

**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**

**Multivariate analysis to mensuration pH and electrical conductivity of soil cultivated
with beet in function of water blades and salinity levels**

**Análisis multivariada para medir pH y conductividad eléctrica de suelos cultivados con
remolacha en función de láminas de agua y niveles de salinidad**

Recebido: 10/12/2020 | Revisado: 17/12/2020 | Aceito: 18/12/2020 | Publicado: 24/12/2020

Ítala Carla de Amorim Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5444-6807>

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

E-mail: italacarlaamorim@gmail.com

Márcio Aurélio Lins dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5216-4443>

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

Email: mal.santo@arapiraca.ufal.br

Cinara Bernardo da Silva

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0666-4329>

Extensionista Emater, Brasil

E-mail: cinara_cbs@hotmail.com

Sílvia Helena Cardoso

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8038-2007>

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

E-mail: silvia.cardoso@arapiraca.ufal.br

Cícero Gomes dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2264-6772>

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

Email: cgomes@arapiraca.ufal.br

Sivaldo Soares Paulino

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5173-6462>

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

E-mail: sivaldo.paulino@arapiraca.ufal.br

Resumo

Objetivou-se analisar o pH e a condutividade elétrica da solução do solo em função de lâminas de água com níveis de sais após cultivo da beterraba. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com tratamento de quatro níveis de condutividade elétrica ($S_1= 0,12$; $S_2= 2,12$; $S_3= 4,12$ e $S_4= 6,12$ dS m^{-1}) e três lâminas de água: $L_1= 50$; $L_2= 100$ e $L_3= 150\%$ da ET_c (evapotranspiração da cultura). As análises foram realizadas no Laboratório de Química do Solo, Campus de Arapiraca, UFAL. Onde foi determinado o pH do solo em água e em cloreto de potássio: pH- H_2O (PHA) e pH-KCl (PHK), acidez trocável (ACT), acidez potencial (ACP) e a condutividade elétrica do solo (CE). Os resultados mostraram que o pH- H_2O aumentou linearmente com a lâmina de água e diminuiu com os níveis de salinidade, ocorrendo o inverso com o fator lâmina no pH-KCl, sendo que ambos tiveram decréscimo até o limiar de $3,12$ dS m^{-1} . As acidez trocável e potencial e condutividade elétrica da solução do solo tiveram crescimento com a diminuição da lâmina e aumento da salinidade. Na PCA, acidez trocável foi melhor em todos os níveis de salinidades e pH-KCl para o nível S_4 . No entanto, a lâmina L_3 de menor influencia nas variáveis dentro das salinidades. O agrupamento de Cluster, os gráficos de dispersão, as regiões de confiança, o histograma, a estimativa de densidade e as elipses mostraram correlação positiva da variável condutividade elétrica com o fator salinidade.

Palavras-chave: *Beta vulgaris* L.; Análises químicas; Fertilidade; Qualidade de água.

Abstract

The objective was to analyze the pH and electrical conductivity of the soil solution as a function of water blades and salt levels after beet cultivation. The experiment was conducted in a randomized block design, with treatment of four levels of electrical conductivity ($S_1= 0.12$, $S_2= 2.12$, $S_3= 4.12$ e $S_4= 6.12$ dS m^{-1}) and three water blades: $L_1= 50$; $L_2= 100$ e $L_3= 150\%$ da ET_c (culture evapotranspiration). The analyzes were performed at the Soil Chemistry Laboratory, Campus de Arapiraca, UFAL. Where soil pH in water and potassium chloride was determined: pH- H_2O (PHA) and pH-KCl (PHK), exchangeable acidity (ACT), potential (ACP) acidity and the electrical conductivity of the soil (CE). The results showed that the pH- H_2O increased linearly with the water blades and decreased with the levels of salinity, the opposite occurring with the factor blade in the pH-KCl, both of which had a description up to the threshold of 3.12 dS m^{-1} . The exchangeable and potential acidity and electrical conductivity of the soil solution grew with decreasing blades and increased salinity. In PCA, exchangeable acidity was better at all salinity levels and pH-KCl for the S_4 level.

Howeve, the L₃ blade with the lowest influence on the variables within the salinities. Cluster grouping, scatter plots, confidence regions, histogram, density estimate and ellipses showed a positive correlation between the electrical conductivity variable and the salinity fator.

Keywords: *Beta vulgaris* L.; Chemical analyzes; Fertility; Water quality.

Resumen

El objetivo fue analizar el pH y la conductividad eléctrica de la solución del suelo en función de las láminas de agua y los niveles de sal después del cultivo de la remolacha. El experimento se realizó en un diseño de bloques al azar, con tratamiento de cuatro niveles de conductividad eléctrica (S₁= 0,12; S₂= 2,12; S₃= 4,12 e S₄= 6,12 dS m⁻¹) y tres láminas de agua: L₁= 50; L₂= 100 e L₃= 150% da ETc (evapotranspiración de cultivo). Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Química de Suelos, Campus de Arapiraca, UFAL. Donde se determinó el pH del suelo en agua y cloruro de potássio: pH-H₂O (PHA) y pH-KCl (PHK), acidez intercambiable (ACT), acidez potencial (ACP) y la conductividad eléctrica del suelo (CE). Los resultados mostraron que el pH-H₂O aumentó linealmente con las láminas de agua y disminuyó con los niveles de salinidad, ocurriendo lo contrario con el factor lámina en el pH-KCl, ambos con descripción hasta el umbral de 3,12 dS m⁻¹. La acidez intercambiable y potencial y la conductividad eléctrica de la solución del suelo crecieron con la disminución de las láminas y el aumento de la salinidad. En PCA, la acidez intercambiable fue mejor en todos los niveles de salinidad y pH-KCl para el nivel S₄. Sin embargo, la lámina L₃ con menor influencia en las variables dentro de las salinidades. El agrupamiento de conglomerados, los diagramas de dispersión, las regiones de confianza, el histograma, la estimación de densidad y las elipses mostraron una correlación positiva entre la variable de conductividad eléctrica y el factor de salinidad.

Palabras clave: *Beta vulgaris* L.; Análisis químico; Fertilidade; Calidad del agua.

1. Introdução

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade quanto da qualidade da água, sendo esse último aspecto raramente levado em consideração. A grande quantidade de água requerida para a prática da irrigação, o decréscimo de sua disponibilidade e o alto custo da energia necessária à sua aplicação têm aumentado o interesse pela racionalização desse recurso, de forma a minimizar o seu uso (Azevedo, et al., 1991; Freitag, 2007). Já a qualidade de água refere-se às suas características e que o rendimento das culturas diminui quando o

teor de sais na solução do solo atinge níveis que não permitem que as culturas retirem água suficiente do solo, provocando, assim, estado de escassez de água (Ayers & Westcot, 1991).

Na região semiárida do Nordeste do Brasil, a água é um dos principais fatores limitantes da produção agropecuária. Desta forma, é de fundamental importância para a região o aproveitamento máximo desse recurso disponível para a agricultura. As águas subterrâneas, provenientes do embasamento cristalino desta região são escassas e com teor alto a muito alto de sais dissolvidos. Sob condições áridas, a irrigação de culturas com água de baixa qualidade pode levar ao acúmulo de certa quantidade de sais na planta, o que, provavelmente, afetará as relações hídricas (Cordeiro, et al., 2007).

Os sais solúveis mais encontrados em solos salinizados consistem, normalmente, de várias proporções de cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , de ânions Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e, às vezes, de K^+ , CO_3^{2-} e NO_3^- (Aquino, 2005). O problema da salinidade surge quando os sais se acumulam na zona radicular da planta em altas concentrações que ocasionam perdas na produção.

A escala de pH varia de 0 a 14. Em solos podem ser encontrados valores de 3 a 10, com variações mais comuns em solos brasileiros entre 4 a 7,5. Solos com pH abaixo de 7 são considerados ácidos; os com pH acima de 7 são alcalinos (Lopes, 1990). A acidez do solo é um dos fatores limitantes ao desenvolvimento das culturas.

Os solos do Nordeste brasileiros são, em geral, solos ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes necessários ao maior rendimento das lavouras. Portanto, uma prática, que se torna necessária, é a correção desta acidez criando condições melhores tanto na fertilidade do solo como nas plantas.

Dentre os métodos utilizados para avaliar as propriedades físico-químicas do solo, a determinação da condutividade elétrica (CE) é frequentemente utilizada para quantificar a concentração de sais solúveis no solo, ou seja, a salinidade. De acordo com a Sociedade Americana de Ciência de Solo (Richards, 1954), valores de condutividade elétrica, em extrato de saturação, maiores que $2,0 \text{ dS cm}^{-1}$ caracterizam solos salinos. Neste sentido, o crescimento e o desenvolvimento das plantas são diretamente afetados pela ocorrência de toxidez de alguns íons, desequilíbrios nutricionais e, principalmente, pelas dificuldades na absorção de água e nutrientes ocasionadas pelo aumento da pressão osmótica da solução do solo (Marschner, 2018).

Assim o trabalho teve o objetivo de mensurar o pH e a condutividade elétrica da solução do solo em função de diversas lâminas de água correlacionadas com níveis de sais após cultivo da beterraba.

2. Metodologia

O experimento foi realizado na área experimental do Grupo Irriga do Campus de Arapiraca da UFAL, no município de Arapiraca, AL, com as coordenadas geodésicas: 9° 45' 09" S, 36° 39' 40" W, altitude de 325 metros. Região Agreste Alagoano, transição entre a Zona da Mata e o Sertão Alagoano, com clima classificado como tipo 'As' tropical, de acordo com o critério de Köppen (1948). Segundo Xavier & Dornellas (2010) a estação chuvosa tem início no mês de maio e se estende até meados de agosto, possuindo uma precipitação pluvial média de 854,27 mm ano⁻¹. Sendo os meses de maio/julho os mais chuvosos e setembro/dezembro os mais secos. O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (Embrapa, 2018).

As amostras de solo foram oriundas da área experimental após o cultivo da cultura da beterraba, cultivar Early Wonder, por ser a mais produzida na região pelos pequenos produtores nos cinturões verde. O transplântio das plântulas de beterraba ocorreu 23 dias após a semeadura (APS), no dia 16 de dezembro de 2014, o espaçamento adotado foi de 0,25 x 0,30 m entre plantas e linhas, respectivamente (Silva, 2016).

As amostras de solo foram retiradas do experimento conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), o tratamento consistiu em um fatorial 4 x 3, sendo quatro níveis de condutividade elétrica (fator 1) e três lâmina de água (fator 2), totalizando com doze parcelas (1,00 m²) e três blocos. Os quatro níveis de salinidade expressos em termos de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa), que foram denominados de S₁, S₂, S₃ e S₄ que correspondiam: 0,12; 2,12; 4,12 e 6,12 dS m⁻¹, respectivamente, combinados com as três lâminas de água: L₁= 50; L₂= 100 e L₃= 150% da ET_c (evapotranspiração da cultura).

Os níveis de salinidade foram determinados a partir do limiar da cultura da beterraba 4,7 dS m⁻¹ (Dias et al., 2003). Os quatro níveis de salinidade foram obtidos através da água de abastecimento local (AL= 0,14 dS m⁻¹), água de poço (AP= 2,14 dS m⁻¹) e com incremento de sal (NaCl) na água de poço para aumento da CEa, da seguinte forma: S₁= 1,00*AL, S₂= 1,00*AP, S₃= 1,944*AP e S₄ = 2,887*AP. Já a ET_c para aplicação das lâminas de água foi determinada por meio de lisimetria de drenagem obtida pelo sistema SLIMCAP (Santos, et al., 2020). O método da pesquisa utilizado foi o quali-quantitativo, por meio de coleta e descrição de dados (Pereira, et al., 2018).

A preparação da solução salina foi realizada diariamente utilizando a relação entre condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e concentração (mg L⁻¹= 640*CE), extraída de Richards (1954). Multiplicou-se a condutividade desejada por 640 para obter a quantidade

de Cloreto de Sódio (NaCl) (mg L^{-1}) necessário para cada nível salino. Entretanto, para o cálculo, foi considerada a concentração de sais já existentes na água do abastecimento local, cerca de $89,6 \text{ mg L}^{-1}$ ($0,14 \text{ dS m}^{-1}$). Esses procedimentos foram realizados com a utilização de um condutivímetro portátil (Silva, 2016).

A colheita da cultura da beterraba ocorreu no dia 26 de janeiro de 2015, foram analisadas as três plantas centrais de cada parcela (Silva, 2016). Em seguida, as amostras de solo foram retiradas do local das três plantas centrais, observando a bordadura de 0,4 m, sendo cuidadosamente acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados. Posteriormente, essas amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 20,0 cm de diâmetro e malha de 2,0 mm.

As análises das amostras de solo foram realizadas no Laboratório de Química dos Solos (UFAL, Campus de Arapiraca), em que foram descritas pelas metodologias do Boletim Técnico, 106 (Camargo, et. al., 2009) e consistiram na mensuração do: pH- H_2O (PHA) e pH-KCl (PHK), da acidez trocável (ACT), da acidez potencial (ACP) e da condutividade elétrica (CE) da solução do solo.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e quando significativos realizou-se a análise de regressão e suas respectivas superfícies de resposta (gráficos persp.). Todas as análises e seus respectivos gráficos foram realizados utilizando o software estatístico R.

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise de variância das variáveis e fatores

A análise de variância da análise química do solo apresentou efeito significativo para as variáveis: pH- H_2O (PHA) para o fator lâmina; pH-KCl (PHK) para interação entre os fatores lâminas e salinidades; (ACP) para o fator salinidade e interação entre os fatores; acidez trocável (ACT) e condutividade elétrica (CE) para os dois fatores e suas respectivas interações. Em resumo, houve interação entre as lâminas de água e a salinidade para as variáveis analisadas, exceto para o pH determinado em água (Tabela 1). Todas as variáveis significativas foram representadas por meio de gráficos de superfície de resposta.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para pH em água (PHA), pH em KCl (PHK), acidez trocável (ACT), acidez potencial (ACP) e condutividade elétrica (CE).

FONTES DE VARIÇÃO	GL	VALORES DOS QUADRADOS MÉDIOS				
		PHA	PHK	ACT	ACP	CE
Lâmina (L)	2	0,45257*	0,107553 ^{ns}	0,0245***	0,084109 ^{ns}	166504,36***
Salinidade (S)	3	0,11252 ^{ns}	0,050810 ^{ns}	0,1542***	0,191420**	298847,88***
L x S	6	0,05542 ^{ns}	0,498138***	0,0314***	0,128632**	31737,99***
Blocos	2	0,64637	0,105003	0,00232	0,210927	143,36
Resíduos	22	0,11355	0,068466	0,00047	0,032901	459,18
CV(%)		5,10	4,37	3,88	9,96	9,24

*, ** e *** significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} não significativo.
 Fonte: Autores.

3.2 Superfícies de resposta das variáveis estudadas

Embora o pH em água tenha tido efeito significativo apenas para variável lâmina, a Figura 3A mostra que à medida que aumenta-se a lâmina, esta é linear crescente e a salinidade tem comportamento quadrático com pequena interação entre lâmina e salinidade. Já o pH em KCl (1,0 M) teve efeito significativo apenas para interação entre as variáveis L x S, demonstrando um comportamento irregular crescente linear para lâmina e quadrática para salinidade na superfície de resposta, com valores maiores para salinidade próxima a 6,14 dS m⁻¹ e 150% ETc (Figura 1B).

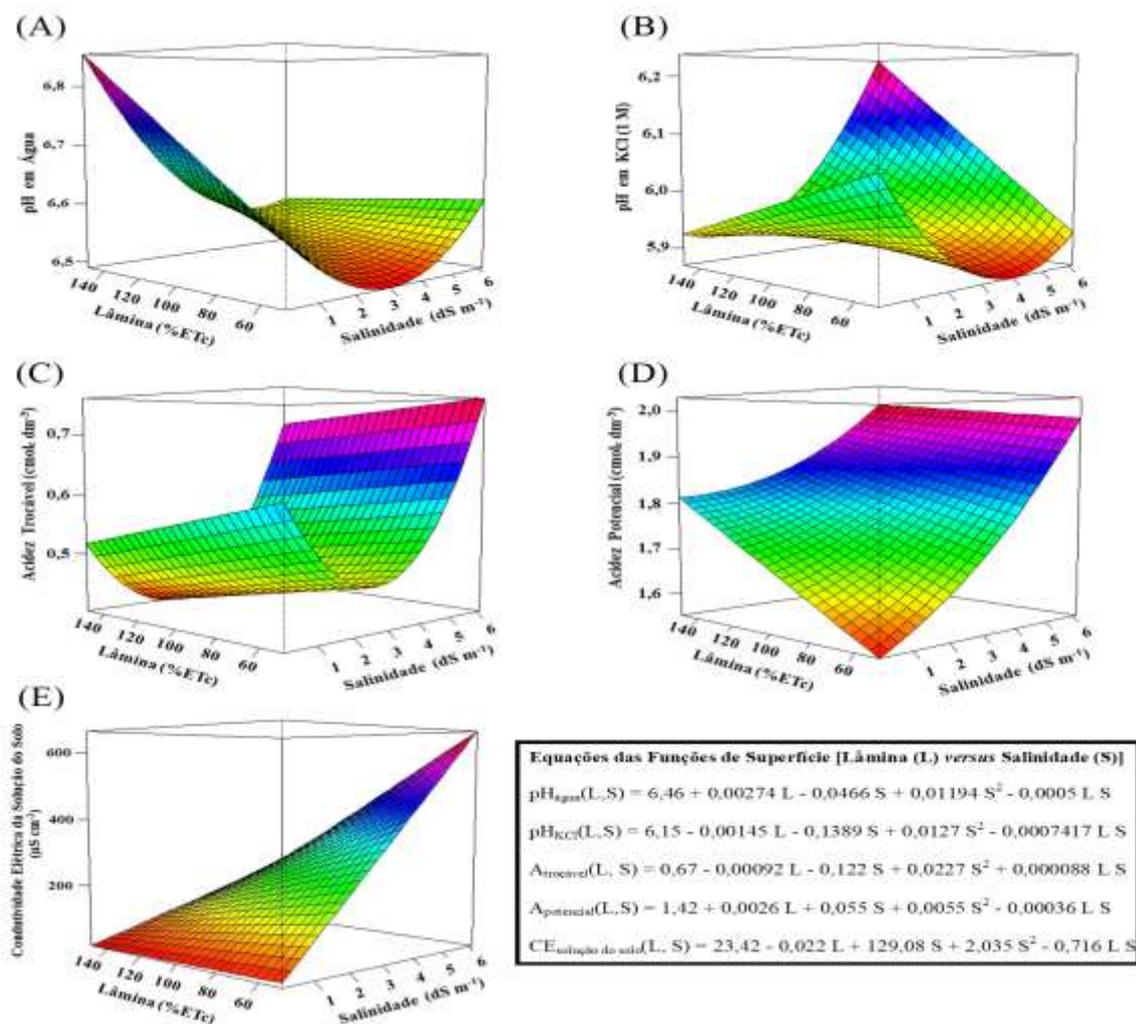
O pH do solo influencia muitas das atividades químicas e biológicas do solo, e, portanto, é um fator de grande importância. Como exemplo, a concentração de muitos íons dissolvidos na solução do solo, incluindo o alumínio, que tem sua concentração diminuída à medida que o pH do solo aumenta (Figura 1B).

Na Figura 1C, se pode observar o efeito significativo da acidez trocável com interação (função linear para lâmina e quadrática para salinidade). Já a acidez potencial teve efeito significativo apenas para salinidade e interação entre lâminas e níveis de salinidade (Figura 1D). No entanto, nas duas acidez ocorreram crescimento com a diminuição da lâmina e aumento da salinidade, embora o efeito quadrático da salinidade na acidez trocável difere da acidez potencial que foi linear. Se pode observar que na acidez trocável há uma concavidade para cima podendo ser determinado o seu ponto mínimo local que está no valor limiar da salinidade 3,25 dS m⁻¹, onde Silva (2016) obteve o melhor desenvolvimento da cultura da beterraba, com salinidade entre 2,12 e 4,12 dS m⁻¹ (correspondendo aos níveis de salinidade S₁ e S₂ deste trabalho).

A Figura 1E demonstra o efeito significativo de todas variáveis com interação entre elas (função linear para variável lâmina e quadrática para salinidade). Os valores maiores da CEs se encontram quando a lâmina está menor igual a 50% da ETc e a salinidade aproxima-se de 6,0 dS m⁻¹ se pode observar um efeito de mudanças no gráfico devido a interação ser linear, consequentemente todas variáveis influenciam diretamente na CEs.

Vários têm sido os métodos propostos para estimar a acidez potencial. Dentre eles se destacam o que usa o acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ em pH 7 como extrator (Vettori, 1969) e o SMP (Shoemaker, et al., 1961), cuja diferença procedimental, para a estimativa a que se destina, é a de que o acetato necessita de uma titulação colorimétrica, enquanto o SMP vale-se de titulação potenciométrica de um só ponto.

Figura 1. Superfícies de resposta e equações funcionais das variáveis: pH em água (A); pH em KCl, 1,0 M (B); acidez trocável (C); acidez potencial (D) e condutividade elétrica da solução do solo (D), em função dos fatores lâmina e salinidade da água.



Fonte: Amorim Neto (2018).

Dias, et al. (2015) observaram um decréscimo de 0,18 unidade de pH do solo irrigado com água de CE elevada em relação aos solos tratados com água de baixa salinidade, apresentando valores respectivos de 6,20 e 6,38. Garcia, et al. (2008) não observaram alterações significativas nos valores de pH do solo, determinado em água, com aumento da CE da água de irrigação.

Ebeling, et al. (2008) apontam que esses resultados são atribuídos ao efeito da solução de KCl, que, em contato com a amostra de terra, induz a troca de cátions devido à maior concentração dos íons K^+ , liberando íons H^+ e Al^{3+} para a solução, com consequente aumento da acidez.

Dias, et al. (2015) verificaram que a acidez potencial dos solos com água salina foi inferior à dos tratamentos com água de CE baixa, apresentando valores médios de 0,92 $cmol_c dm^{-3}$. Contrariamente, os resultados deste trabalho apontam um aumento nos teores de $H^+ + Al^{3+}$ com aumento da CE da água irrigação (Figuras 1C e 1D).

De igual modo, Silva, et al. (2012), utilizando lâminas com água residuária de bovinocultura de leite (ARB), com CE correspondente a 3,03 $dS m^{-1}$, verificaram que os solos, cujos tratamentos foram com lâminas com menor quantidade de ARB, apresentaram maiores valores de CEs em relação aos tratamentos com quantidade de ARB superior.

Silva (2016), estudando a relação lâmina vs salinidade na cultura da beterraba, observou um melhor desenvolvimento das variáveis analisadas com salinidade limiar de 3,25 $dS m^{-1}$. Análogo a este resultado, Silva, et al. (2013) relatam a redução da área foliar da cultivar Early Wonder à medida que aumentou-se o excesso de sal no solo.

Conforme Chen & Jiang (2010), os solutos dissolvidos na zona das raízes geram um potencial osmótico mais baixo, o que diminui o potencial total do solo, assim, o desenvolvimento das plantas é prejudicado incluindo a área foliar sendo necessária uma energia maior por parte da planta (ajuste osmótico) para gerar potenciais mais negativos que o encontrado nos solos para absorção de água.

3.2 Análise de componente principal (PCA) e de múltipla regressão

De acordo com Amorim Neto (2018) a análise de componente principal (PCA) é realizada com a finalidade de reduzir o número de variáveis para tornar os dados mais fáceis de analisar, escolhendo um número de componentes que explique boa porcentagem da variação dos dados.

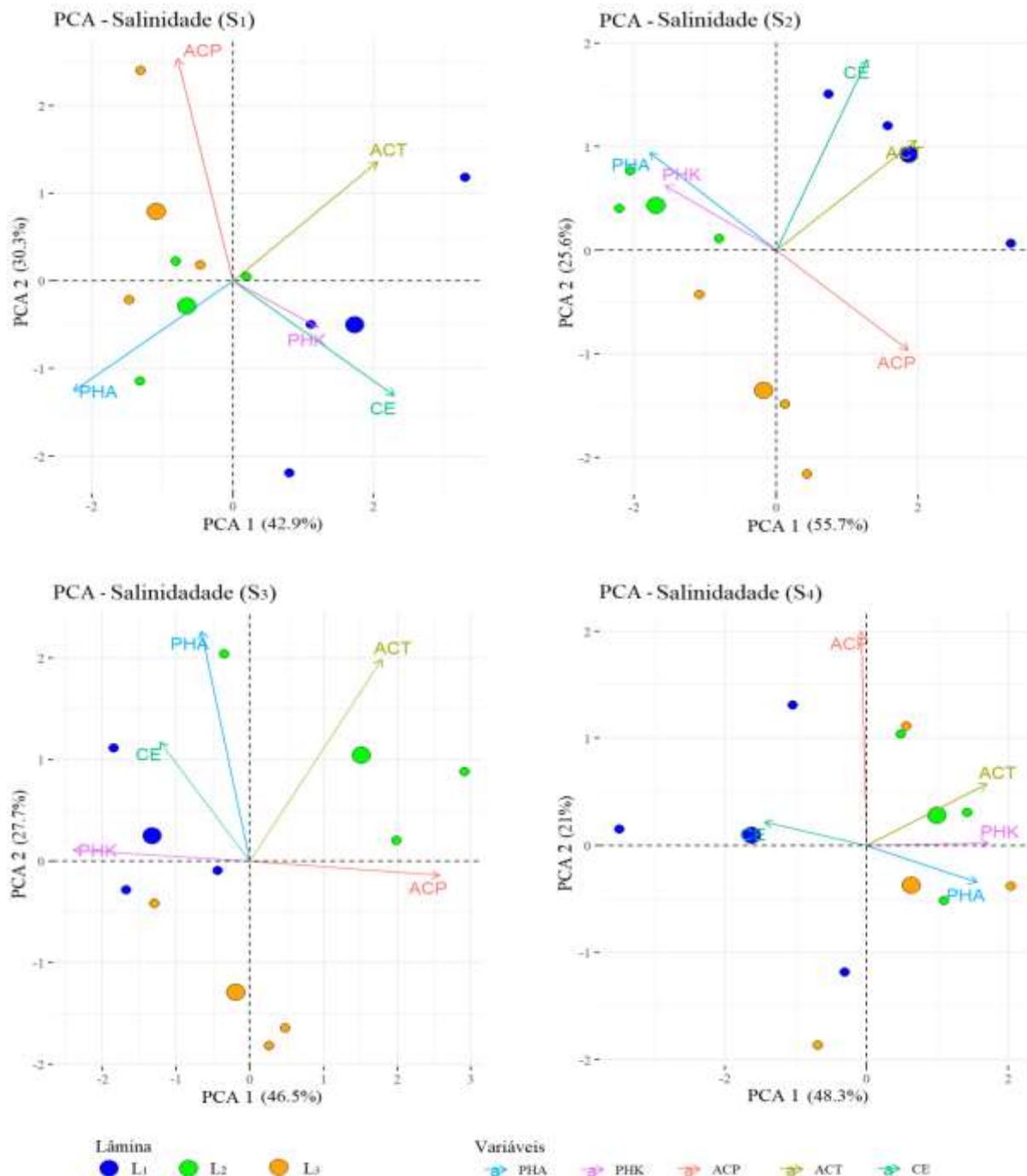
No estudo foi realizada a PCA das cinco variáveis pH-H₂O (PHA), pH-KCl (PKA) Acidez trocável (ACT), Acidez potencial (ACP) e condutividade elétrica (CE) da solução do solo, no qual mostram o comportamento das três lâminas (L₁, L₂ e L₃) nas quatro salinidade (S₁, S₂, S₃, e S₄). A utilização da PCA de cada salinidade permitiu reduzir o conjunto original das cinco variáveis em dois componentes principais (PCA1 e PCA2). Esses componentes podem ser explicados somando as duas primeiras proporções de variâncias de S₁= 73,2; S₂= 81,3; S₃= 74,2; e S₄= 69,3% (Figura 2). Amorim Neto (2020) afirma que a importância de um componente principal é avaliada por meio de sua contribuição, isto é, pela proporção de variância total explicada pelo componente.

Na Figura 2 a projeção espacial das variáveis com ordenação dos vetores de maiores cargas fatoriais positivas na dimensão 1 (PCA1) mostra a variável ACT para todas as salinidades e PHK para S₄. Já as maiores cargas fatoriais negativas na primeira dimensão para variáveis PHK e CE para S₁, ACP para S₂ e S₃ e PHA para S₄. Observa-se que na PCA 1 a lâmina L₁ foi mais representativas para S₁ e S₂ e a lâmina L₂ para S₃ e S₄. A lâmina L₃ foi a que menor influenciou, indicando que as variáveis não respondem a lâminas maiores que 100% da ETc.

A análise de componente principal mostrou que a variável ACT teve melhor representatividade para todas as salinidades (Figura 2), podendo-se afirmar que a salinidade do solo contribui negativamente, visto que a acidez trocável refere-se, basicamente, ao alumínio trocável que está ligado por força eletrostática à superfície das partículas do solo.

Os resultados corroboram com Federer (1993), onde a primeira variável canônica possui a maior variância, sendo definida como aquela de maior importância, uma vez que retém a maior parte da variação total dos dados. Em outras palavras, as n-variáveis originais geram, através de suas combinações lineares, n-componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidos em ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a componente principal 1 detém mais informação estatística que a componente principal 2, que por sua vez tem mais informação estatística que a componente principal 3 e assim por diante (Moita Neto & Moita, 1998).

Figura 2. Análise de componente principal das variáveis $\text{pH}_{\text{água}}$ (PHA), pH_{KCl} (PHK), acidez trocável (ACT), acidez potencial (ACP) e condutividade elétrica (CE) da solução do solo no fator lâmina de água (L_1 , L_2 e L_3) para cada salinidade da água (S_1 , S_2 , S_3 e S_4).

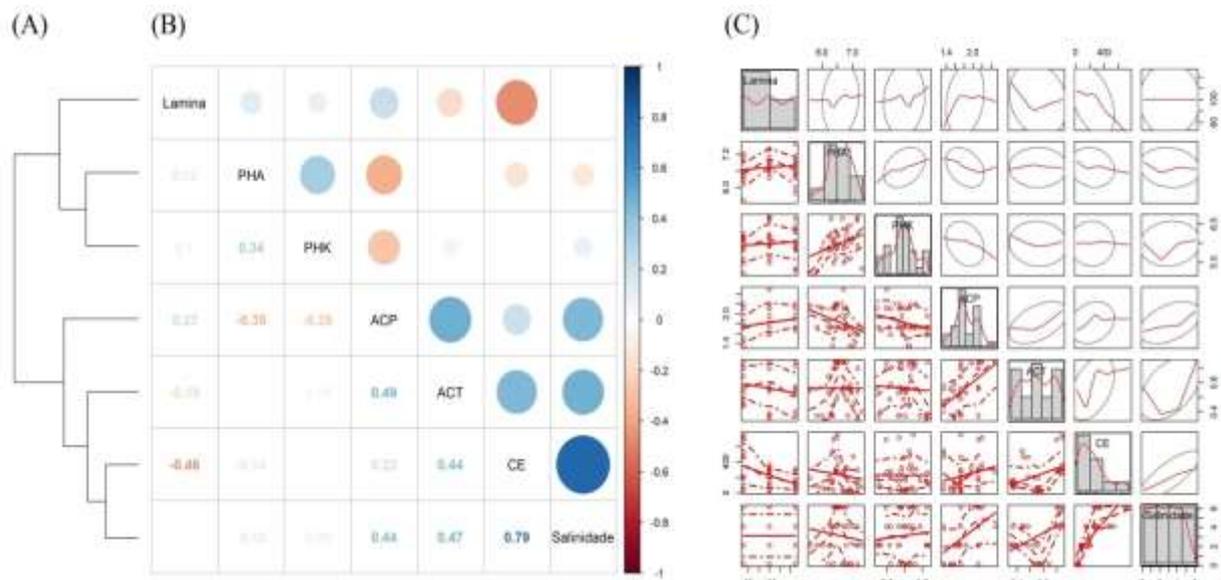


Fonte: Autores.

Na Figura 3 se pode analisar que a avaliação e a qualidade do ajuste para as variáveis PHA, PHK, ACT, ACP e CE, assim como os fatores lâminas e salinidade foram observados a correlação entre os valores por meio da análise hierárquica de Cluster, coeficiente de correlação, dispersão, regiões de confiança, histograma, estimativa de densidade, elipses.

A previsão das métricas de correlação demonstram que o agrupamento de Cluster indica que a melhor correlação e maior similaridade encontrada foi entre a variável CE e o fator salinidade ($r= 0,79$), todas as demais tiveram correlação menor que 50% (Figuras 3A e 3B). Os gráficos de dispersão, as regiões de confiança, o histograma, a estimativa de densidade e as elipses afirmam que os valores observados tem forte correlação positiva entre os valores das variáveis estudadas, confirmando o agrupamento de Cluster (Figuras 3C, 3D e 3E).

Figura 3. Análise de regressão multivariada em função simultânea dos fatores lâmina e salinidade da água: agrupamento de Cluster (A); coeficiente de correlação (B); correlação, regressão e histograma e intervalo de confiança (C). E em função insolada dos fatores: fator lâmina na salinidade da água (C) e fator salinidade na lâmina da água (D).



Fonte: Autores.

A análise de cluster, também conhecida como análise de conglomerados, classificação ou agrupamento, é uma técnica de análise multivariada que tem como propósito agrupar os elementos selecionados em grupos com características similares entre si de maneira que os elementos em grupos diferentes sejam heterogêneos em relação a estas mesmas características (Moita Neto & Moita, 1998). O parâmetro usado neste processo é a medida de distância entre as amostras. Estas distâncias, quando visualizadas através de diagramas conhecidos por dendrogramas, indicam as amostras mais semelhantes entre si, ou seja, quanto menor a distância entre os pontos, maior será a semelhança entre as mesmas (Amorim Neto, 2020).

4. Conclusões

O pH-H₂O aumentou linearmente com a lâmina de água e diminuiu com os níveis de salinidade, ocorrendo o inverso com o fator lâmina no pH-KCl, sendo que ambos tiveram decréscimo até o limiar de 3,12 dS m⁻¹;

As acidez trocável e potencial e condutividade elétrica da solução do solo tiveram crescimento com a diminuição da lâmina e aumento da salinidade;

Na PCA, acidez trocável foi melhor em todos os níveis de salinidades e pH-KCl para o nível S₄. Sendo, a lâmina L₃ de menor influência nas variáveis dentro das salinidades;

O agrupamento de Cluster, os gráficos de dispersão, as regiões de confiança, o histograma, a estimativa de densidade e as elipses mostraram correlação positiva da variável condutividade elétrica com o fator salinidade.

Como sugestão para trabalhos futuros, nos moldes desta pesquisa, correlacionar outras análises químicas deste solo em resposta a lâminas de irrigação e níveis salinos.

Referências

Aquino, A. J. S. (2005). Avaliação do crescimento e dos mecanismos de tolerância à salinidade em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas salinas. *Dissertação de Mestrado em Agronomia - Irrigação e Drenagem*. UFC, Fortaleza. 89p.

Amorim Neto, I. C. (2018). Mensuração da condutividade elétrica, do pH e da acidez do solo em cultivo da beterraba irrigada com lâminas e níveis de sais. *Trabalho de Conclusão de Curso - Licenciatura em Química*, UFAL, Campus de Arapiraca, 45p.

Amorim Neto, I. C. (2020). Influência de humina enriquecida com cálcio e magnésio e lâminas de água em dois tipos de solo cultivados com alface. *Dissertação de Mestrado em Agricultura e Ambiente*. PPGAA, UFAL, Arapiraca, 82p.

Azevedo, H. J., Bernardo, S., Ramos, M. M., Sediya, G. C., & Cecon, P.R. (1999). Influência de elementos do clima e da pressão de operação do aspersor no desperdício de água, em um sistema de irrigação por alta pressão. *Engenharia Agrícola*, 18(4), p.53-62, , Jaboticabal.

Ayres, R. S., & Westcot, D. W. (1991). A qualidade da água na agricultura. Traduzido por H.R. GheyI, J.F. de Medeiros, F.A.V. Damasceno, *FAO: Estudos Irrigação e Drenagem*, 29, Campina Grande: UFPB/FAO, 218 p.

Ebeling, A. G., Anjos, L. H. C. dos, Perez, D. V., Pereira, M. G., & Valladares, G. S. (2008). Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. *Bragantia*, 67(2), 429-439. Doi: 10.1590/S0006-87052008000200019.

Camargo, O. A. de, Moniz, A.C., Jorge J. A., & Valadares, J. M. A. S. (2009). Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas. *Boletim técnico*, 106, Instituto Agronômico, Campinas, 77 p.

Chen, H., & Jiang, J. (2010). Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. *Environmental Reviews*, 18, 309-319. Doi: 10.1139/A10-014.

Cordeiro, G. G., Resende, G. M. de, Pereira, J. R., & Costa, N. D. (1999). Utilização de água salina e condicionador de solo na produção de beterraba no semi-árido brasileiro. *Horticultura Brasileira*, 17(1), 39-41. Vitória da Conquista. Doi: 10.1590/S0102-05361999000100010.

Dias, J. T., Freire, J. L. de O., Cavalcante, L. F., Nascimento E. S. do, Dantas, L. A., & Dantas, M. M. de M. (2015). Atributos químicos do solo irrigado com águas salinas e uso de mitigadores do estresse salino no maracujazeiro amarelo. *Revista Principia*, 27, 19-29, João Pessoa.

Embrapa (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos*. (5a ed.), Brasília.

Federer, W. T. (1993). Statistical design and analysis for intercropping experiments. New York: *Springer-Verlag*. 298 p.

Freitag, A. S. (2007). Frequências de irrigação para *Eucalyptus Grandis* e *Pinus Elliotti* em viveiro. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola*. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria- RS, 60p.

Garcia, G. O., Martins Filho, S., Reis, E. F. dos, Moraes, W. B., & Nazário, A. de A. (2008). Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. *Revista Ciência Agronômica*, 39(1), 7-18, Fortaleza.

Koppen, W. (1948). *Climatologia: com um estudo de los climas de la tierra*. Publications In: Climatology. Laboratory of Climatology, New Gersey.

Lopes, A. S. (1990). A Acidez do solo e calagem. (3a ed.), *Boletim Técnico, 1*. São Paulo, ANDA 22 p.

Marschner, H. (2018). Mineral nutrition of higher plants. (3a ed.), *Editora Petra Marschner's*, 672p.

Moita Neto, J. M., & Moita, G. C. (1998). Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Química nova*, 21(4), 467-469.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M, Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*, UFSM, NTE, Santa Maria.

Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soil*. Washington, 78(2), p.160.

Shoemaker, H. E., et al. (1961). Buffer Methods for Determining Lime Requirement of Soils With Appreciable Amounts of Extractable Aluminum 1. *Soil Science Society of America Journal*, 25(4), 274-277.

Silva, A. O., Klar, A. E., Silva, Ê. F. F. e, Tanaka, A. A. S. Junior, J. F. (2013). Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(11), 1143-1151, Campina Grande.

Silva, C. B. Avaliação da cultura da beterraba irrigada sob diferentes lâminas de água e níveis salino. Arapiraca, 2016. *Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Agronomia*, Campus de Arapiraca, UFAL, Campus de Arapiraca, 51p.

Silva, J. B. G., Martinez, M. A., Pires, C. S., Andrade, I. P. de S., & Silva, G. T. da (2012). Avaliação da condutividade elétrica e pH da solução do solo em uma área fertirrigada com água residuária de bovinocultura de leite. *Irriga*, 1(1), 250-263, Botucatu. Doi: 10.15809/irriga.2012v1n01p250.

Vettori, L. (1969). *Métodos de análise de solo*. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, Ministério da Agricultura.

Xavier, R. A., & Dornellas, P. C. (2010). Análise do comportamento das chuvas no município de Arapiraca, região Agreste de Alagoas. *Geografia*, 14(2), 49-64, Londrina.

Porcentagem de contribuição por autor no manuscrito

Ítala Carla de Amorim Neto – 16,66%

Márcio Aurélio Lins dos Santos - 16,66%

Cinara Bernardo da Silva - 16,66%

Sílvia Helena Cardoso - 16,66%

Cícero Gomes dos Santos - 16,66%

Sivaldo Soares Paulino - 16,66%