($\pm 0,210$); 6,01 ($\pm 0,122$); 6,17 ($\pm 0,106$); 6,48 ($\pm 0,120$) y 6,66 ($\pm 0,117$) para niveles de salinidad del agua de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$; $1,8 \text{ dS m}^{-1}$; $3,0 \text{ dS m}^{-1}$; $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ y $10,0 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente.

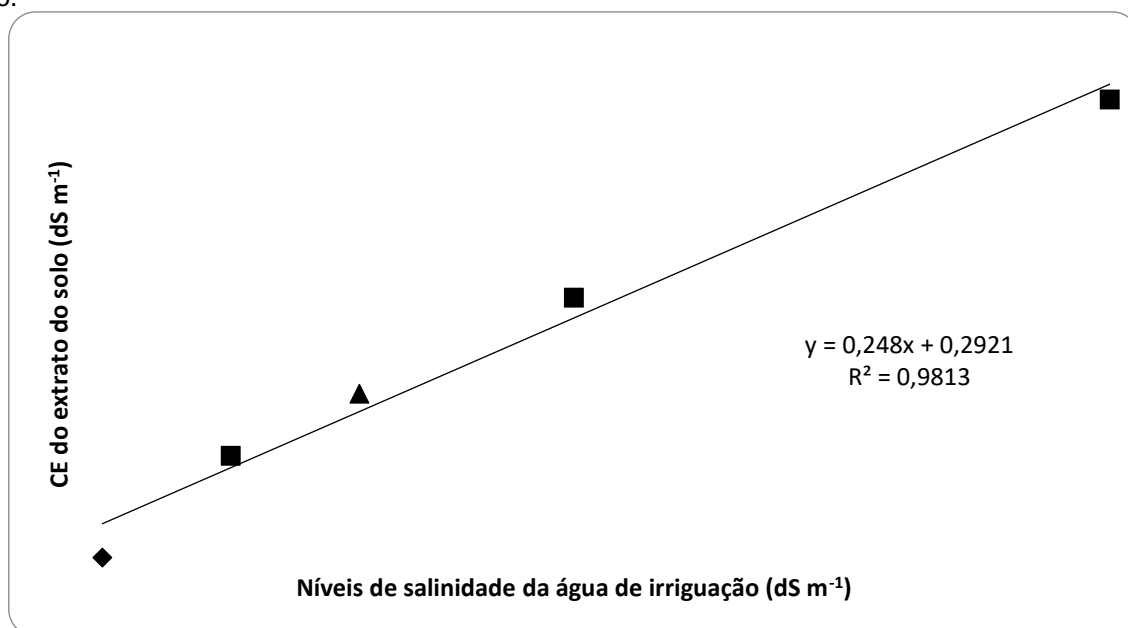
Figura 01. pH del suelo en relación con los diferentes niveles de salinidad del agua de riego.



El pH del suelo influye en muchas actividades químicas y biológicas del suelo, siendo por tanto un factor de gran importancia. Como ejemplo, se puede citar la concentración de muchos iones disueltos en la solución del suelo, incluido el aluminio que en alta concentración es tóxico para las plantas, que tiene su concentración disminuida a medida que aumenta el pH del suelo (AMORIM NETO et al., 2020).

La figura 02 muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica (CE) de los suelos en relación con los diferentes niveles de salinidad del agua utilizada en el riego. Se observó que la salinidad de los extractos de suelo mostró un efecto lineal creciente en función de la conductividad eléctrica del agua de riego ($\hat{Y} = 0.248x + 0.9813$; $R^2 = 0,98$), presentando los siguientes valores medios de $0,26 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 0,065$); $0,80 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 0,113$); $1,13 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 0,153$); $1,64 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 0,163$) y $2,69 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 0,285$) para niveles de salinidad del agua de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$; $1,8 \text{ dS m}^{-1}$; $3,0 \text{ dS m}^{-1}$; $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ y $10,0 \text{ dS m}^{-1}$ respectivamente.

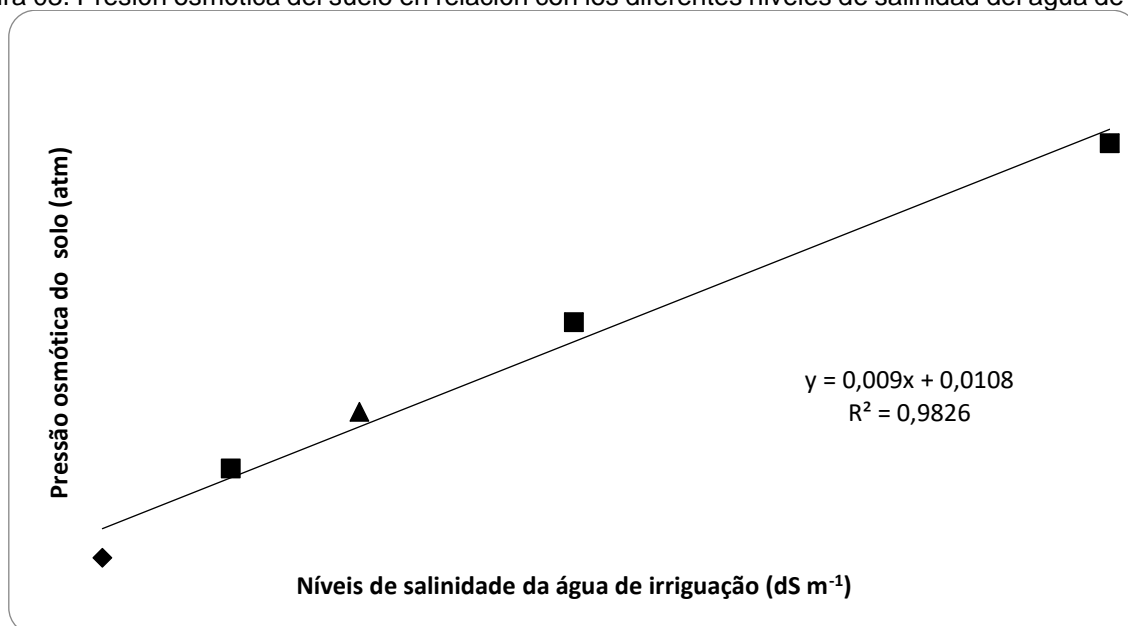
Figura 02. Conductividad eléctrica del suelo en relación con los diferentes niveles de salinidad del agua de riego.



Esta evolución en la conductividad eléctrica del suelo es proporcional a los tratamientos, es decir, el efecto del agua sobre el extracto del suelo fue directamente proporcional a la concentración de sales en el agua de riego. Además, debido a las características de los iones presentes en la solución en la corriente eléctrica conductora, la conductividad eléctrica del extracto de la pasta saturada del suelo, más conocida como la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEEs) del suelo es el método más rápido y simple para estimar la cantidad total de sales solubles en suelos con diversos propósitos de uso por el hombre, ya que la conducción de la corriente eléctrica es directamente proporcional a la cantidad de iones en solución (DONAHUE et al., 1977).

Finalmente, la Figura 03 muestra el comportamiento de la presión osmótica de los suelos en relación con los diferentes niveles de salinidad del agua utilizada en el riego. Se observó que la presión osmótica de los suelos presentaba un efecto lineal creciente en función de la conductividad eléctrica del agua de riego ($\hat{Y} = 0,009x + 0,0108$; $R^2 = 0,98$), presentando valores medios de 0,010 atm ($\pm 0,0024$); 0,029 cajeros automáticos ($\pm 0,0041$); 0,041 cajeros automáticos ($\pm 0,0056$); 0,060 atm ($\pm 0,0060$) y 0,098 atm (0,0104) para niveles de salinidad del agua de 0,6; 1,8; 3,0; 5,0 y 10,0 dS m⁻¹, respectivamente. Sin embargo, a pesar del aumento de la presión osmótica de los suelos, presentan presiones osmóticas inferiores a 0.146 atm, caracterizándose como suelos no salinos.

Figura 03. Presión osmótica del suelo en relación con los diferentes niveles de salinidad del agua de riego.



La reducción del potencial osmótico del suelo causado por las sales solubles presentes perjudica los procesos fisiológicos de los cultivos, como la actividad meristemática y el alargamiento celular debido a la reducción en la absorción de agua por las raíces e incluso la pérdida de agua que se encuentra dentro de las raíces, porque su potencial osmótico será menor que el del suelo. Por lo tanto, es la principal causa de la reducción del crecimiento de las plantas (AYERS y WESTCOT, 1999).

De acuerdo con el Sistema Brasileño de Clasificación de Suelos, los suelos son considerados salinos cuando presentan Porcentaje de Sodio Intercambiable (TSP) < 15%, Conductividad Eléctrica del extracto de saturación (ECes) $\geq 4 \text{ dS m}^{-1}$ y $\text{pH} < 8,5$. Los suelos sódicos tienen $\text{PST} \geq 15\%$, $\text{EC} < 4 \text{ dS m}^{-1}$ y $\text{pH} \leq 8,5$ y pueden alcanzar valores cercanos a 10. Finalmente, los suelos salinos-sódicos tienen $\text{PST} \geq 15\%$, $\text{EC} \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$ y $\text{pH} \leq 8,5$ (RIBEIRO et al., 2016)

4 CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados de los parámetros de clasificación de suelos evaluados en este trabajo, se concluye que los suelos, después de 28 días de aplicación de agua salina, se convirtieron en sodio.

REFERENCIAS

AMORIM NETO, Í. C.; SANTOS, M. A. L.; SILVA, C. B.; CARDOSO, S. H.; SANTOS, C. G.; PAULINO, S. S. Análise multivariada para mensuração do pH e da condutividade elétrica do solo cultivado com beterraba em função de lâminas de água e níveis de salinidade. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, 2020.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2 ed. Campina Grande: UFPB. p. 218, 1999.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Acidez, Alcalinidade, Aridez e Salinidade do Solo. In. BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **A Natureza e propriedades dos solos**. 3ed. Rio de Janeiro: Bookman, p.76-97. 2012.

DALIAKOPOULOS, I.N., TSANIS, I.K., KOUTROULIS, A., KOURGIALAS, N.N., VAROUCHAKIS, A.E., KARATZAS, G.P., RITSEMA, C.J. The threat of soil salinity: a European scale review. **Science of The Total Environment**, v.573, p.727-739, 2016.

DONAHUE, R.L.; MILLER, R.W.; SHICKLUNA, J.C. **Soils**: An introduction to soils and plant growth. New Jersey: Prentice-Hall, 1977. 626p.

FLORES, R. S. **Identificación de tierras degradadas por salinidad del suelo en los cultivos de caña de azúcar en Pomalca usando imágenes de satélite**. (Tese de Doutorado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2015.

HOLANDA, F. S. R.; MARCIANO, C. R.; PEDROTTI, A.; AGUIAR, J. F. de; SANTOS, V. P. Recuperação de áreas com problemas de salinização. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 210, p. 57-61. 2001.

KANZARI, S.; HACHICHA, M.; BOUHLILA, R; BATTLE-SALES, J. Characterization and modeling of water movement and salts transfer in a semi-arid region of Tunisia (Bou Hajla, Kairouan) – Salinization risk of soils and aquifers. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 86, p. 34-42, 2012.

LHISSOU, R.; EI, A.; CHOKMANI, K. Mapping soil salinity in irrigated land using optical. **Remote Sensing Data**, v. 3, p. 82-88. 2014.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A.T.; SANTOS, P. B.; Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. 2º ed. Fortaleza: INCTSal, p. 9-15. 2016.



RIBEIRO, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Orgs.) **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, p.12-19, 2010.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and álcali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. USDA, Agriculture Handbook 60.

SALVATI, L.; FERRARA, C. **The local-scale impact of soil salinization on the socioeconomic context: an exploratory analysis in Italy**. Catena, v. 127, p. 312-322, 2015.

WALTER, J.; LÜCK, E.; BAURIEGEL, A.; FACKLAM, M.; ZEITZ, J. Seasonal dynamics of soil salinity in peatlands: a geophysical approach. **Geoderma**, v.310, p.1-11, 2018.