

**Análise multivariada no desempenho da alface em respostas as lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água em dois ambientes de cultivo**

**Multivariate analysis on lettuce performance in response to irrigation blades and water salinity levels in two growing environments**

**Análisis multivariado del rendimiento de la lechuga en respuesta a las laminas de riego y los niveles de salinidad del agua en dos entornos de cultivo**

Recebido: 16/11/2020 | Revisado: 18/11/2020 | Aceito: 24/11/2020 | Publicado: 29/11/2020

**Márcio Aurélio Lins dos Santos**

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

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

E-mail: [mal.santo@arapiraca.ufal.br](mailto: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](mailto:cinara_cbs@hotmail.com)

**Valdevan Rosendo dos Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5854-1369>

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

E-mail: [valdevan@arapiraca.ufal.br](mailto:valdevan@arapiraca.ufal.br)

**Cícero Gomes dos Santos**

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

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

E-mail: [cgomes@arapiraca.ufal.br](mailto:cgomes@arapiraca.ufal.br)

**Daniella Pereira dos Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4450-0141>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: [daniellapsantos@hotmail.com](mailto:daniellapsantos@hotmail.com)

**Resumo**

Objetivou-se analisar o crescimento e rendimento da alface sob o efeito da interação de lâmina e da salinidade da água em dois ambientes de cultivo. O experimento foi conduzido

em campo e ambiente protegido na UFAL. O delineamento experimental para ambos os ambientes foi em blocos ao acaso, com esquema fatorial 5x5, com 5 repetições, com 25 tratamentos. Os tratamentos consistiram na interação de 5 lâminas de irrigação e 5 níveis de salinidade da água. Foram analisadas e processadas 18 variáveis utilizando o software estatístico R. Os resultados mostraram que a análise de componente principal apresentaram as lâminas com 100 e 75% ETc sendo as melhores em ambos ambientes. A salinidade teve maior variação em campo e a lâmina no protegido. O nível de salinidade da água S<sub>4</sub> (dois ambientes) interferiu diretamente no desempenho das 18 variáveis. A análise de componente principal teve melhor desempenho das variáveis na interação L<sub>3</sub>S<sub>3</sub> para o campo e L<sub>1</sub>S<sub>1</sub> para protegido. No campo, as interações L<sub>1</sub>S<sub>4</sub> e L<sub>1</sub>S<sub>5</sub> obtiveram menores similaridades e L<sub>4</sub>S<sub>2</sub> e L<sub>5</sub>S<sub>5</sub> as maiores, ocorrendo o inverso no protegido com dissimilaridade entre as L<sub>2</sub>S<sub>1</sub> e L<sub>3</sub>S<sub>3</sub> e similaridade entre as L<sub>2</sub>S<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. A análise hierárquica de Cluster mostrou que a MFF e o DC são as variáveis de maiores importância entre as demais. Para ambos ambientes, a alface respondeu melhor as maiores lâminas e menores salinidades para variáveis biométricas seguidas das variáveis de produtividade e as menores lâminas e salinidades abaixo do limiar da cultura para o índice de clorofila.

**Palavras-chave:** *Lactuca sativa* L.; Análise de componente principal; Análise hierárquica de cluster.

### Abstract

The objective was to analyze the growth and yield of lettuce under the effect of the interaction of the blade and of water salinity in both cultivation environments. The experiment was conducted in the field and protected environment at UFAL. The experimental design for both environments was in randomized blocks, with a 5x5 factorial scheme, with 5 replications, with 25 treatments and 125 experimental units. The treatments consisted of the interaction of 5 irrigation depths and 5 water salinity levels. Were analyzed and processed 18 variables and using the statistical software R. The results showed that the principal component analysis presented blades with 100 and 75% ETc being the best in both environments. Salinity had greater variation in the field and the blade in the protected. The water salinity level S<sub>4</sub> (in both environments) directly interfered in the performance of the 18 variables. The main component analysis had better performance of the variables in the interaction L<sub>3</sub>S<sub>3</sub> for the field and L<sub>1</sub>S<sub>1</sub> for protected. In the field, the interactions L<sub>1</sub>S<sub>4</sub> and L<sub>1</sub>S<sub>5</sub> obtained less similarities and L<sub>4</sub>S<sub>2</sub> and L<sub>5</sub>S<sub>5</sub> the greater, occurring the opposite in the protected with dissimilarity between L<sub>2</sub>S<sub>1</sub> and L<sub>3</sub>S<sub>3</sub> and similarity between L<sub>2</sub>S<sub>1</sub> and L<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. The Cluster hierarchical analysis showed that

MFF and DC are the most important variables among the others. For both environments, lettuce responded better with the highest blades and lowest levels salinities for biometric variables followed by the productivity variables and the lowest blades and salinity below the culture threshold for the chlorophyll index.

**Keywords:** *Lactuca sativa* L.; Principal component analysis, Cluster hierarchical analysis.

## Resumen

The objective was to analyze the growth and yield of lettuce under the effect of the interaction of the blade and of water salinity in both cultivation environments. The experiment was conducted in the field and protected environment at UFAL. The experimental design for both environments was in randomized blocks, with a 5x5 factorial scheme, with 5 replications, with 25 treatments and 125 experimental units. The treatments consisted of the interaction of 5 irrigation depths and 5 water salinity levels. Were analyzed and processed 18 variables and using the statistical software R. The results showed that the principal component analysis apresented blades with 100 and 75% ETC being the best in both environments. Salinity had greater variation in the field and the blade in the protected. The water salinity level S<sub>4</sub> (in both environments) directly interfered in the performance of the 18 variables. The main component analysis had better performance of the variables in the interaction L<sub>3</sub>S<sub>3</sub> for the field and L<sub>1</sub>S<sub>1</sub> for protected. In the field, the interactions L<sub>1</sub>S<sub>4</sub> and L<sub>1</sub>S<sub>5</sub> obtained less similarities and L<sub>4</sub>S<sub>2</sub> and L<sub>5</sub>S<sub>5</sub> the greater, occurring the opposite in the protected with dissimilarity between L<sub>2</sub>S<sub>1</sub> and L<sub>3</sub>S<sub>3</sub> and similarity between L<sub>2</sub>S<sub>1</sub> and L<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. The Cluster hierarchical analysis showed that MFF and DC are the most important variables among the others. For both environments, lettuce responded better with the highest blades and lowest levels salinities for biometric variables followed by the productivity variables and the lowest blades and salinity below the culture threshold for the chlorophyll index.

**Palabras clave:** *Lactuca sativa* L.; Análisis de componente principal; Análisis jerárquica de Cluster.

## 1. Introdução

A alface, assim como as demais culturas, necessita da quantidade de água ideal para atingir seu maior desenvolvimento, porém a água ainda é utilizada de forma exagerada causando danos na cultura. Quando se trata da importância da irrigação existe uma preocupação da crise hídrica, sendo desenvolvido vertentes de pesquisas que buscam analisar

as consequências na agricultura e para a população (Putti, 2015). Assim, técnicas para a otimização da eficiência da irrigação vêm sendo pesquisadas para reduzir o seu desperdício (Levidow, et al., 2014; Snyder, et al., 2015).

Um dos maiores desafios para a agricultura na atualidade é o de desenvolver sistemas agrícolas sustentáveis que possam produzir alimentos e fibras em quantidades e qualidades suficientes, sem afetar os recursos do solo e do ambiente (Sousa, et al, 2014). Mas, existe um fator preocupante com relação à água utilizada na irrigação na região Nordeste, por possuir qualidade inferior, a salinidade destas águas pode afetar de maneira negativa as plantas e o solo da área utilizada para o plantio. A salinização dos solos pode conduzir a desertificação da área que antes era agricultável, causando prejuízos. É um fenômeno que cresce em todo o mundo afetando milhões de hectares de solos em todas as áreas em que as práticas agrícolas são inadequadas (Silva, 2014).

Santos et al., (2020) apresentam os melhores resultados do cultivo da alface cultivado em campo e ambiente protegido para as variáveis altura de planta, diâmetro da copa, índice de área foliar, índice de número de folhas, matéria fresca tota, matéria seca total e produtividade da alface obtidos para lâminas iguais ou superiores a 100% da ETC e a salinidade entre 0,12 e 1,12 mS cm<sup>-1</sup>, podendo ser usado água com salinidade de aproximadamente 1,0 mS cm<sup>-1</sup>. Para a produtividade da alface, o cultivo em campo obteve os melhores resultados atingindo um valor de 13,52 t ha<sup>-1</sup>.

A maioria dos cientistas toma decisões com base na análise dos dados obtidos de trabalhos de pesquisa. Quase todos os dados da ciência são abundantes e, por si só, são de pouca ajuda, a menos que sejam resumidos por alguns métodos e interpretações apropriadas tenham sido feitas. O conjunto de dados pode conter tantas observações que se destacam e cuja presença nos dados não pode ser justificada por qualquer explicação simples. A técnica estatística multivariada é uma forma de estatística que engloba observações simultâneas e análise de mais de uma variável estatística, no qual poderá ser esclarecida como os métodos estatísticos multivariados, como a análise de regressão múltipla, análise de componentes (ACP), análise de agrupamento, entre outros, no qual podem ser usados como métodos para explicar as relações entre diferentes variáveis e tomar decisões para trabalhos relacionados à agricultura e à ciência das plantas (Saed-Moucheshi, et al., 2013).

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica multivariada de modelagem da estrutura de covariância. A técnica foi inicialmente descrita por Pearson (1901) e uma descrição de métodos computacionais práticos veio muito mais tarde com Hotelling (1933, 1936) que usou com o propósito determinado de analisar as estruturas de correlação. A ACP é

uma técnica estatística de análise multivariada que transforma linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, num conjunto substancialmente menor de variáveis não correlacionadas que contém a maior parte da informação do conjunto original (Johnson; Wichern, 1998 & Hongyu, et al, 2015). A principal vantagem da análise de componentes principais é reduzir o número de dimensões sem muita perda de informações (Everitt; Dunn, 1992).

O método consiste em encontrar os autovetores da matriz de covariância dos dados estudados. O auto vetor com maior auto valor é a componente principal. Os dados originais são projetados na base dos autovetores, de maneira que ficam descorrelacionados. A dimensão é reduzida escolhendo-se para análise as dimensões que correspondem aos autovetores com maiores autovalores. O auto vetor com maior auto valor explica a maior porcentagem de variância da amostra (Andrade, et al, 2014).

Clustering é o processo de agrupar ou fazer conjuntos de tipo semelhante ou quase semelhante de objetos físico ou abstrato. Ou seja, o processo de agrupamento de dados em classes, em que os objetos dentro do mesmo cluster têm maior grau de semelhança em comparação com o outro, mas são muitos diferentes dos objetos em diferentes clusters (Han, et. al., 2000).

Os grupos assim formados são conhecidos como clusters. Várias ferramentas também foram evoluíu para avaliar, justificar, atualizar e modificar os sistemas especialistas agrícolas existentes, tornando-os mais útil para os fins pretendidos. O papel atual revê o uso da análise de cluster como uma ferramenta para melhorar gestão agrícola, prevendo e sugerindo soluções para seus problemas (Tiwari; Misra, 2011).

Objetivou-se analisar o crescimento e rendimento da alface cultivada em campo e ambiente protegido sob o efeito das interações dos fatores lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água utilizando análises multivariadas por meio de componentes principais e de agrupamento de Cluster.

## **2. Metodologia**

O experimento foi realizado em campo e ambiente protegido na área experimental da Universidade Federal de Alagoas, Campus de Arapiraca, com coordenadas geodésicas 09° 45' 09" S e 36° 39' 40" W, altitude de 325 metros. O clima é classificado como do tipo 'As' tropical com estação seca de Verão, pelo critério de classificação de Köppen (1948). A estação chuvosa inicia-se no mês de Abril e se estende até o início de Agosto, com

precipitação pluvial média de 854,27 mm ano<sup>-1</sup>, já a estação seca vai de Setembro a Março, sendo Dezembro o mês mais seco do ano (Xavier; Dornellas, 2010).

Escolheu-se, em ambos experimentos (campo e protegido), a alface cultivar lisa (*Lactuca sativa* L.), por ser a mais produzida na região. As mudas foram adquiridas de produtores de viveiros comerciais. O transplântio foi realizado no dia 09/05/2018, colocando-se uma planta por recipiente (ambiente protegido) e dia 10/05/2018, transplantando um total de 1875 mudas (campo), mas vale salientar que apenas as três centrais de cada parcela foram avaliadas, totalizando 375 plantas, sendo as demais bordaduras. A adubação foi baseada nas recomendações da 5ª aproximação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais indicado para a cultura da alface.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC), com 5 repetições, em esquema fatorial 5x5, possuindo 25 tratamentos, totalizando 125 unidades experimentais. Os tratamentos utilizados foram: 5 lâminas de irrigação ( $L_1= 50$ ;  $L_2= 75$ ;  $L_3= 100$ ;  $L_4= 125$  e  $L_5= 150\%$  baseado na Evapotranspiração da cultura, ETc), determinada utilizando o sistema SLIMCAP (Santos, et al., 2020), este sistema faz uso de 5 lisímetros de drenagem instalados na área experimental. Já a salinidade consistiu de 5 níveis de salinidade da água sendo ( $S_1= 0,12$ ;  $S_2= 1,12$ ;  $S_3= 2,12$ ;  $S_4= 3,12$  e  $S_5= 4,12$  mS cm<sup>-1</sup>). Diariamente ocorreu a preparação da água salina, utilizando um condutivímetro portátil, para atingir o nível de sais desejado, utilizou-se a relação entre condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e concentração (mg L<sup>-1</sup>= 640\*CE), que foi extraída da metodologia proposta por Richards et al. (1954). Vale salientar, que foi considerada no cálculo a concentração de sais já existentes na água do poço (2,14 mS cm<sup>-1</sup>).

No experimento realizado em campo foram construídos vinte e cinco canteiros com dimensões de 5,00 x 1,00 de comprimento e largura, respectivamente, com altura de 0,25 m, espaçados a 0,30m entre canteiros. Utilizou-se o gotejamento, as fitas possuíam vazão de 1,3 L h<sup>-1</sup>. Para o projeto existente em ambiente protegido utilizou-se 125 recipientes plástico com capacidade para 4,0 litros. O sistema de irrigação foi o localizado por gotejamento, com fitas gotejadoras possuindo vazão de 2,0 L h<sup>-1</sup>, distribuído um gotejador por recipiente.

Para o controle do tempo de irrigação com a água salina para os dois experimentos realizou-se o coeficiente de uniformidade. Após isso se obteve um controle do tempo da água aplicada, em seguida foi determinado à vazão do sistema de irrigação e por fim, o cálculo de irrigação utilizando o sistema SLIMCAP.

Foram avaliadas 18 variáveis para ambos os ambientes estudados, são elas: área foliar (AF), número de folhas (NF), altura de planta (AP), diâmetro da copa (DC), tamanho das

raízes (TR), eficiência do uso da água na área foliar (EAF), eficiência do uso da água no número de folhas (ENF), eficiência do uso da água no diâmetro do dossel (EDC), matéria fresca das folhas (MFF), matéria seca das folhas (MSF), matéria seca total (MST), teor de água nas folhas (TAF), teor de água na cultura (TAC), índice de clorofila (SPAD), clorofila *a* (Ca), clorofila *b* (Cb), clorofila *a+b* (Cab) e Carotenoides (Cx).

O método da pesquisa utilizado foi o quali-quantitativo, por meio de coleta e descrição de dados (Pereira, et al., 2018). As análises das variáveis citadas acima foram processadas utilizando o software estatístico R, gerando análise multivariada: análise de componentes principais (ACP), análise de cluster hierárquico em dendograma, análise de performance cluster e seus respectivos gráficos.

Para análise multivariada ACP, as variáveis foram correlacionadas com ACP1, ACP2 e ACP3, suas contribuições nas variáveis foram contabilizadas na variabilidade dos três primeiros componentes principais, em porcentagem, bem como dos seus respectivos três primeiros autovalores. Os gráficos das ACP's foram do tipo elipsóide (3D) e de pontos dispersos (3D) para os três primeiros componentes principais, de representação tridimensional de dados multivariados, analisados a partir das correlações das lâminas de irrigação em cada nível de salinidade da água nas variáveis estudadas. Foi determinado o coeficiente de silhueta (Si) que mede a similaridade de uma variável as outras variáveis em seu próprio cluster do que aquela do cluster vizinho. Os valores de Si variam de 1 a -1.

Para análise multivariada hierárquica de clusters foi definida pela comparação visual de dendrogramas em que ramos distintos são marcados com diferentes cores e com avaliação da tendência de armazenamento dos dados e da decisão sobre o número do cluster examinando o em cluster e validando os resultados. Para validar seus resultados de agrupamento hierárquico, foi definido o número de 5 clusters com base nos resultados da análise para performance cluster.

### **3. Resultados e Discussão**

#### **3.1 Análise de Componentes Principais (ACP)**

As análises de componentes principais (ACP) das variáveis estudadas no desempenho agrônomico da cultura da alface mostram o comportamento de cada lâmina de irrigação (L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub> e L<sub>5</sub>) em cada nível de salinidade da água (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub>) para ambos os ambientes (campo e protegido). Analisando as Figuras observaram-se três dimensões para

análise de componentes principais (ACP1, ACP2 e ACP3), essas dimensões podem ser explicadas pelos três primeiros autovalores juntos e da soma das três primeiras proporções de variâncias (em percentuais) para ambos ambientes: campo e protegido (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores dos três primeiros autovalores e das três proporções sucessivas de variações das dimensões para análise de componentes principais (ACP1, ACP2 e ACP3) para cada nível de salinidade em ambiente de campo e protegido.

Salinidade	Autovalores					
	Campo			Protegido		
	ACP1	ACP2	ACP3	ACP1	ACP2	ACP3
$S_1$	6,58	3,95	2,72	6,45	4,30	2,73
$S_2$	6,15	4,44	2,51	7,47	3,86	2,42
$S_3$	5,80	3,99	2,81	8,50	2,86	2,38
$S_4$	5,19	3,87	2,38	8,04	2,37	1,41
$S_5$	6,83	3,73	2,46	6,04	3,84	3,38
Proporções de variâncias (%)						
	ACP1	ACP2	ACP3	ACP1	ACP2	ACP3
$S_1$	36,54	21,93	15,11	38,84	23,91	15,15
$S_2$	34,17	24,68	13,97	41,49	21,46	13,47
$S_3$	32,25	22,19	15,60	47,24	15,88	13,20
$S_4$	28,83	21,48	15,32	44,66	22,72	13,17
$S_5$	37,92	20,75	13,65	33,54	21,35	18,80

Fonte: Autores.

A quantidade de variação retida por cada componente principal medida pelo primeiro autovalor e pela primeira proporção de variância para os valores em ambiente de campo teve desvios-padrão iguais a 0,65 e 3,59, com maior salinidade na  $S_5$  e menor na  $S_4$ . Já em ambiente protegido os valores de desvios-padrão foram de 1,04 (autovalor) e 5,31 (proporção de variância), sendo o  $S_3$  o maior e  $S_1$  o menor (Tabela 1).

As análises de componentes principais (ACP) das variáveis estudadas mostram o comportamento de cada lâmina de irrigação ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$  e  $L_5$ ) na salinidade da água de 0,12 mS  $\text{cm}^{-1}$  para ambos os ambientes: campo e protegido. Essas dimensões podem ser explicadas pelos três primeiros autovalores juntos de 13,25 e 13,48 e para soma das três primeiras proporções de variância com os percentuais de 73,58 e 77,90% para os ambientes campo e protegido, respectivamente (Tabela 1).

Para salinidade de água  $S_1$  as 18 variáveis estudadas por meio das análises de componentes principais (ACP1, ACP2 e ACP3) tiveram como melhor opção de irrigação a lâmina  $L_2$  seguida da  $L_1$  para ambos os ambientes (campo e protegido). A lâmina de irrigação

não recomendada foi a L<sub>3</sub> para o ambiente de campo e L<sub>4</sub> para o protegido. Observando o comportamento das lâminas de irrigação na variabilidade das variáveis, a L<sub>3</sub> em ambiente protegido teve uma elipsóide bastante pequena e pontos próximos, indicando maior confiabilidade em sua variabilidade entre as 18 variáveis estudadas. Já as lâminas L<sub>3</sub> e L<sub>5</sub> (campo) e L<sub>4</sub> e L<sub>5</sub> (protegido) tiveram uma elipse maior e pontos dispersos indicando assim menor intervalo de confiança (Figuras 1A; 1B; 2A e 2B).

O comportamento de cada lâmina de irrigação (L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub> e L<sub>5</sub>) na salinidade de 1,12 mS cm<sup>-1</sup> para ambos os ambientes (campo e protegido). Na Tabela 1 estão os valores das PCA's das 18 variáveis nessas dimensões explicadas pela soma dos três autovalores, de 13,1 (campo) e 13,75 (protegido) e das três primeiras variâncias, de 72,82% (campo) e 76,42% (protegido).

As análises de componentes principais (ACP1, ACP2 e ACP3) nas 18 variáveis mostram que a melhor opção da lâmina de irrigação com S<sub>2</sub> é a L<sub>2</sub> para ambiente de campo e L<sub>1</sub> para protegido. Todas as demais lâminas de irrigação não são recomendadas para nenhum dos ambientes. Já a variabilidade das variáveis estudadas na S<sub>2</sub> demonstrou menor intervalo de confiança em ambiente de campo, com grandes elipsoides, comportamento inverso para o ambiente protegido que tiveram pequenas elipses e maior confiabilidade (Figuras 1C; 1D; 2C e 2D).

Às ACP's das variáveis e o comportamento das lâminas de irrigação na salinidade de S<sub>3</sub> para ambos os ambientes estudados são demonstrado pela soma dos autovalores e das proporções de variações foram de 12,60 e 13,74; de 70,04 e 76,32% para os ambientes campo e protegido, respectivamente (Tabela 1).

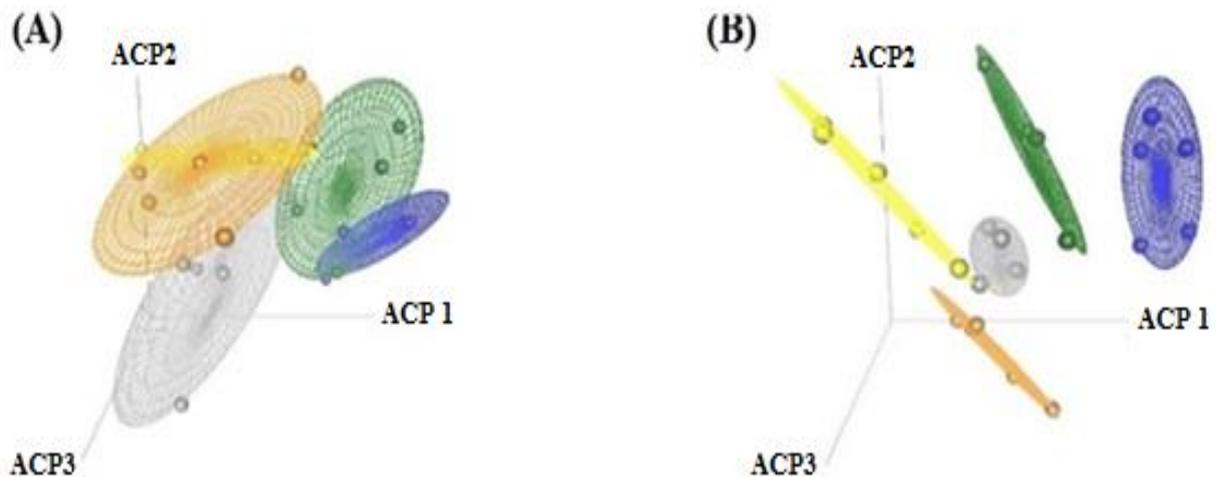
A melhor opção da lâmina de irrigação nas variáveis para S<sub>3</sub> é a L<sub>3</sub> seguida da L<sub>5</sub> para ambiente de campo e L<sub>1</sub> para protegido, as outras lâminas não são recomendadas e também tiveram as menores elipses (Figuras 1E; 1F; 2E e 2F). A salinidade de 3,12 mS cm<sup>-1</sup> obteve dimensões explicadas de 11,44 e 11,82 para os três primeiros autovalores juntos e de 65,63 e 80,55% para soma das três primeiras variações, para os respectivos ambientes campo e protegido (Tabela 1).

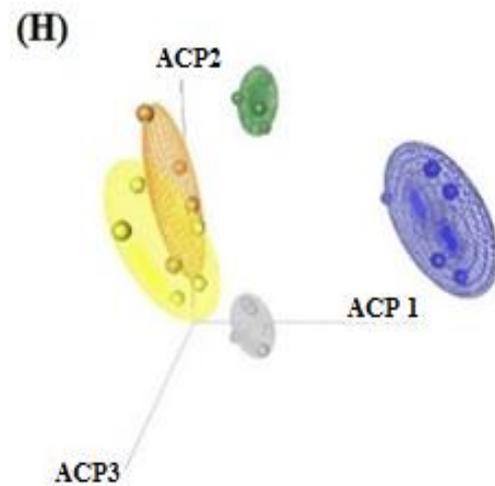
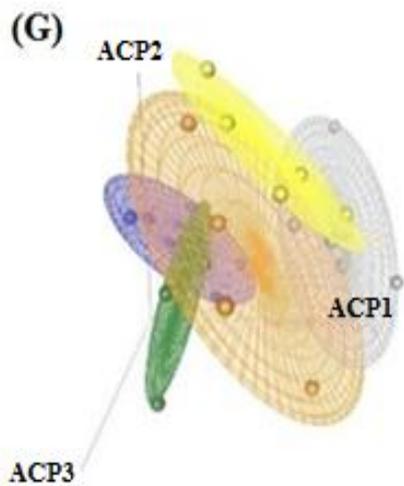
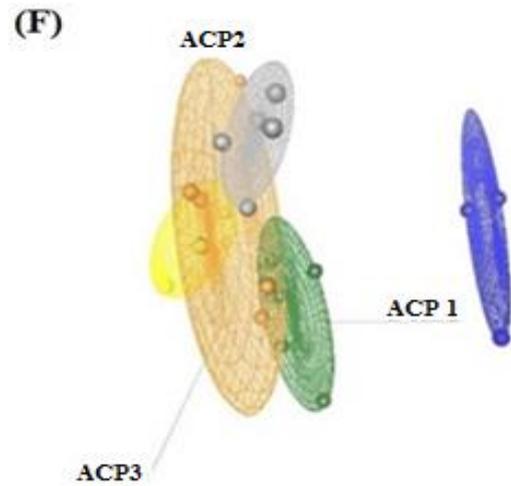
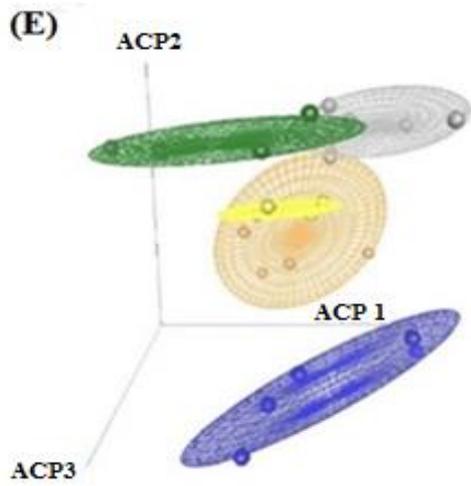
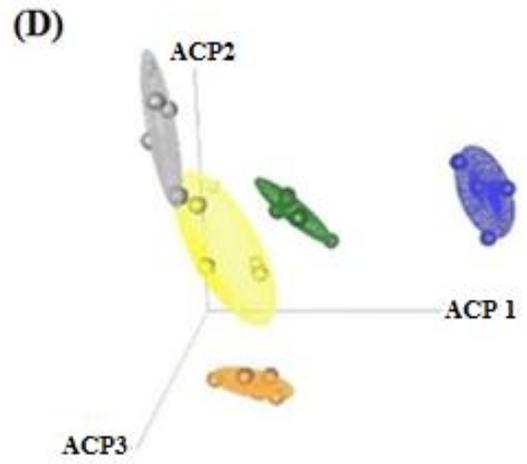
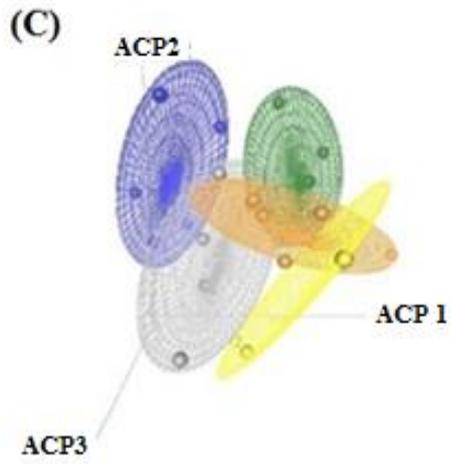
Nas Figuras 1G e 2G se pode observar que a salinidade S<sub>3</sub> em ambiente de campo todas as lâminas de irrigação tiveram pontos dispersos, formando grandes elipsóides impossibilitando por meio das análises de componentes principais a indicação da melhor opção de lâmina. Já o ambiente protegido ocorreu o inverso, todas as lâminas obtiveram pequenas elipses, indicando L<sub>2</sub> como melhor opção, embora tenha menor confiabilidade do que a segunda indicada (L<sub>1</sub>) com pontos próximos e a menor elipsóide (Figuras 1H e 2H).

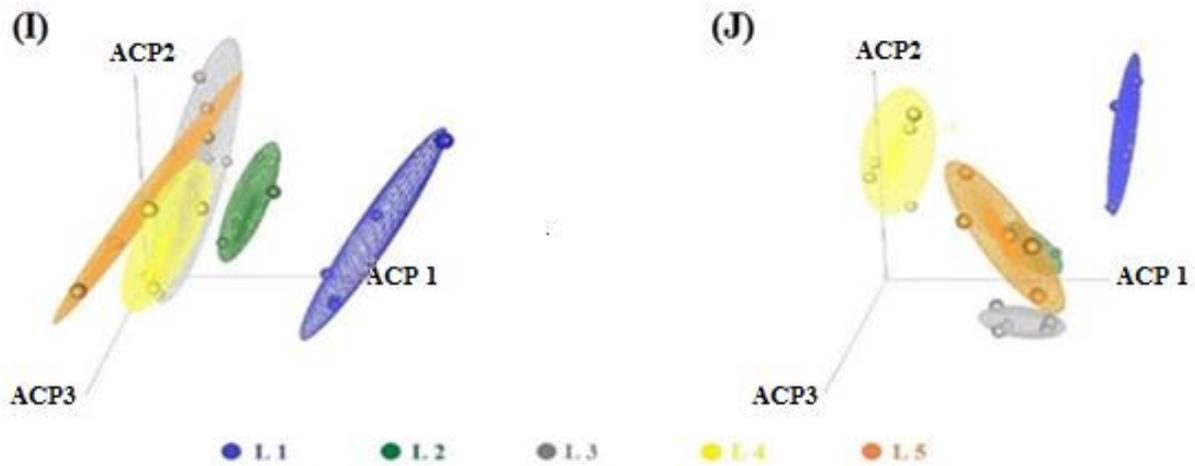
Às análises de componentes principais (ACP) das variáveis estudadas tiveram dimensões explicadas pelos três primeiros autovalores juntos de 13,02 (campo) e 13,26 (protegido) e pelas três primeiras proporções de variâncias de 72,32% (campo) e 73,69% (protegido) para cada lâmina de irrigação ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$  e  $L_5$ ) na salinidade de  $4,12 \text{ mS cm}^{-1}$  (Tabela 1).

A  $L_2$  com a menor elipsóide e pontos próximos foi a melhor opção de lâmina recomendada por meio dos ACP's para o ambiente de campo, as demais lâminas tiveram elipses maiores e pontos dispersos nas três dimensões de ACP's (Figuras 1I e 2I). Já para o protegido as lâminas  $L_1$  e  $L_2$  foram as melhores opções, embora a primeira tenha pontos mais dispersos e maior elipse que a segunda (menor confiabilidade), tem também a maior concentração dos pontos entre os ACP1 e ACP2, sendo assim a  $L_1$  a melhor opção para o protegido (Figuras 1J e 2J).

**Figura 1.** Representação das lâminas de irrigação ( $L_1= 50$ ;  $L_2= 75$ ;  $L_3= 100$ ;  $L_4= 125$ ;  $L_5= 150$  % da ETc) em ACP (elipse 3D) na salinidade da água de:  $0,12 \text{ mS cm}^{-1}$ , cultivado em ambiente de campo (A) e protegido (B);  $1,12 \text{ mS cm}^{-1}$ , campo (C) e protegido (D);  $2,12 \text{ mS cm}^{-1}$ , campo (E) e protegido (F);  $3,12 \text{ mS cm}^{-1}$ , campo (G) e protegido (H);  $4,12 \text{ mS cm}^{-1}$ , campo (I) e protegido (J).

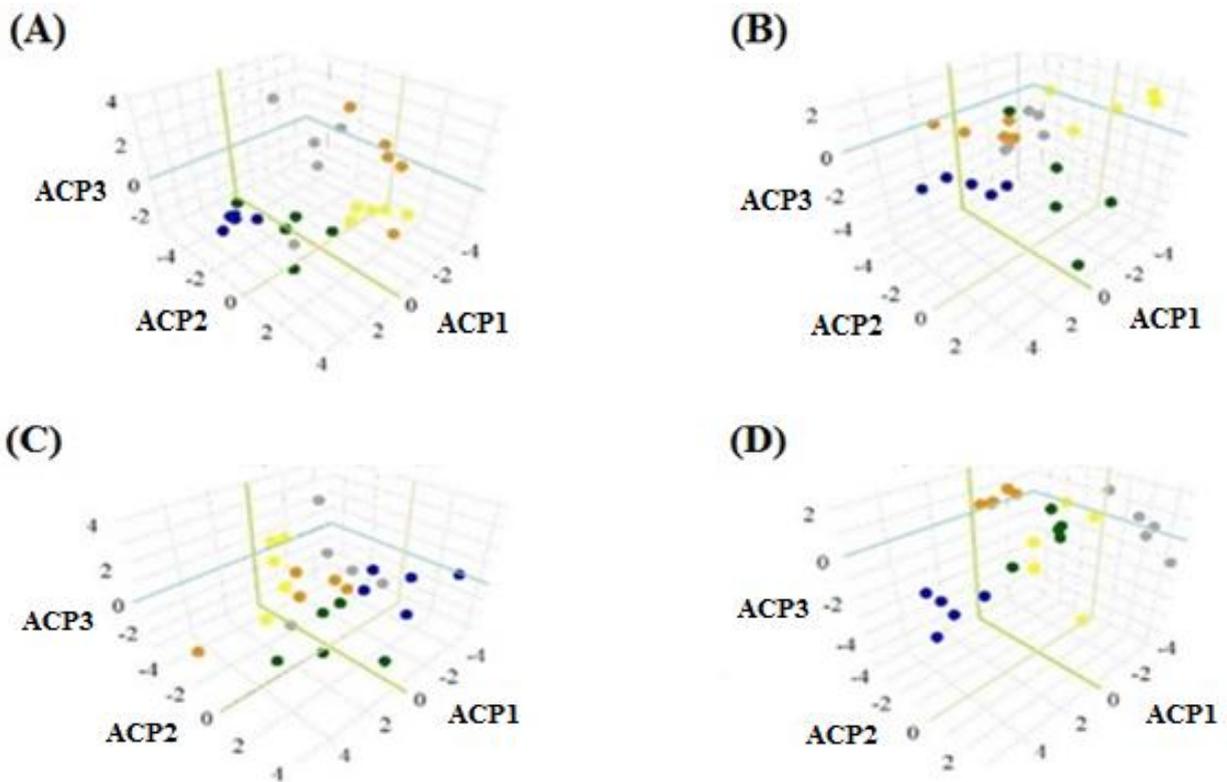


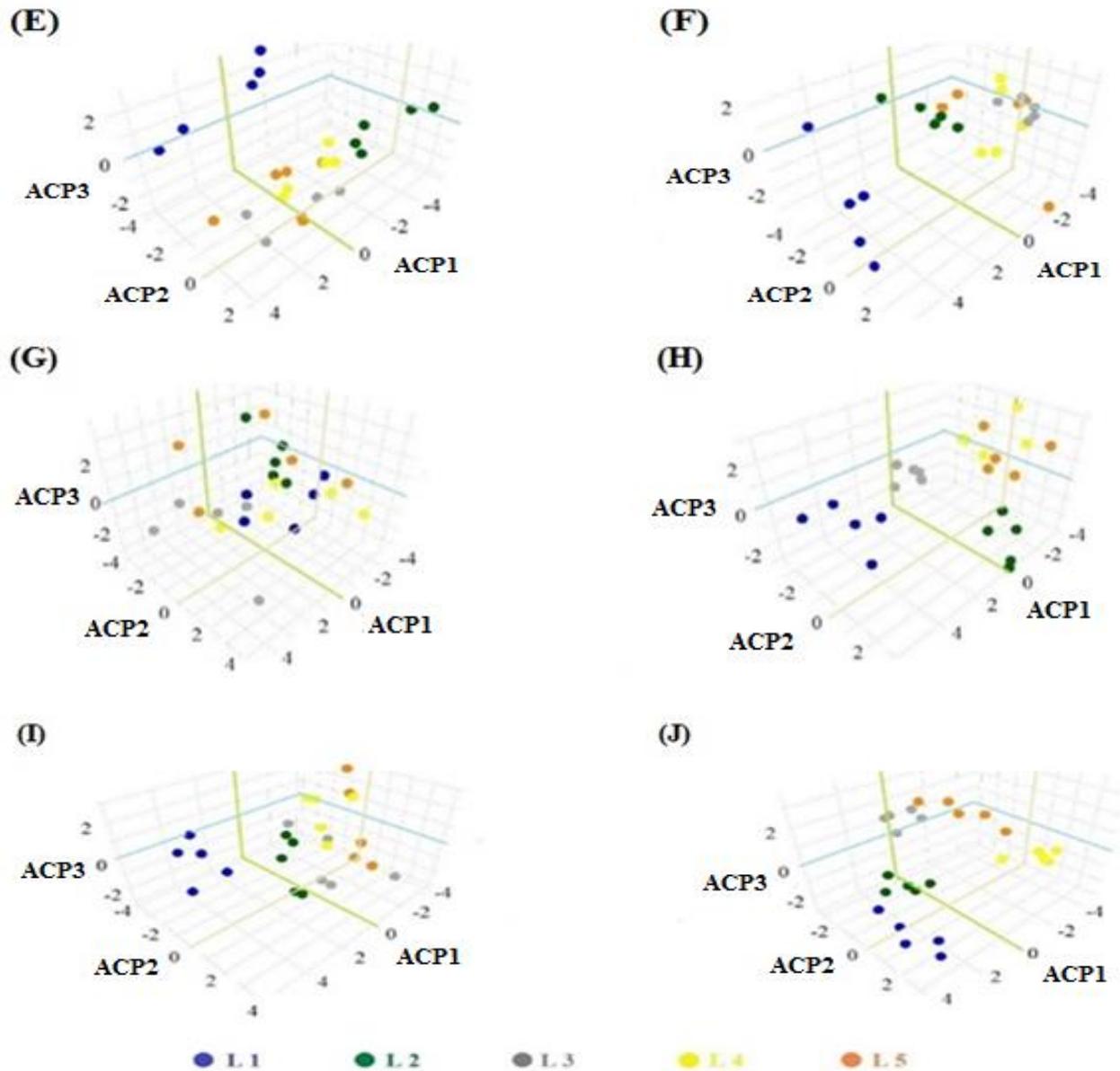




Fonte: Autores.

**Figura 2.** Representação das lâminas de irrigação ( $L_1= 50$ ;  $L_2= 75$ ;  $L_3= 100$ ;  $L_4= 125$ ;  $L_5= 150$  % da ETe) em ACP (distribuição de pontos 3D) na salinidade da água de: 0,12 mS cm<sup>-1</sup>, cultivado em ambiente de campo (A) e protegido (B); 1,12 mS cm<sup>-1</sup>, campo (C) e protegido (D); 2,12 mS cm<sup>-1</sup>, campo (E) e protegido (F); 3,12 mS cm<sup>-1</sup>, campo (G) e protegido (H); 4,12 mS cm<sup>-1</sup>, campo (I) e protegido (J)





Fonte: Autores.

A ACP das 18 variáveis estudadas no cultivo da alface das interações entre lâminas de irrigação com níveis de salinidade da água em ambientes de campo e protegido tiveram menores variações (menores elipses e pontos próximos) nas lâminas no primeiro ambiente, com destaque na L<sub>3</sub>, seguida da L<sub>2</sub>. Quanto à salinidade tiveram as maiores variações nas S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> e S<sub>3</sub> para o campo, S<sub>3</sub> (protegido).

As maiores variações das lâminas e das salinidades podem ser explicadas por meio do controle do ambiente no qual minimiza as interferências de fatores externos. Analisando todas as variáveis, a salinidade da água S<sub>4</sub> (ambos os ambientes) teve menor variação, no qual poderá ser explicado devido o alto nível de sais na água, interferindo diretamente no desempenho das 18 variáveis.

As plantas, quando submetidas a estresse salino, podem apresentar diferentes respostas, envolvendo alterações morfológicas e de crescimento, além de processos fisiológicos e bioquímicos. As alterações no metabolismo induzidas pela salinidade são resultado de várias respostas fisiológicas da planta, podendo se destacar as modificações no crescimento, comportamento estomático e capacidade fotossintética (Garcia, et al., 2010; Paiva, 2017).

As melhores respostas das variáveis por meio da análise multivariada com ACP da interação da irrigação com a salinidade (LS), no qual obtiveram melhores desempenhos com menores variâncias, elipses pequenas (Figura 1) e pontos poucos dispersos (Figura 2), concentrados entre o ACP1 e o ACP2 foram L<sub>3</sub>S<sub>3</sub> para o ambiente de campo e L<sub>1</sub>S<sub>1</sub> para protegido, ou seja, a lâmina determinada na ET<sub>c</sub> da cultura com alta salinidade está diretamente ligada no desenvolvimento da cultura, isso é dado devido a disponibilidade de água de qualidade inferior (água com sais) no solo interfere nas questões osmóticas na fisiologia vegetal da cultura da alface, no qual tem limiar de salinidade de 1,3 mS cm<sup>-1</sup>.

Devido à presença de sais nos solos, ocorrem algumas alterações químicas nos mesmos, que podem ser consequência das alterações físicas que são promovidas pelo excesso de sais no solo. Sendo assim, a utilização da irrigação requer atenção, pois esse sistema, quando mal manejado, pode promover danos ao solo e as plantas. Os efeitos dos sais nas plantas podem provocar diferentes respostas de estresse, ocasionando a diminuição na produção agrícola da maioria das culturas (Hu; Schmidhalter, 2002).

### 3.2 Análise Hierárquica de Clusters

O agrupamento em propriedade de árvore (dendograma) otimizou a visualização das 18 variáveis por meio das análises hierárquicas de clusters (AF, NF, AP, DC, TR, EAF, ENF, EDC, MFF, MSF, MST, TAF, TAC, SPAD, Ca, Cb, Ca+b e Cx) na produtividade da cultura da alface em resposta as lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água para ambos os ambientes (campo e protegido). Analisando as Figuras a seguir serão observadas por meio de dendogramas e na performance em 5 clusters determinada por duas dimensões.

Na Tabela 2 se pode observar que a solução de cluster 5 resulta em um coeficiente de silhueta média máxima de 0,3999 para S<sub>4</sub> (campo) e 0,4317 para S<sub>2</sub> (protegido), respectivamente. O cluster 5 foi o mais agrupado pois obteve os maiores coeficientes para os dois ambientes, sendo para S<sub>4</sub> (0,6882) em campo e para S<sub>1</sub> (0,6879), protegido. Uma das variáveis no cluster 4 na S<sub>1</sub> teve uma largura média de silhueta negativo (-0,0911), indicando

que provavelmente está no cluster errado. As  $S_2$ ,  $S_3$  e  $S_5$  do cluster 4,  $S_1$  do cluster 5 (campo) e  $S_3$  do cluster 4 (protegido) tiveram coeficientes nulo, indicando maior dispersão das variáveis estudadas.

**Tabela 2.** Coeficiente médio de silhueta por cluster ( $Si_c$ ) e coeficiente médio de silhueta do conjunto de dados total ( $Si_t$ ) para cada salinidade ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  e  $S_5$ ) em ambiente de campo e protegido.

Cluster	Campo					Protegido				
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
$Si_c 1$	0,6112	0,3023	0,3368	0,2766	0,5649	0,3873	0,3258	0,5299	0,2855	0,5721
$Si_c 2$	0,4346	0,2335	0,3314	0,2873	0,1456	0,3414	0,3245	0,2959	0,4019	0,4023
$Si_c 3$	0,6121	0,5998	0,4546	0,5355	0,3159	0,2663	0,3423	0,5516	0,3657	0,3601
$Si_c 4$	-0,0911	0,0000	0,0000	0,3792	0,0000	0,4488	0,6499	0,0000	0,3788	0,4022
$Si_c 5$	0,0000	0,6357	0,6524	0,6882	0,5714	0,6879	0,6732	0,2113	0,6798	0,3950
<b><math>Si_t</math></b>	<b>0,3529</b>	<b>0,3657</b>	<b>0,3844</b>	<b>0,3999</b>	<b>0,3766</b>	<b>0,3913</b>	<b>0,4047</b>	<b>0,3837</b>	<b>0,3950</b>	<b>0,4317</b>

Fonte: Autores.

Nas Figuras 3 e 4 mostram os agrupamentos por meio da análise hierárquica de clusters (AHC) da interação entre lâminas de irrigação e níveis de salinidade ( $L_1S_1, \dots, L_1S_5, L_2S_1, \dots, L_2S_5, L_3S_1, \dots, L_3S_5, L_4S_1, \dots, L_4S_5, L_5S_1, \dots, L_5S_5$ ) baseadas nas mensurações, análises e leituras do conjunto de 18 variáveis da cultura da alface cultivadas em ambiente de campo e protegido, respectivamente.

A análise de agrupamento das 18 variáveis com base na área foliar, número de folhas e demais componentes em resposta a interação das lâminas de irrigação e níveis de sais na água (LS) classificou as variáveis em cinco grupos com 4, 3, 7, 3 e 8 número de interações LS para o ambiente de campo (Figura 3) e com 10, 6, 5, 3 e 1 para o ambiente protegido (Figura 4). A maior distância ou dissimilaridade entre as interações foram observadas para  $L_1S_4$  e  $L_1S_5$  (campo) e  $L_2S_1$  e  $L_3S_3$  (protegido). Já a maiores similaridades foram obtidas para as interações  $L_4S_2$  e  $L_5S_5$  (campo) e  $L_2S_1$  e  $L_2S_3$  (protegido). Com base nos resultados, cinco dos agrupamentos das interações agrupadas podem ter uma origem comum no cultivo em ambiente de campo, por outro lado, em protegido, uma interação ( $L_3S_2$ ) teria origem diferente dos demais quatro. Podendo assim observar que os aglomerados distanciados como primeiro e quatro aglomerados pode fornecer muita variação para fins de análise das variáveis entre as interações LS.

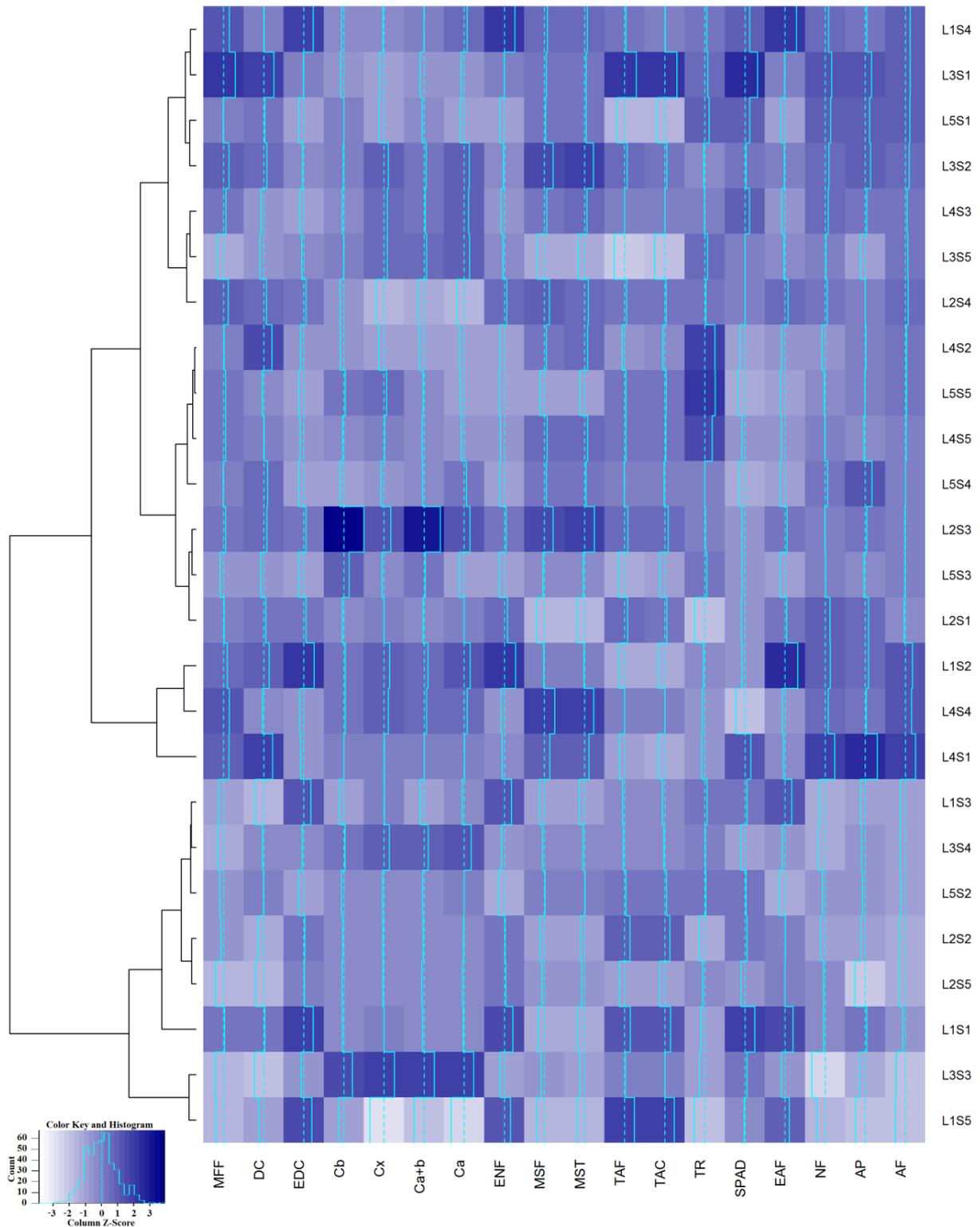
Nas Figuras 3 e 4 se pode observar que as melhores interações LS para variáveis biométricas e para eficiência do uso da água foram: 1) ambiente de campo:  $L_4S_1$  para AF, NF,

DC e AP, L<sub>5</sub>S<sub>5</sub> para TR e L<sub>1</sub>S<sub>2</sub> para EAF, ENF, EDC; 2) ambiente protegido: L<sub>3</sub>S<sub>2</sub> para AF, L<sub>4</sub>S<sub>3</sub> e L<sub>5</sub>S<sub>2</sub> para NF, L<sub>2</sub>S<sub>2</sub> para DC, L<sub>5</sub>S<sub>2</sub> e L<sub>4</sub>S<sub>3</sub> para AP, L<sub>5</sub>S<sub>1</sub>, L<sub>3</sub>S<sub>4</sub> para TR e L<sub>1</sub>S<sub>3</sub> para EAF, ENF, EDC. Em ambiente de campo houve maior similaridade entre das variáveis biométricas entre si e também entre o uso eficiente da água. Já em ambiente protegido a similaridade ocorreu apenas na eficiência do uso água.

Em ambiente de campo as variáveis de produtividade (MFF, MSF e MST) tiveram alta similaridade entre si e maiores dissimilaridade entre as variáveis teores de água na planta (TAC e TAF), as melhores interações LS foram: L<sub>3</sub>S<sub>1</sub> (MFF), L<sub>4</sub>S<sub>4</sub> (MSF e MST) e L<sub>3</sub>S<sub>1</sub> (TAC e TAF). Já para protegido, foram L<sub>3</sub>S<sub>2</sub> (MFF, MSF e MST), L<sub>4</sub>S<sub>2</sub> e L<sub>4</sub>S<sub>5</sub> (TAC e TAF), essas variáveis tiveram alta dissimilaridade entre as variáveis de produtividade e de teores de água na planta (Figuras 3 e 4).

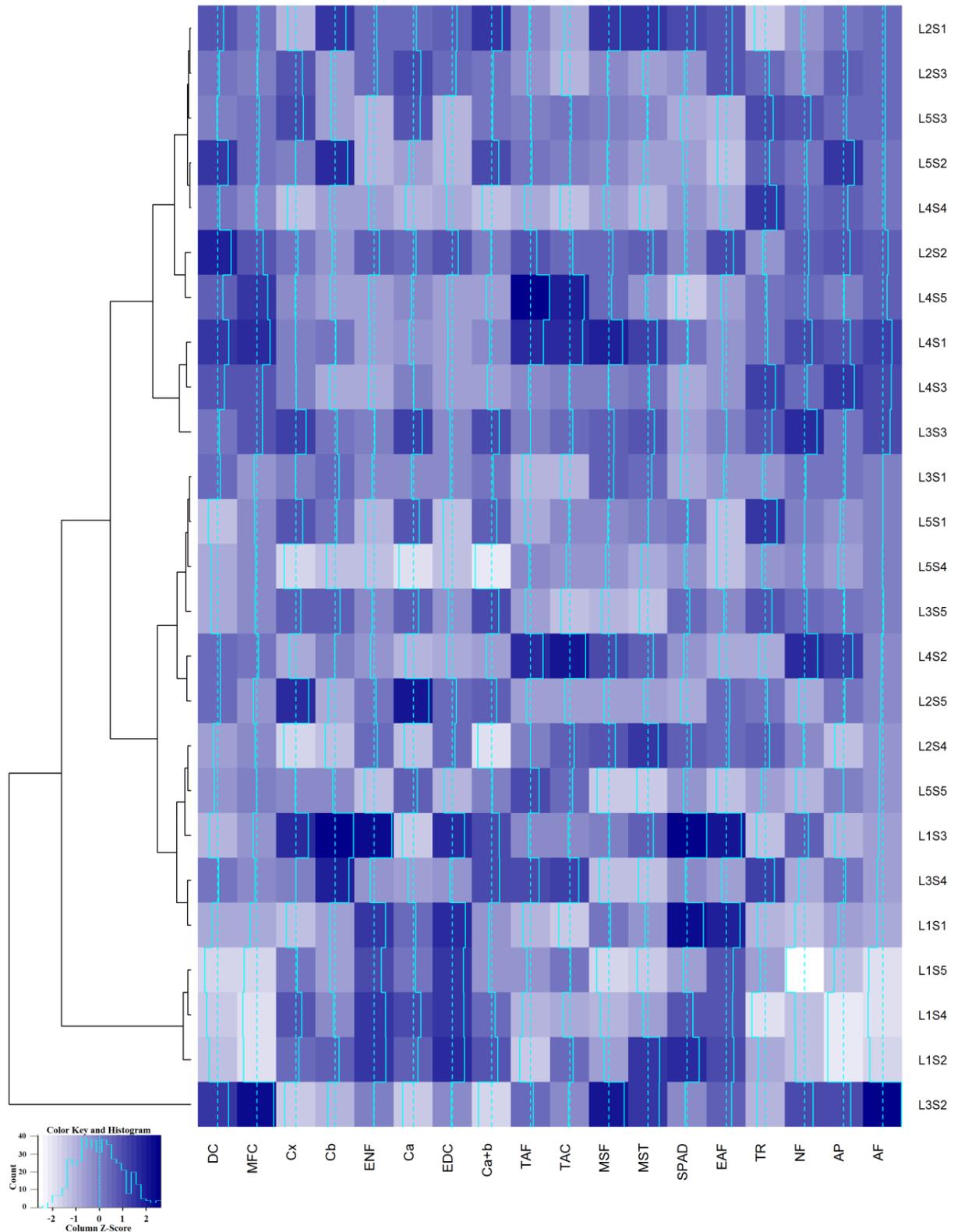
Já as variáveis responsáveis pelas leituras de clorofila e do processo de fotossíntese tiveram melhores interações LS alta similaridade para ambiente de campo (Figura 3), exceto para o SPAD, foram: L<sub>3</sub>S<sub>3</sub> (*Ca* e *Cx*), L<sub>2</sub>S<sub>3</sub> (*Cb* e *Ca+b*) e L<sub>3</sub>S<sub>1</sub> (SPAD). Já em protegido (Figura 4) tiveram maiores similaridades entre todas as variáveis de clorofila: *Ca* (L<sub>2</sub>S<sub>5</sub>), *Cb* (L<sub>1</sub>S<sub>3</sub>), *Ca+b* (L<sub>2</sub>S<sub>1</sub>), *Cx* (L<sub>2</sub>S<sub>5</sub>) e SPAD (L<sub>1</sub>S<sub>1</sub> e L<sub>1</sub>S<sub>3</sub>).

**Figura 3.** Resultado da análise de agrupamento (dendrograma hierárquicas de clusters) para 18 variáveis estudadas da cultura alface em resposta as interações de lâminas de irrigação e níveis de salinidade (LS) ambiente de campo.



Fonte: Autores.

**Figura 4.** Resultado da análise de agrupamento (dendrograma hierárquicas de clusters) para 18 variáveis estudadas da cultura alface em resposta as interações de lâminas de irrigação e níveis de salinidade (LS) ambiente de protegido.



Fonte: Autores.

Os maiores coeficientes da largura média da silhueta teve melhor desempenho das lâminas na salinidade de  $3,12 \text{ mS cm}^{-1}$  em campo e de  $0,12 \text{ mS cm}^{-1}$  em ambiente protegido. Esse alto desempenho com uma alta salinidade da água de irrigação em campo possivelmente ocorreu devido a possibilidade dos sais no perfil do solo terem sido lixiviados pela precipitação em época de chuvas, diferentemente do que ocorreu em ambiente protegido, no qual o coeficiente da largura da silhueta foi para água de boa qualidade das variáveis estudadas (Tabela 2).

Na análise de agrupamento de cluster (Figuras 3 e 4) a maior dissimilaridade observada em campo entre as interações  $L_1S_4$  e  $L_1S_5$  e também as maiores similaridades foram obtidas para as interações  $L_4S_2$  e  $L_5S_5$ . Tal fato, pode ser explicada o alto teor de sais teve na menor lâmina 50% da ETc teve maiores diferenças porque possivelmente deve ter ocorrido a lixiviação dos sais. Já em ambiente protegido (cultivo controlado, sob drenagem de água e sais) pôde ser observado o inverso nas interações  $L_2S_1$  e  $L_3S_3$  (dissimilaridade) e  $L_2S_1$  e  $L_2S_3$  (similaridade).

Para os dois ambiente (Figuras 3 e 4), o dendograma mostra que a média das melhores interações LS apresentaram melhores resultados para maioria das variáveis biométricas, como também para variáveis de produtividade as lâminas de irrigação maiores ou iguais a de 100% da ETc associadas a menores teores de sais, isso ocorreu devido a sensibilidade da cultura da alface ao estresse hídrico e o limiar de teor de sais da água destinada a irrigação. Devido à fisiologia vegetal de que a cultura alface obtém maior concentração do índice de clorofila em menor quantidade de água na planta, explicando assim as melhores interações LS para lâminas de irrigação menor igual que 100% da ETc e salinidade menor  $1,12 \text{ mS cm}^{-1}$ .

O agrupamento nos cinco clusters plotados em relação aos dois primeiros componentes principais dos dados, indicando o cluster para cada variável a qual pertence, com primeiras dimensões de 90,4 e 97,1% e segundas 4,9% e 2,2% para os ambientes campo e protegido, respectivamente.

As lâminas de irrigação na salinidade de água  $S_1$  as 18 variáveis estudadas por meio das análises de cluster, o maior agrupamento em ambiente de campo tiveram as variáveis AF, ENF, CA, CB, CAB, CX e ENF e a menor foi a MFC (cluster unitário). Já para o protegido o foram AP, NF, TR, EAF e SAPD (maior cluster) e MFC e MST (menor cluster). As variáveis MFC, TR e EAF foram as melhores em ambiente de campo e EAF, DC e MSF no protegido (Figura 5A e 5B).

A resposta das variáveis estudadas em função das cinco lâminas de irrigação na salinidade  $S_2$  ( $1,12 \text{ mS cm}^{-1}$ ) por meio da análise de cluster pode ser visualizado nos grupos

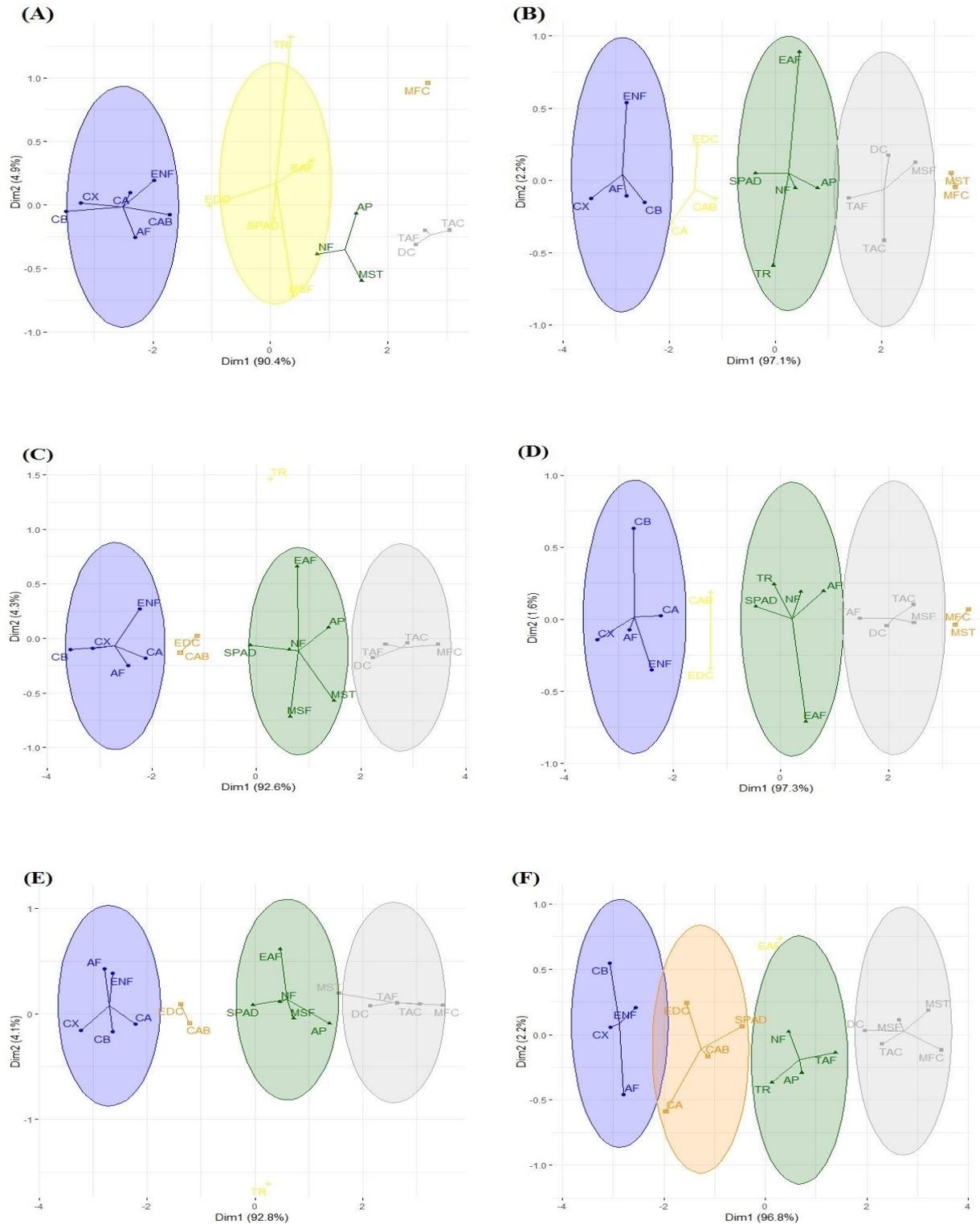
de cinco clusters, sendo para o campo, Dim1 (92,6%) e Dim2 (4,3%) e para protegido, Dim1 (97,3%) e Dim2 (1,6%). A análise de cluster das variáveis em resposta as lâminas de irrigação para salinidade  $S_2$ , mostraram em ambiente de campo que as variáveis encontradas nas respectivas elipses de clusters 2 e 3, tiveram os melhores resultados, com destaque AP e EAF. A variáveis encontradas nos clusters 2 e 3 também foram destaques para o protegido, somado as variáveis MFC e MST que não formaram elipse (Figura 5C e 5D).

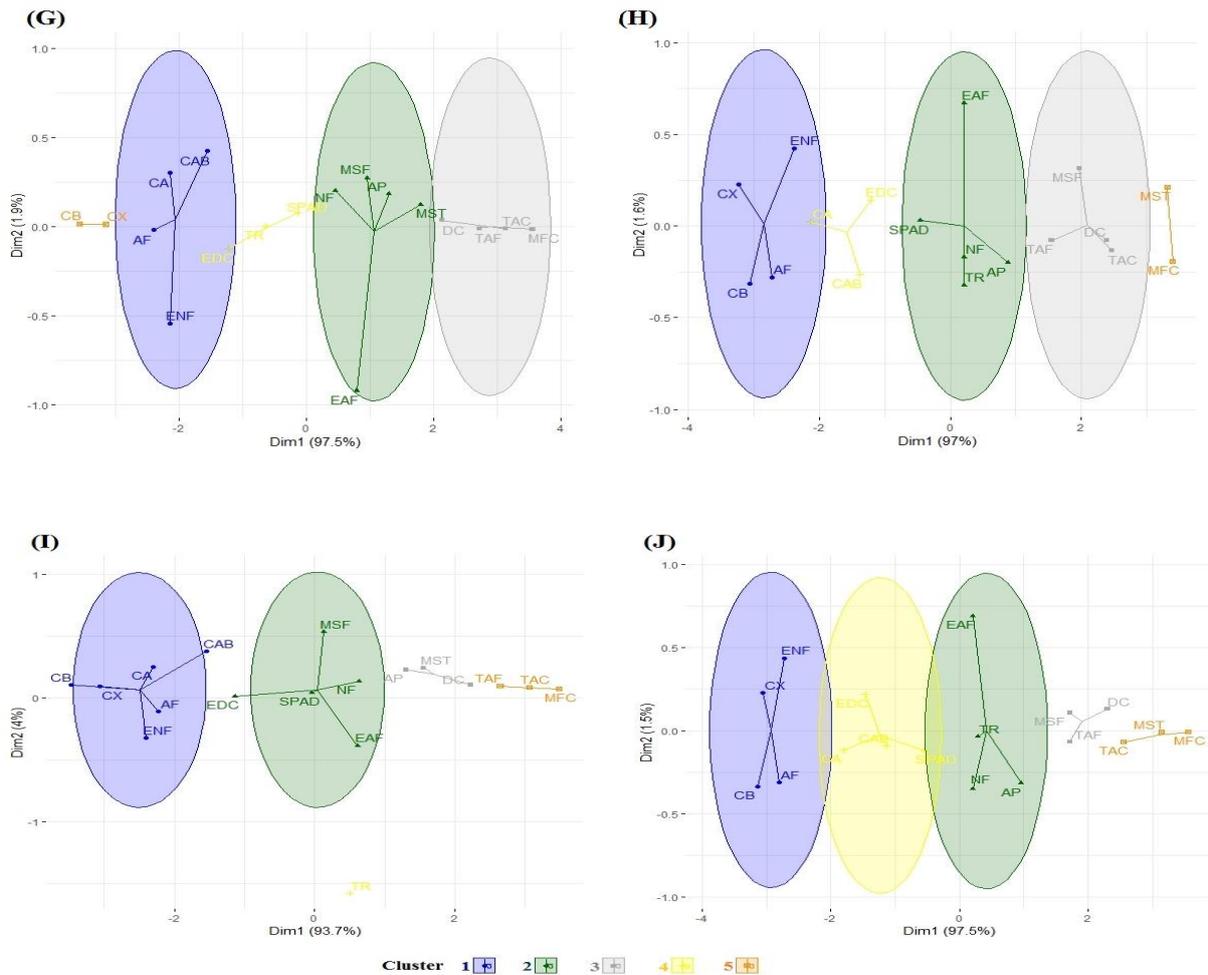
As Figuras 5E e 5F mostram a análise de clusters das lâminas de irrigação nas variáveis para salinidade de  $2,12 \text{ mS cm}^{-1}$  para ambos ambientes estudados mostraram a visualização das variáveis e o agrupamento em nos clusters relacionados aos dois primeiros componentes principais dos dados para campo de: Dim1  $92,8\%$  e Dim2  $4,1\%$ , protegido de: Dim1  $96,8\%$  e Dim2  $2,2\%$ . Se pode observar a análise de cluster das lâminas aplicadas a salinidade  $S_3$  nas 18 variáveis, em que os clusters 2 e 3 foram os melhores para os dois ambientes. Com destaques as variáveis AP, NF, EAF, MSF e SPAD (cluster 2, campo), DC, MFC, MST, TAF, TAC, (cluster 3, campo), AP, NF, TR, TAF (cluster 2, protegido), DC, MFC, MSF, MFT, TAC (cluster 3, protegido) e variável unitária EAF (protegido).

As 18 variáveis em respostas das cinco lâminas para salinidade de  $S_4$  nos dois ambientes (campo e protegido) foram agrupadas e plotados em dimensões de clusters de  $97,5$  e  $1,9\%$  (campo), e;  $97$  e  $1,6\%$  (protegido). As análises de cluster definiram os melhores agrupamentos em ambiente de campo com as variáveis: AP, NF, EAF, MST, MSF (cluster 2), DC, MFC, TAF, TAC (cluster 3). Já para o protegido as variáveis foram: AP, NF, TR, EAF, SPAD (cluster 2), DC, TAC, TAF, MSF (cluster 3), MFC e MST (cluster 5, sem formar elipse), Figura 5G e 5H.

Nas Figuras 5I e 5J se pode observar o efeito das lâminas de irrigação de todas variáveis estudadas para o nível de sais da água de  $4,12 \text{ mS cm}^{-1}$  para os ambientes de campo e protegido visualizado na plotagem de dimensões de  $93,7$  e  $97,5\%$  (Dim1) e  $4$  e  $1,5\%$  (Dim2) para os ambientes campo e protegido, respectivamente. Obtendo-se os melhores agrupamento em ambiente de campo para variáveis NF, EAF, MSF (cluster 2, elipse), AP, CD, MST (cluster 3, sem elipse), MFC, TAF, TAC (cluster 5, sem elipse). E para protegido AP, NF, TR, EAF (cluster 2, elipse), DC, TAF, MSF (cluster 3, sem elipse), TAC, MFC, MST (cluster 5, sem elipse).

**Figura 5.** Performance de cinco cluster nas duas primeiras dimensões para 18 variáveis estudadas nos níveis de salinidade de 0,12 mS cm<sup>-1</sup> (campo: A; protegido: B); 1,12 mS cm<sup>-1</sup> (campo: D; protegido: D); 2,12 mS cm<sup>-1</sup> (campo: E; protegido: F); 3,12 mS cm<sup>-1</sup> (campo: G; protegido: H) e 4,12 mS cm<sup>-1</sup> (campo: I; protegido: J).





Fonte: Autores.

Pela análise da performance de cluster (Figura 5), se observar a respostas das lâminas de irrigação para cada nível de salinidade de água para ambos os ambientes (campo e protegido) afirmando que a fisiologia da alface responde melhor as maiores lâminas para variáveis biométricas seguidas das variáveis de produtividade e as menores lâminas para o índice de clorofila, podendo ser observado na formação dos grupos conforme as variáveis biométricas, de produtividade e de índice de clorofila, sendo distribuídos nos grupos de cluster do positivo ao negativo na dimensão 1 (maior importância) e dimensão 2 (menor importância), afirmando o que foi observado pelo dendrogram clustering.

#### 4. Considerações Finais

A análise de componente principal mostrou que as lâminas de irrigação com 100% da ETc, seguida da 75% da ETc, são as melhores lâminas de irrigação para o cultivo da alface;

Os níveis de salinidade da água tiveram as maiores variações para o ambiente de campo, devido às interferências de fatores externos, sendo que o cultivo em ambiente protegido ocorreu as maiores variações das variáveis nos fatores lâminas de irrigação. O nível de salinidade da água S<sub>4</sub> (ambos os ambientes) interferiu diretamente no desempenho de todas as variáveis, mas demonstrou menor variância;

O melhor desempenho das variáveis na interação LS entre o ACP1 e o ACP2 foram L<sub>3</sub>S<sub>3</sub> para o ambiente campo e L<sub>1</sub>S<sub>1</sub> para protegido, devido o limiar de salinidade da água no cultivo da alface ser de 1,3 mS cm<sup>-1</sup>. As interações L<sub>1</sub>S<sub>4</sub> e L<sub>1</sub>S<sub>5</sub> obtiveram maiores dissimilaridades e L<sub>4</sub>S<sub>2</sub> e L<sub>5</sub>S<sub>5</sub> as maiores similaridades em campo, ocorrendo o inverso no protegido com dissimilaridade entre as L<sub>2</sub>S<sub>1</sub> e L<sub>3</sub>S<sub>3</sub> e similaridade entre as L<sub>2</sub>S<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>S<sub>3</sub>;

A análise hierárquica de cluster mostrou que as variáveis: matéria fresca das folhas (parte comercial da cultura) e o diâmetro da copa são as de maiores importância entre as demais;

Para ambos ambientes, a alface respondeu melhor as maiores lâminas e menores níveis de sais para variáveis biométricas seguidas das variáveis de produtividade e as menores lâminas e níveis de sais abaixo do limiar da cultura para o índice de clorofila.

Avaliar a produtividade agrícola de outras culturas hortícolas em função de lâmina de água e salinidade, nos moldes desta pesquisa é uma sugestão para trabalhos futuros.

## Referências

Andrade, J. M. A., Jacobovitz, D. M. L. B., & Pretto, D. R. (2014). Avaliação do método estatístico de análise da componente principal (PCA) para níveis de infestação de formigas cortadeiras em plantações de eucalipto. *Revista Científica Eletrônica Uniseb*. Ribeirão Preto, 3(2), 181 – 199.

Filgueira F. A. R. (2008). *Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. Viçosa: UFV. 402p.

Garcia, G. O., Nazário, A. A., Moraes, W. B., Gonçalves, I. Z. & Madalão, J. C. (2010). Respostas de genótipos de feijoeiro à salinidade. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, 18(4), 330-338. DOI: 10.13083/1414-3984.v18n04a07.

Hongyu, K., Sandanielo, V. L. M., & Oliveira Junior, G. J. (2015). Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. *E&S - Engineering and Science*, 5(1), 83-90. DOI: 10.18607/ES20165053.

Hu, Y., & Schmidhalter, U. (2002). *Limitation of salt stress to plant growth*. In: Hock, B., Elstner, C.F. (Eds.), *Plant Toxicology*. Marcel Dekker Inc., New York, 91–224.

Koppen, W. (1948). *Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra*. Publications In: *Climatology*. Laboratory of Climatology, New Gersey. 104p.

Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (1998). *Applied multivariate statistical analysis*. Madison: Prentice Hall International, 816p.

Levidow, L., Zaccaria, D., Maia, R.; Vivas, E., Todorovic, M.; & Scardigno, A. (2014). Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovate practices. *Agricultural Water Management*, 146, p. 84-94. DOI: 10.1016/j.agwat.2014.07.012

Paiva, F. I. G. (2017). Manejo da fertirrigação potássica e cálcica na cultura do tomateiro cultivadas em ambiente protegido e submetidas ao estresse salino. *Dissertação de Mestrado - Manejo de Solo e Água*. UFERSA, Mossoró-RN, 66p.

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

Putti, F. F. (2015). Análise dos indicadores biométricos e nutricionais da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) irrigada com água tratada magneticamente utilizando modelagem fuzzy. *Tese de Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem* - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu-SP, 202p.

Richards, L. A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils, *Agriculture*, 160, Handbook 60. *US Department of Agriculture*, Washington DC.

Saed-Moucheshi, A., Fasihfar, E., Hasheminasab, H., Rahmani, A., & Ahmadi, A. (2013). A Review on Applied Multivariate Statistical Techniques in Agriculture and Plant Science. *International journal of Agronomy and Plant Production*. 4(1), 127-141.

Santos, M. A. L., Santos, L. A., Lucas, A. A. T., Gomes Filho, R. R., & Santos, D. P. (2020). Sistema lisimétrico de informações para monitoramento do consumo de água pelas plantas (SLIMCAP). *Desenvolvimento de Pesquisa Científica na Agricultura Irrigada*, Editora Atena, c.7, 58-65. DOI: 10.22533/at.ed.8872028107.

Silva A. O. A. (2014). Fertirrigação e o processo de salinização de solos em ambiente protegido, *Nativa, Sinop, Pesquisas Agrárias e Ambientais*. 2(3), 180-186. DOI: 10.14583/2318-7670.v02n03a10.

Silva, C. B., Santos, M. A. L., Santos, D. P., Santos, C. G., Santos, V. R., Sá, M. B. de, Santos, R. S. da S., & Brandão Júnior, W. Q. (2020). Produtividade da alface cultivada em campo e ambiente protegido em resposta às lâminas de irrigação e níveis salinos. *Research, Society and Development*, 9(10), e8549109143. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.9143>

Snyder, R. L., Pedras, C., Montazar, A., Henry, J. M., & Ackley, D. (2015). Advances in ET-based landscape irrigation management. *Agricultural Water Management*, 147, 187-197. DOI: 10.1016/j.agwat.2014.07.024.

Han, J., Kamber, M., & PEI, J. (2000). *Data Mining: Concepts and Techniques (The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems)*. Morgan Kaufmann.

Tiwari, M., & Misra, B. (2011). Application of Cluster Analysis in Agriculture: A Review Article. *International Journal of Computer Applications*. 36(4), 43-47.

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

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Márcio Aurélio Lins dos Santos – 20%

Valdevan Rosendo dos Santos – 20%

Cícero Gomes dos Santos – 20%

Daniella Pereira dos Santos – 20%

Cinara Bernardo da Silva – 20%