

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CAMPUS ARAPIRACA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

ÍTALA CARLA DE AMORIM NETO

**INFLUÊNCIA DE HUMINA ENRIQUECIDA COM CÁLCIO E MAGNÉSIO E
LÂMINAS DE ÁGUA EM DOIS TIPOS DE SOLO CULTIVADOS COM ALFACE**

ARAPIRACA

2020

Ítala Carla de Amorim Neto

Influência de humina enriquecida com cálcio e magnésio e lâminas de água em dois tipos de solo cultivados com alface

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA) da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestra em Agricultura e ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Wander Gustavo Botero

Co-orientador: Prof. Dr. Márcio Aurélio Lins dos Santos

Arapiraca
2020

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Biblioteca *Campus* de Arapiraca - BCA

Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Gerlane Costa Silva de Farias CRB4/1802

A524i

Amorim Neto, Ítala Carla

Influência de humina enriquecida com cálcio e magnésio e lâminas de água em dois tipos de solo cultivados com alface / Ítala Carla de Amorim Neto. – 2020.

83 f.: il.

Orientador: Wander Gustavo Botero

Coorientador: Márcio Aurélio Lins dos Santos

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas. Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Arapiraca, 2020.

Bibliografia: f. 71-83

1. Substâncias húmicas. 2. Irrigação. 3. Plantas - Nutrição. 4. *Lactuca sativa* L. 5. Alface. I. Título

CDU 631.8

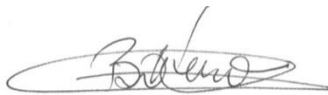
Ítala Carla de Amorim Neto

Influência de humina enriquecida com cálcio e magnésio e lâminas de água em dois tipos de solo cultivados com alface

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA) da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestra em Agricultura e Ambiente.

Data de defesa: 17/07/2020.

Banca Examinadora



Prof. Dr. Wander Gustavo Botero
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus Arapiraca
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente - PPGAA
(Orientador)



Prof. Dr. Márcio Aurélio Lins dos Santos
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus Arapiraca
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente - PPGAA
(Coorientador)



Prof.ª Dr.ª Andrea Pires Fernandes
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus Arapiraca
Programa de Pós-Graduação em Química e Biotecnologia - PPGQB
(Examinadora)



Prof. Dr. Cícero Gomes dos Santos
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus Arapiraca
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente - PPGAA
(Examinador)

Agradeço a Deus que me deu forças para
concluir este projeto de forma satisfatória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, que me deu força para concluir esta etapa de minha vida.

Aos meus familiares, pelo amor, incentivo, força e apoio incondicional. Sobre tudo meus pais Neusa e Antônio Neto.

Ao meu esposo Márcio Aurélio pela compreensão, paciência, apoio e empenho demonstrado durante o período do projeto. Sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis, que não foram raros durante este ano, sempre me fazendo acreditar que chegaria ao final desta difícil, porém gratificante etapa. Grata pelo seu amor e humor.

Ao meu orientador Prof. Dr. Wander Botero pela orientação, oportunidades e apoio durante todo o processo de construção dessa dissertação. Obrigada pela confiança.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Márcio Aurélio pela grande atenção dispensada que se tornou essencial para que o projeto fosse concluído.

A banca examinadora, Prof^a Dr^a Andrea Pires e Prof. Dr. Cícero Gomes pela contribuição.

A todos os meus professores do curso de Pós-graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA) da Universidade Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca, pela excelência da qualidade técnica de cada um.

Aos meus colegas de turma pelas trocas de ideias e ajuda mútua. Juntos conseguimos avançar e ultrapassar todos os obstáculos. Serão inesquecíveis.

Aos colegas do Laboratório de Ciências Ambientais do Agreste (LCCA), em especial a Graciely pelo companheirismo e disposição em sempre ajudar.

Ao Grupo Irriga, pela disposição e colaboração. Não encontro adjetivos suficientes para descrever a importância de seus colaboradores na finalização do projeto.

Também agradeço aos funcionários da Universidade Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca, que contribuíram direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho.

E à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pelo financiamento do projeto de pesquisa, tornando possível a produção dessa dissertação.

RESUMO

A humina, resíduo oriundo da extração da matéria orgânica de solos com base forte, tem se mostrado interessante e promissor como adsorvente de interesse ambiental, por apresentar elevada área superficial e porosidade, além da diversidade de grupos funcionais. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um material a partir da fração humina enriquecido com nutrientes essenciais as plantas (Ca^{2+} e Mg^{2+}), e avaliar sua aplicação em setores agrícolas (cultura da alface) em dois diferentes tipos de solo. O material foi produzido a partir da extração da fração humina, de um solo rico em matéria orgânica localizado nas proximidades do Rio Pratagi localizado em Maceió, AL. Foram realizadas caracterizações buscando obter informações de sua estrutura utilizando o teor de matéria orgânica, razões atômicas, razão E_4/E_6 e Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier – FTIR. A eficiência de adsorção foi determinada para o preparo da solução multielementar de Ca^{2+} e Mg^{2+} (10 mg L^{-1}) em pH 8,0. O adsorvente foi filtrado em filtros de poliestireno, secos ao ar e pesados, de acordo com a quantidade definida para aplicação na cultura da alface. O experimento foi realizado em ambiente protegido, cultivado em dois tipos de solo (arenoso e argiloso) na UFAL – Campus Arapiraca. O delineamento adotado, para ambos os solos utilizados, foi em blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições, em esquema fatorial 4×4 , com 16 tratamentos e 64 unidades experimentais. Os tratamentos foram representados por: quatro níveis de humina enriquecida com Ca^{2+} e Mg^{2+} ($\text{H}_0 = 0,0$; $\text{H}_2 = 2,0$; $\text{H}_4 = 4,0$ e $\text{H}_6 = 6,0 \text{ g}$) e quatro lâminas de água ($\text{L}_1 = 50$; $\text{L}_2 = 75$; $\text{L}_3 = 100$ e $\text{L}_4 = 125 \%$, da evapotranspiração da cultura). Foram analisadas 12 variáveis: índice de clorofila, diâmetro da copa, altura da planta, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, número de folhas, área foliar, massa fresca da raiz, massa seca da raiz, tamanho da raiz, teor de água nas folhas e eficiência do uso da água. Os dados foram submetidos à análise de regressão e análise multivariada com o seguinte conjunto de métodos: análise de componentes principais (ACP) e análise de cluster em dendograma, utilizando o software estatístico R. Na caracterização da amostra de humina, constatou-se um teor de MO = 8,60, razão C/H = 0,185 e $\text{E}_4/\text{E}_6 = 1,26$. De acordo com o espectro FTIR, bandas características de estiramentos OH, C=C e Si-O foram observadas para a amostra de humina e sua respectiva cinza. A humina apresentou maior taxa de adsorção (78,92% e 55% para Ca^{2+} e Mg^{2+} , respectivamente) em pH 8,0 aos 120 minutos de agitação. Com relação às variáveis submetidas à análise de variância, para o solo arenoso, somente a altura da planta e tamanho da raiz não apresentaram efeito significativo. Para o solo argiloso, todas as variáveis apresentaram significância. A quantidade de variação retida por cada componente principal medida pelo primeiro autovalor e pela primeira proporção de variância para os valores em solo arenoso teve desvios-padrão iguais a 0,44 e 3,69, com maior valor na lâmina na L_1 e menor na L_3 . Já em solos argilosos os valores de desvios-padrão foram de 0,43 (autovalor) e 3,62 (proporção de variância), sendo para o L_2 o maior e L_3 o menor. No dendograma, para ambos os solos, as variáveis e as interações entre os fatores foram organizadas em quatro grupos de similaridades. No solo arenoso, constata-se que houve uma separação entre dois grupos principais: lâminas de 50 e 125% (L_1 e L_4) formando um agrupamento e lâminas de 75 e 100% (L_2 e L_3) formando outro. Já para o solo argiloso, todos os níveis de humina na lâmina L_1 se mantiveram no mesmo grupo, indicando, assim, maiores similaridades, o que não foi observado para as demais interações. Os resultados obtidos evidenciam a influência dos nutrientes adsorvidos na humina e das lâminas de água na cultura da alface, sobre tudo em suas variáveis de interesse comercial.

Palavras-chave: Substâncias húmicas. Irrigação. Nutrientes. *Lactuca sativa* L.

ABSTRACT

Humin, a residue from the extraction of organic matter from soils with a strong base, has been shown to be interesting and promising as an adsorbent of environmental interest, due to its high surface area and porosity, in addition to the diversity of functional groups. In this context, the objective of this work was to develop a material from the humin fraction enriched with essential nutrients to plants (Ca^{2+} and Mg^{2+}), and to evaluate its application in agricultural sectors (lettuce culture) in two different types of soil. The material was produced from the extraction of the humin fraction, from a soil rich in organic matter located near the Pratagi River located in Maceió, AL. Characterizations were carried out in order to obtain information on its structure using the organic matter content, atomic ratios, E_4/E_6 ratio and Fourier-transform infrared spectroscopy - FTIR. The adsorption efficiency was determined for the preparation of the multi-element solution of Ca^{2+} and Mg^{2+} (10 mg L^{-1}) at pH 8.0. The adsorbent was filtered through polystyrene filters, air dried and weighed, according to the amount defined for application in the lettuce culture. The experiment was carried out in a protected environment, cultivated in two types of soil (sandy and clayey) at UFAL - *Campus Arapiraca*. The adopted design, for both soils used, was in randomized blocks (DBC), with four replications, in a 4×4 factorial scheme, with 16 treatments and 64 experimental units. The treatments were represented by: four levels of humine enriched with Ca^{2+} and Mg^{2+} ($H_0 = 0.0$; $H_2 = 2.0$; $H_4 = 4.0$ and $H_6 = 6.0 \text{ g}$) and four water slides ($L_1 = 50$; $L_2 = 75$; $L_3 = 100$ and $L_4 = 125\%$, of the culture evapotranspiration). Twelve variables were analyzed: chlorophyll index, crown diameter, plant height, fresh shoot weight, dry shoot weight, number of leaves, leaf area, fresh root weight, dry root weight, root size, leaf water content and water use efficiency. The data were subjected to regression analysis and multivariate analysis with the following set of methods: principal component analysis (PCA) and cluster analysis in a dendrogram, using the statistical software R. In the characterization of the humine sample, it was found a content of $\text{MO} = 8.60$, C/H ratio $= 0.185$ and $E_4/E_6 = 1.26$. According to the FTIR spectrum, bands characteristic of OH, C = C and Si-O stretches were observed for the humine sample and its respective ash. Humine showed a higher adsorption rate (78.92% and 55% for Ca^{2+} and Mg^{2+} , respectively) at pH 8.0 after 120 minutes of stirring. Regarding the variables submitted to the analysis of variance, for the sandy soil, only the plant height and root size did not have a significant effect. For clayey soil, all variables were significant. The amount of variation retained by each main component measured by the first eigenvalue and the first proportion of variance for the values in sandy soil had standard deviations equal to 0.44 and 3.69, with a higher value on the blade in L_1 and less in L_3 . In clayey soils, the standard deviation values were 0.43 (eigenvalue) and 3.62 (proportion of variance), with L_2 the largest and L_3 the smallest. In the dendrogram, for both soils, the variables and interactions between the factors were organized into four groups of similarities. In the sandy soil, it can be seen that there was a separation between two main groups: 50 and 125% sheets (L_1 and L_4) forming a group and 75 and 100% sheets (L_2 and L_3) forming another. As for the clayey soil, all levels of humine in the L_1 blade remained in the same group, thus indicating greater similarities, which was not observed for the other interactions. The results obtained show the influence of the nutrients adsorbed in the humine and the water layers in the lettuce culture, above all in its variables of commercial interest.

Keywords: Humic substances. Irrigation. Nutrients. *Lactuca sativa* L.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vias de formação das substâncias húmicas.....	18
Figura 2 – Croqui demonstrativo do delineamento experimental em blocos ao acaso (DBC) do experimento realizado em casa de vegetação utilizando a cultura da alface tipo crespa. Uma planta por balde representa uma parcela do experimento.....	32
Figura 3 - Recipientes de plástico com capacidade para 4 L (A) perfurados em sua base inferior, posteriormente (B) inserido um dreno (para escoamento da água) e colocado uma tela de náilon, (C) preenchido com brita afim de evitar a passagem de sedimentos e (D) preenchidos com o tipo de solo específico devidamente peneirado.	33
Figura 4 - Sistema de irrigação por gotejamento. Composto por fitas gotejadoras com vazão de 2 L h ⁻¹	33
Figura 5 - Incorporação da humina enriquecida com Ca e Mg na superfície do solo.	34
Figura 6 – Espectro de infravermelho evidenciando a similaridade entre a amostra de humina (H) e sua respectiva amostra de cinzas (Hcinzas). Bandas largas em 3450 cm ⁻¹ atribuísssem a estiramentos -OH de alcoóis, fenóis e ácidos carboxílicos na humina e as interações de partículas de H ₂ O com óxidos presentes nas cinzas. Bandas em 1600 cm ⁻¹ atribuídas a estiramentos C=C. A região de absorção em 1000 cm ⁻¹ e 1200 cm ⁻¹ mostram diferenças significativas entre as amostras. Na amostra de humina estão evidenciados picos de adsorção podendo ser atribuídos a estiramento C-O de alcoóis, fenóis e carboidratos e estiramento Si-O. Já nas cinzas possivelmente é devido a estiramento Si-O.	39
Figura 7 – Porcentagem de retenção de magnésio (Mg) e cálcio (Ca) na humina (H) em função do tempo de contato de agitação (30-2880 min) de acordo com o pH (4,0, 6,0 e 8,0). Mg e Ca apresentaram as máximas taxas de adsorção 55 e 78,92%, respectivamente em pH 8,00 aos 120 minutos de agitação	40
Figura 8 – Índice de clorofila (SPAD) para ambos os fatores em estudos (humina e lâmina) apresentaram efeitos independentes, fato observado para o cultivo da alface do tipo crespa em solo arenoso. (A) Para a humina um efeito quadrático com concavidade para baixo foi observado (ponto de mínimo) enquanto para (B) a lâmina o modelo linear foi o que melhor se ajustou aos dados.	42
Figura 9 – Índice de clorofila (SPAD) para interação entre os fatores humina x lâmina, constatado para o solo argiloso. Os resultados se ajustaram a um modelo polinomial de regressão, com ambos os fatores apresentando conformação quadrática com concavidade para cima.	44
Figura 10 – Diâmetro da copa (DC) em função das lâminas de água, para os solos (A) arenoso e (B) argiloso, apresentando modelo de regressão quadrática para o melhor ajuste dos dados, ambos com concavidade para cima (ponto de máximo).....	45
Figura 11 – Altura da planta (AP), para o solo argiloso, apresentou efeito quadrático para ambos os fatores em estudo, isoladamente.	46

Figura 12 – Número de folhas (NF) para a alface do tipo crespa, quando cultivada em solo argiloso, destacando um comportamento quadrático, diminuindo à medida que há um aumento nos níveis de água das lâminas de irrigação.	46
Figura 13 – Número de folhas (NF), para a alface do tipo crespa, quando cultivada em solo arenoso. Houve interação entre os fatores, com ambos apresentando modelo quadrático. Evidencia-se a concavidade bastante acentuada para o fator lâmina.	47
Figura 14 – Área foliar (AF) para a alface do tipo crespa quando cultivada em solo (A) arenoso e (B) argiloso., em função da interação entre os níveis de humina e lâminas de água.....	48
Figura 15 – Sintomas de desordem nutricional nas plantas de alface do tipo crespa, quando cultivada em ambos os solos utilizados no experimento. (A e B) Amarelamento de folhas mais velhas, típico da deficiência de magnésio na planta. (C e D) Queima de bordos e manchas necróticas entre as nervuras da folha, singular a deficiência de cálcio.	50
Figura 16 – Variáveis massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR) analisadas na alface do tipo crespa cultivada em (A, B, E e F) solo arenoso e (C, D, G e H) argiloso.	53
Figura 17 – Tamanho da raiz (TR) da alface do tipo crespa, quando cultivada em solo argiloso. Ambos os fatores apresentaram modelo de regressão quadrática, com concavidade para baixo (ponto de máximo).	55
Figura 18 – Teor de água nas folhas (TAF) e eficiência do uso da água (EUA) na cultura da alface, quando cultivada em solo (A e B) arenoso e (C e D) argiloso.	57
Figura 19 – Representação dos níveis de humina (H_0 , H_2 , H_4 e H_6) na lâmina de água de 50% da ET_c , para os solos arenoso e argiloso, (A e C) em visualização tridimensional e (B e D) em projeção espacial da ordenação dos vetores, respectivamente, das doze variáveis estudadas no desempenho agrônômico da cultura da alface.	60
Figura 20 - Representação dos níveis de humina (H_0 , H_2 , H_4 e H_6) na lâmina de água de 75% da ET_c , para os solos arenoso e argiloso, (A e C) em visualização tridimensional e (B e D) em projeção espacial da ordenação dos vetores, respectivamente, das doze variáveis estudadas no desempenho agrônômico da cultura da alface.	62
Figura 21 – Representação dos níveis de humina (H_0 , H_2 , H_4 e H_6) na lâmina de água de 100% da ET_c , para os solos arenoso e argiloso, (A e C) em visualização tridimensional e (B e D) em projeção espacial da ordenação dos vetores, respectivamente, das doze variáveis estudadas no desempenho agrônômico da cultura da alface.	63
Figura 22 - Representação dos níveis de humina (H_0 , H_2 , H_4 e H_6) na lâmina de água de 125% da ET_c , para os solos arenoso e argiloso, (A e C) em visualização tridimensional e (B e D) em projeção espacial da ordenação dos vetores, respectivamente, das doze variáveis estudadas no desempenho agrônômico da cultura da alface.	64
Figura 23 - Resultado da análise de agrupamento (dendograma hierárquico de clusters) para doze variáveis estudadas da cultura alface em resposta as interações de níveis de humina e de lâminas de irrigação (HL) em solo arenoso. As variáveis foram organizadas em quatro grupos de similaridades: grupo 1 (MSR, TAF, AF, AP e NF), grupo 2 (MSPA, DC, MFPA, e TR), grupo 3 (SPAD) e grupo 4 (EUA e MFR), bem como quatro grupos de similaridades para quatro	

número de interações HL. A maior similaridade obtida pode ser observada para a interação dos níveis de H com a L₂, exceto para H₆. Houve uma separação entre dois grupos principais: lâminas de 50 e 125% (L₁ e L₄) formando um agrupamento e lâminas de 75 e 100% (L₂ e L₃) formando outro.67

Figura 24- Resultado da análise de agrupamento (dendograma hierárquicas de clusters) para doze variáveis estudadas da cultura alface em resposta as interações de níveis de humina e de lâminas de irrigação (HL) em solo argiloso. Quatro conjuntos de similaridades das variáveis foram organizados em: grupo 1 (MSR, TAF, AP e NF), grupo 2 (MSPA, MFPA, DC e TR), grupo 3 (MFR) e grupo 4 (AF, SPAD e EUA). Quatro agrupamentos, também, foram identificados para as combinações H x L, correspondendo, cada um, a 9, 2, 2 e 3 clusters. ...68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas para os solos arenoso e argiloso coletados em áreas experimentais da Universidade Federal de Alagoas (<i>Campus Arapiraca</i>), utilizados no cultivo da alface do tipo crespa.	31
Tabela 2 - Valores em porcentagem (%) e em milímetros (mm) das lâminas de irrigação utilizados no experimento.....	32
Tabela 3 - Cálculo da adubação para a cultura da alface baseada nas recomendações da 5ª aproximação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.	32
Tabela 4 – Teores de matéria orgânica (%), razão atômica C/H e razão E ₄ /E ₆ da amostra de humina estudada.	38
Tabela 5 - Resumo da análise de variância da cultura da alface em resposta a níveis de humina (H) e lâminas de água (L) cultivada em solos arenoso, variáveis: altura de planta (AP), diâmetro da copa (DC), tamanho de raiz (TR), área foliar (AF), número de folhas (NF), SPAD, matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria fresca da raiz (MFR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), teor de água nas folhas (TAF) eficiência do uso da água (EUA).	41
Tabela 6 - Resumo da análise de variância da cultura da alface em resposta a níveis de humina (H) e lâminas de água (L) cultivada em solo argiloso, variáveis: altura de planta (AP), diâmetro da copa (DC), tamanho de raiz (TR), área foliar (AF), número de folhas (NF), SPAD, matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria fresca da raiz (MFR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), teor de água nas folhas (TAF) eficiência do uso da água (EUA)	41
Tabela 7 - 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 lâmina de água em solo arenoso e argiloso.	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCSEM	Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudanças
ACP	Análise de componentes principais
ADP	Difosfato de adenosina
AcF	Ácido fúlvico
AF	Área foliar
AcH	Ácido húmico
AP	Altura da planta
APL	Arranjo Produtivo Local
ATP	Pirofosfato do trifostato de adenosina
Ca ²⁺	Íon cálcio
CO ₂	Dióxido de carbono
CTC	Capacidade de troca de cátions
DAT	Dias após o transplante
DBC	Delineamento em blocos ao acaso
DC	Diâmetro da copa
ETc	Evapotranspiração da cultura
EUA	Eficiência do uso da água
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FTIR	Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier
H	Humina estudada
H ⁺	Íon hidrogeniônico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IHSS	International Humic Substances Society
L	Lâmina de água
MFPA	Massa fresca da parte aérea
MFR	Massa fresca da raiz
Mg ²⁺	Íon magnésio
MO	Matéria orgânica
MOS	Matéria orgânica do solo
MSPA	Massa seca da parte aérea
MSR	Massa seca da raiz
N	Nitrogênio

NF	Número de folhas
NO ₃ ⁻	Íon nitrato
SH	Substâncias húmicas
SLIMCAP	Sistema Lisimétrico de Informações para Monitoramento de Água pela Plantas
SPAD	Soil Plant Analiser Development
TAF	Teor de água nas folhas
TR	Tamanho da raiz

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Substâncias húmicas.....	17
2.1.1	Humina	19
2.2	Adsorção e dessorção.....	20
2.3	Cálcio e magnésio.....	22
2.4	Irrigação	24
2.5	Alface	26
3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	29
3.1	Extração da humina	29
3.2	Caracterização da humina	29
3.2.1	Espectroscopia na região do Ultravioleta-visível (UV-vis).....	29
3.2.2	Espectroscopia na região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	29
3.3	Preparação da humina enriquecida com Ca^{2+} e Mg^{2+}	30
3.4	Aplicação em sistema real de cultivo	30
3.5	Montagem do experimento em casa de vegetação	32
3.5.1	Montagem do sistema de irrigação	33
3.5.2	Irrigação.....	34
3.5.3	Aplicação da humina enriquecida com Cálcio e Magnésio em cultura de alface .	34
3.5.4	Colheita.....	34
3.6	Variáveis analisadas após aplicação da humina enriquecida com cálcio e magnésio em cultura da alface.....	35
3.6.1	Índice de clorofila (SPAD)	35
3.6.2	Diâmetro da copa (DC).....	35
3.6.3	Altura da planta (AP).....	35
3.6.4	Massa fresca da parte aérea (MFPA).....	35
3.6.5	Massa seca da parte aérea (MSPA)	35
3.6.6	Número de folhas (NF).....	35
3.6.7	Área foliar (AF)	36
3.6.8	Massa fresca da raiz (MFR).....	36
3.6.9	Massa seca da raiz (MSR)	36

3.6.10	Tamanho da raiz (TR).....	36
3.6.11	Teor de água nas folhas (TAF)	36
3.6.12	Eficiência do uso da água (EUA)	36
3.7	Análise estatística.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1	Humina	38
4.1.1	Caracterização.....	38
4.1.2	Determinação da eficiência de adsorção.....	39
4.2	Aplicação da humina enriquecida com Cálcio e Magnésio em cultura de alface: variáveis analisadas	40
4.2.1	Conteúdo de clorofila	42
4.2.2	Diâmetro da copa, altura da planta, número de folhas e área foliar	45
4.2.3	Massa fresca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz.....	50
4.2.4	Tamanho da raiz	54
4.2.5	Teor de água nas folhas e eficiência do uso da água	56
4.3	Análise de componentes principais (ACP)	58
4.4	Análise hierárquica de clusters	65
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
5.1	Propostas futuras	70
	REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico associado à busca pela melhoria da qualidade de vida aumentou consideravelmente a necessidade de alimentos e consequentemente substâncias adicionadas na agricultura, buscando maior produtividade. Entretanto, muitas dessas substâncias atuam inevitavelmente como agentes poluidores, pela elevada concentração adicionada ou por suas propriedades persistentes e metabólicas (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2017). Macro e micronutrientes em excesso podem causar danos à fauna aquática contaminando o ambiente, como a aplicação de fósforo na agricultura de forma indiscriminada que atinge mananciais provocando eutrofização. Nesse contexto, substâncias que liberem nutrientes de maneira controlada são fundamentais para evitar desperdício econômico e impactos ambientais (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

A matéria orgânica natural (MO) presente em solos está associada a substâncias orgânicas e inorgânicas. As substâncias húmicas desempenham um papel vital na fertilidade do solo e na nutrição das plantas, e seu uso nos solos pode fornecer uma fonte de materiais orgânicos e nutrientes (AYUSO *et al.*, 1996; VERLINDEN *et al.*, 2010). Plantas cultivadas em solos contendo quantidades adequadas de humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos são mais saudáveis, mais produtivas, e consequentemente as qualidades nutricionais dos alimentos derivados delas são superiores. Os ácidos fúlvicos e húmicos são frações de substâncias húmicas bem compreendidas pela ciência ambiental do solo, incluindo a capacidade de adsorver metais, incluindo micronutrientes. No entanto, as propriedades físico-químicas das huminas são apenas parcialmente compreendidas, e há relativamente poucos relatos sobre a fração humina, em contraste com as outras frações de substâncias húmicas (STEVENSON, 1994).

A humina é definida pela International Humic Substances Society (IHSS) – Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas, como a fração pouco solúvel independente do pH do meio, tendo uma composição orgânica-mineral com funções importantes no solo. Por resistir à degradação microbiana, a humina é considerada a última estrutura produzida na humificação (IHSS, 2019). A humina apresenta vários grupos funcionais e é extremamente porosa com grande área superficial (CONTRERAS *et al.*, 2006). Estudos têm demonstrado que mais de 60% dos contaminantes antropogênicos estão associados à humina (MALEKANI *et al.*, 1997), evidenciando sua ação adsorvente. Apesar de ter um menor interesse a comunidade científica frente às outras frações da MO, há trabalhos na literatura mostrando sua importante função na interação com contaminantes orgânicos (RICE, 2001; ZHANG *et al.*, 2014), inorgânicos

(metais) (BOTERO *et al.*, 2010; JACUNDINO *et al.*, 2015) e nutrientes (DE LA ROSA *et al.*, 2003; GOUVEIA *et al.*, 2013; OLIVEIRA, D. *et al.*, 2017; FARIAS, 2018).

Partindo da hipótese de que a humina, na literatura, apresenta potencial como adsorvente em diferentes espécies de interesse ambiental, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um material a partir da fração humina enriquecido com nutrientes essenciais as plantas (Ca^{2+} e Mg^{2+}), para aplicação na cultura da alface, irrigada sob lâminas de água, em dois diferentes tipos de solo, avaliando a influência de ambos os fatores sobre as variáveis relacionadas a cultura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Substâncias húmicas

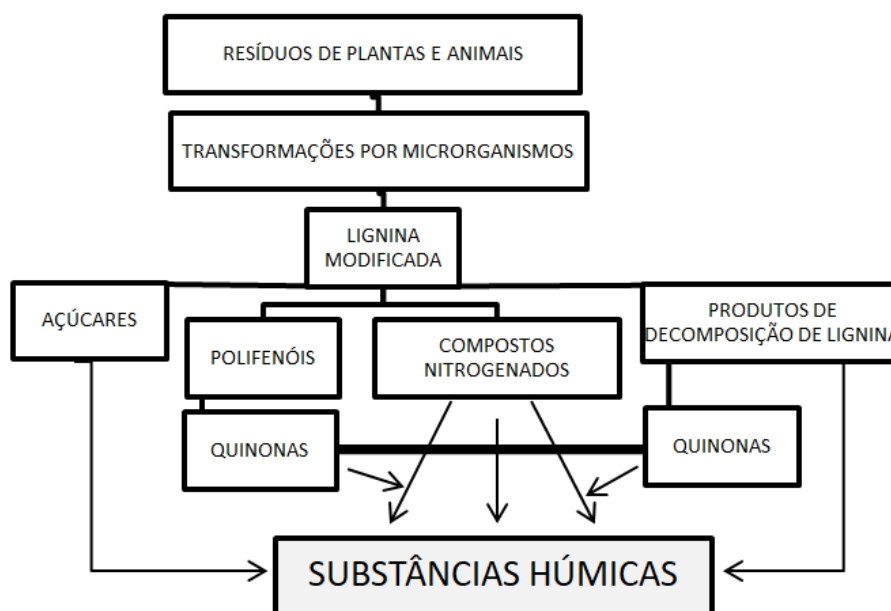
Originadas a partir de reações químicas e bioquímicas que ocorrem durante o processo de decomposição de resíduos de plantas, animais e atividades microbianas, é o componente orgânico mais distribuído no planeta (IHSS, 2019). Uma das mais completas descrições para as substâncias húmicas (SH) é a de que são compostos orgânicos heterogêneos, de coloração escura e produzidos a partir de subprodutos do metabolismo microbiano (SUTTON; SPOSITO, 2005). São formadas por uma complexa gama de moléculas de tamanhos distintos (IHSS, 2019). As diferenças existentes na composição e conformação das SH podem estar atreladas a sua formação.

Um processo longo e complexo envolve a formação e transformação da matéria orgânica do solo, que além de envolver a natureza química dos diferentes compostos orgânicos, também tem influência direta do grau de alteração do solo, como: a adição de material orgânico não decomposto, alterações no seu uso e em seu manejo. Tais fatores são responsáveis pela natureza singular e a reatividade das SH, estabelecendo a influência da MOS nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (PICCOLO, 1996).

Diversos são mecanismos de formação das SH descritos na literatura. Em geral, destacam a ação microbiana e a incorporação de nitrogenados. Conforme Stevenson (1994), à depender das características predominantes do ambiente, podem ocorrer quatro principais vias de formação das substâncias húmicas (Figura 1). Originam-se a partir de transformações bioquímicas de compostos como lignina, celulose, hemicelulose, açúcares, aminoácidos, etc. (SILVA.; MENDONÇA, 2007). Cada via de formação apresenta características intrínsecas, podendo variar de acordo com o clima, solo e vegetação de origem. Há a possibilidade de tais mecanismos ocorrerem de modo simultâneo, em maior ou menor grau, o que, conseqüentemente, acarretará nas grandes diferenças estruturais das SH no solo. (PICCOLO, 2001; STEVENSON, 1994).

O estabelecimento de um modelo estrutural para as SH é um tema controverso. Atualmente, a estrutura proposta pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS) é mais aceita, que caracteriza como uma macromolécula se assemelhando a um grande polímero, formado a partir de diferentes vias de formação (vide Figura 1) (STEVENSON, 1994).

Figura 1 – Vias de formação das substâncias húmicas



Fonte: Adaptado de Stevenson (1994).

Wershaw (1993) propôs uma estrutura micelar para as SH, onde seria formada a princípio pela degradação de biomoléculas (lipídeos e ligninas), mantendo boa parte da estrutura da molécula, mas com a formação de uma molécula anfifílica. A agregação de várias micelas e sua interação com os minerais do solo seriam o constituinte do húmus (CANELLAS *et al.*, 2005).

Um novo conceito para a estrutura das SH, introduzido por Conte e Piccolo (1999) é de que a estrutura seria uma associação supramolecular formada pela aglomeração de moléculas orgânicas simples, resultantes da degradação microbiana e da síntese da lignina. O tamanho molecular aparente das SH devia-se a pontes de hidrogênio e/ou interações hidrofóbicas, resultando em uma conformação mais simples (CONTE; PICCOLO, 1999; PICCOLO, 2001). A estrutura das SH seria variável, de acordo com o ambiente e as interações que nele ocorrem. Avanços na área e o uso de técnicas como espectroscopia, microscopia e pirólise, tem dado força a este conceito de associação supramolecular (SANTOS, 2014). Este modelo é bastante útil para descrever o comportamento ambiental das substâncias húmicas, bem como os efeitos que elas têm sobre o metabolismo das plantas.

A interação planta-microrganismos pode alterar a estrutura e a conformação das substâncias húmicas, e pequenas unidades portadoras de bioatividade podem estimular o crescimento e o metabolismo dos organismos (ROSA *et al.*, 2009). Na literatura, estudos são relatados mostrando alterações fisiológicas atribuídas às SH, onde, estas, contribuem de

maneira direta no desenvolvimento e produtividade de plantas. (CANELLAS *et al*, 2002; NARDI *et al.*, 2002; TREVISAN, 2010). No entanto, os mecanismos de interação entre as SH e as plantas ainda não são totalmente claros (SANTOS, 2014).

Os grupos funcionais distintos presentes nas substâncias húmicas, como carbonilas e hidroxilas fenólicas, por exemplo, fazem com que elas assumam um comportamento polieletrólítico, atuando como agentes complexantes de diversos íons metálicos; são também capazes de adsorver diversos poluentes orgânicos, como pesticidas, diminuindo assim as concentrações desses materiais no ambiente (OLIVEIRA, E. 2011). As SH são também consideradas as principais reguladoras de troca catiônica (CTC), além de formar complexos com íons micronutrientes de plantas, permitindo que eles migrem, o que os torna biodisponíveis (COSTA PRIMO *et al.*, 2011).

A classificação das SH leva em consideração as frações que a compõe. As frações são definidas de acordo com suas características de solubilidade, onde se pode destacar: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina. Estruturalmente, as três frações húmicas são semelhantes, mas diferem em peso molecular e conteúdo de grupos funcionais (PICCOLO, 1996). O AH é a fração solúvel em meio alcalino e precipita pela acidificação do extrato alcalino; o AF que permanece na solução quando o extrato alcalino é acidificado e a humina é a fração não extraível em ambos os meios (HAYES *et al*, 1989).

Os AH e AF são frações de substâncias húmicas bem compreendidas pela ciência ambiental do solo, incluindo a capacidade de adsorver metais (BOTERO, 2010), macronutrientes (FARIAS, 2018) e micronutrientes (GOVEIA, 2013). Muitos estudos sobre o uso de substâncias húmicas para melhorar o crescimento das plantas foram relatados na literatura, mas muito pouco foi feito usando a fração humina, quando comparada com as demais frações (TUFENKCI *et al.*, 2006; VERLINDEN *et al.*, 2010; STEVENSON, 1994). Assim como, suas propriedades físico-químicas, também, são apenas parcialmente compreendidas.

2.1.1 Humina

A humina é definida pela IHSS como a fração pouco solúvel independente do pH do meio, tendo uma composição orgânica-mineral com funções importantes no solo (IHSS, 2019). Devido às suas características de alta massa molecular e à forte interação com a fração mineral do solo confere resistência à degradação microbiana (ORLOV, 1992; STEVENSON, 1994). Por resistir à degradação microbiana, a humina é considerada a última estrutura produzida na humificação.

A humina apresenta vários grupos funcionais como vários ésteres metílicos de ácidos graxos, metoxi alcanos e grupos aromáticos polares, que formam múltiplos locais de ligação e é extremamente porosa com grande área superficial o que pode resultar em um eficiente adsorvente de íons metálicos presentes na solução. Estudos têm demonstrado que mais de 60% dos contaminantes antropogênicos estão associados à humina (MALEKANI *et al.*, 1997), evidenciando sua ação adsorvente.

As propriedades físico-químicas da humina podem trazer vários benefícios para os solos, incluindo aumento da capacidade de retenção de água, melhor estrutura e melhoria da fertilidade em geral devido à sua capacidade de atuar como um sistema de troca catiônica. A humina é, portanto, um componente essencial dos solos férteis (SANTOS; PAES, 2016). Jesus *et al.*, (2011) evidencia que a humina é um dos materiais mais promissores para a adsorção de metais potencialmente tóxicos, por se tratar de um material orgânico natural, e principalmente de baixo custo, com elevada capacidade complexante, além de ser destinada de forma útil, visto que é um resíduo.

Apesar de ter um menor interesse a comunidade científica frente às outras frações da MOS, há trabalhos na literatura mostrando sua importante função na interação com contaminantes orgânicos (RICE, 2001; ZHANG *et al.*, 2014; CUNHA *et al.*, 2010), inorgânicos (metais) (JACUNDINO *et al.*, 2015) e nutrientes (DE LA ROSA *et al.*, 2003; GOVEIA *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2017; FARIAS, 2018).

De acordo com FARIAS (2018) a humina pode atuar como fertilizante natural liberando nutrientes para a planta, evitando prejuízos econômicos e excesso de metais no ambiente. O aumento da utilização de fertilizantes agrícolas tem acelerado a degradação de ambientes aquáticos e terrestres (CARSON, 2010). Assim, a preocupação com a escassez alimentar associado à busca por alternativas viáveis de aumento da fertilidade do solo tem como consequência a necessidade de investigações científicas por substâncias que atuem como fertilizantes naturais sem prejuízos ambientais.

A disponibilidade de macronutrientes no ambiente depende da sua forma química e a sua toxicidade está relacionada com a atividade do íon livre (SOUZA *et al.* 2016). Assim, compreender como esses nutrientes interagem com as huminas possibilita a aplicação como um possível fertilizante orgânico natural.

2.2 Adsorção e dessorção

A adsorção é uma operação de transferência de massa, a qual estuda a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos

líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos. Uma vez que os componentes adsorvidos, concentram-se sobre a superfície externa, quanto maior for esta superfície externa por unidade de massa sólida, tanto mais favorável será a adsorção. Por isso, geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas (RUTHVEN, 1984). A espécie que se acumula na interface do material é normalmente denominada de adsorvato ou adsorbato; e a superfície sólida na qual o adsorvato se acumula de adsorvente ou adsorbente (RUTHVEN, 1984).

As moléculas e átomos podem se ligar de duas maneiras a uma superfície sólida. Na adsorção física (ou fisissorção) há uma interação de van der Waals (interação de dispersão, ou interação dipolo-dipolo) entre o adsorvato e adsorvente (ATKINS, 2008). Na adsorção química (ou quimissorção), as moléculas (ou átomos) unem-se à superfície do adsorvente por ligações químicas (usualmente covalentes) e tendem a se acomodar em sítios que propiciem o número de coordenação máximo com o substrato (ATKINS, 2008). É altamente específica e nem todas as superfícies sólidas possuem sítios ativos capazes de adsorver quimicamente o adsorvato. Deve-se ressaltar que nem todas as moléculas presentes no fluido podem ser adsorvidas quimicamente, somente aquelas capazes de se ligar ao sítio ativo (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Os fenômenos de adsorção são resultados de uma combinação entre os tipos de forças envolvidas na adsorção física e química. Desta forma, são vários os fatores que influenciam o processo de adsorção como a área superficial, as propriedades do adsorvente e do adsorvato, a temperatura do sistema, natureza do solvente e o pH do meio. É um processo que depende de vários fatores tais como: natureza do adsorvente, do adsorvato e das condições operacionais. As características do adsorvente incluem: área superficial, tamanho do poro, densidade, grupos funcionais presentes na superfície e hidrofobicidade do material. Por outro lado, a natureza do adsorvato depende da polaridade, do tamanho da molécula, da solubilidade e da acidez ou basicidade. As condições operacionais incluem, principalmente, temperatura, pH e natureza do solvente (COONEY, 1999).

A adsorção compõe um dos mecanismos principais que controlam os níveis dos nutrientes na solução do solo. A adsorção pode ser reversível, parcialmente reversível ou irreversível, ocorrendo na superfície coloidal segundo diversos mecanismos envolvendo ou não troca iônica (CAMARGO, 2006). LINDSAY (1979) considera que a adsorção e a atividade de microorganismos são fatores importantes no controle do nível de nutrientes na solução do solo, mas afirma que a fase mineral é o agente controlador fundamental da quantidade dos elementos na solução.

A adsorção dos nutrientes é um processo de união deles com as superfícies coloidais do solo suficientemente forte para ser considerado importante no controle da sua quantidade e movimentação na solução do solo e, conseqüentemente, na sua disponibilidade para as plantas (CAMARGO, 2006).

A dessorção pode ser definida como a liberação de uma substância ou material de uma interface entre uma superfície sólida e uma solução (VINHAL-FREITAS *et al.*, 2010). Nos estudos de troca iônica, a forma do íon é idêntica na adsorção e na dessorção, entretanto, o processo de dessorção, pode ser afetado pela histerese (EVANGELOU, 1998). Os metais ligados à matéria orgânica são rapidamente adsorvidos, enquanto na dessorção ocorre de modo mais lento (YIN *et al.*, 2001). A histerese ocasiona, assim, a liberação lenta e/ou incompleta, pois os complexos de esfera interna requerem energia de ativação grande para o processo de dessorção (McBRIDE, 1989), ou seja, há certo grau de irreversibilidade. O efeito da histerese é afetado pela duração do período de equilíbrio (EVANGELOU, 1998).

A disponibilidade de metais nos solos para as plantas depende da sua dessorção na superfície dos materiais coloidais do solo para a solução (CASAGRANDE *et al.*, 2004). Bolt *et al.* (1986) afirmaram que o conhecimento do processo de dessorção de metais no solo é tão importante quanto o conhecimento dos mecanismos de adsorção.

Segundo Gao *et al.* (2003), a dessorção de metais depende do teor livre do elemento na solução do solo, do pH do solo, da temperatura, da quantidade do elemento adicionado e do tempo de contato entre o solo e a solução. McBride (1989) relata que o abaixamento do pH favorece a dessorção de metais, pois os íons hidrogeniônios (H^+) podem deslocar parte dos metais adsorvidos em forma não trocável.

As reações de adsorção-dessorção de metais nas superfícies dos constituintes coloidais do solo são consideradas responsáveis pela concentração na solução do solo e conseqüentemente pela disponibilidade às plantas (SWIFT; McLAREN, 1991). Os principais fatores que interferem nessa afinidade são a relação entre a valência e o raio iônico do cátion e a polaridade do cátion quando submetido a um campo elétrico (VINHAL-FREITAS *et al.*, 2010).

2.3 Cálcio e magnésio

Dentre os macronutrientes catiônicos, o cálcio e o magnésio são transportados por fluxo de massa (BARBER, 1974). A inter-relação entre os nutrientes cálcio e magnésio na nutrição vegetal está relacionada às suas propriedades químicas próximas, como o raio iônico, valência,

grau de hidratação e mobilidade, fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo, e na absorção pelas raízes. Como consequência, a presença de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro, fato ocorrente para os íons cálcio e magnésio (ORLANDO FILHO *et al.*, 1996).

Ambos os cátions podem ser encontrados como íons em solução no citosol (líquido que preenche o interior do citoplasma) ou vacúolos (estruturas celulares, muito abundantes nas células vegetais contidas no citoplasma da célula) ou podem estar ligados eletrostaticamente ou como ligantes a compostos maiores dotados de carbono. Em geral, cátions como magnésio e cálcio são assimilados pela formação de complexos de valência coordenada e ligações eletrostáticas com aminoácidos, fosfolipídeos e outras moléculas carregadas negativamente (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O cálcio, como cátion divalente (Ca^{2+}), é necessário para papéis estruturais na parede e nas membranas celulares, como contra-cátion para ânions inorgânicos e orgânicos no vacúolo e como mensageiro intracelular no citosol (MARSCHNER, 2011). É utilizada na síntese de novas paredes celulares, em particular a lamela média, que separa células recentemente divididas. O cálcio também é utilizado no fuso mitótico durante a divisão celular. Ele é necessário para o funcionamento normal das membranas vegetais e foi-lhe atribuído o papel de mensageiro secundário em várias respostas das plantas, tanto a sinais ambientais quanto a hormonais (WHITE; BROADLEY, 2003; HETHERINGTON; BROWNLEE, 2004).

Em sua função como mensageiro secundário, o cálcio pode se ligar à calmodulina, uma proteína encontrada no citosol de células vegetais. O complexo calmodulina-cálcio, então, se liga a diferentes tipos de proteínas, incluindo cinases, fosfatases, proteínas mensageiras secundárias de sinalização e proteínas do citoesqueleto. Desse modo, ele regula muitos processos celulares, desde o controle de transcrição e sobrevivência celular até a liberação de sinais químicos. O cálcio é absorvido pelas raízes da solução do solo e entregue à parte aérea através do xilema. Pode atravessar a raiz através do citoplasma de células ligadas por plasmodesmata (ou simplotasto) ou pelos espaços entre as células (aploplasto) (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Ainda conforme Taiz e Zeiger (2009), os sintomas característicos da deficiência de cálcio incluem a necrose de regiões meristemáticas jovens, como os ápices de raízes ou de folhas jovens, nas quais a divisão celular e a formação de paredes celulares são mais rápidas. O sistema de raízes de uma planta deficiente em cálcio pode se mostrar acastanhado, curto e muito ramificado. Pode haver forte redução no crescimento, se as regiões meristemáticas da planta morrerem prematuramente (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O magnésio é um cátion essencial absorvido da solução do solo na forma de cátion Mg^{2+} , sendo interceptado pelas raízes por fluxo de massa e crescimento radicular (NOVAES *et al.*, 2007). O fluxo de massa é o responsável pelo maior percentual de contato dos cátions bivalentes como o magnésio com a raiz. A taxa de absorção do magnésio pelas plantas pode ser influenciada pela concentração de outros cátions como K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} e Mn^{2+} em solução, assim como H^+ em condições de pH baixo. No interior da planta, o Mg se movimenta seguindo o fluxo transpiracional, logo, maiores concentrações desse nutriente são encontradas nos tecidos mais jovens (BARROSO, 1985).

Em células vegetais, os íons Mg^{2+} têm um papel específico na ativação de enzimas envolvidas na respiração, fotossíntese e síntese de DNA e RNA (TAIZ; ZEIGER, 2009). O magnésio também ocupa o centro de uma estrutura planar formada por um anel tetrapirrólico.

Segundo Coelho e Verlengia (1973), o magnésio está relacionado com o transporte de carboidratos nas plantas. Plantas que apresentem baixo conteúdo de carboidratos devem-se à baixa atividade fotossintética resultante do insuficiente suprimento de magnésio. O magnésio se concentra mais nas folhas e acumula-se nas partes em crescimento do caule e raízes. Também é cofator de quase todas as enzimas fosforilativas, formando uma ponte entre o pirofosfato do trifostafato de adenosina (ATP) ou do difosfato de adenosina (ADP) e a molécula da enzima. A transferência de energia desses dois compostos é fundamental nos processos de fotossíntese, respiração, reação de síntese dos compostos orgânicos, absorção iônica e trabalho mecânico realizado pela planta (MALAVOLTA, 1980).

Um sintoma característico da deficiência de magnésio é a clorose entre as nervuras foliares, ocorrendo, primeiro, em folhas mais velhas, por causa da mobilidade deste cátion (MALAVOLTA *et al.*, 1997). Este padrão de clorose ocorre porque a clorofila nos feixes vasculares permanece inalterada em períodos mais longos do que aquela nas células entre os feixes. Se a deficiência é muito grande, as folhas podem se tornar amarelas ou brancas. Um sintoma adicional da deficiência de magnésio pode ser a abscisão foliar prematura (TAIZ; ZEIGER, 2009).

2.4 Irrigação

De todos os recursos de que as plantas necessitam para crescer e funcionar, a água é o mais abundante e, ainda, frequentemente o mais limitante (TAIZ; ZEIGER, 2009), desempenhando, assim, um papel fundamental na vida da planta. Ainda conforme os autores mencionados, à medida que a fotossíntese exige que as plantas retirem dióxido de carbono

(CO₂) da atmosfera as expõem à perda de água e à ameaça de desidratação. A água é absorvida pelas raízes e transportada ao longo do corpo da planta. O equilíbrio entre a absorção, o transporte, e a perda de água representa um importante desafio para as plantas terrestres. Assim, se não houver uma reposição hídrica adequada, ocorrerá a perda excessiva de água da planta por evapotranspiração, consequentemente, a queda da produção.

A deficiência de água é, normalmente, o fator mais limitante para a obtenção de produtividades elevadas e produtos de boa qualidade, mas o excesso também pode ser prejudicial (MAROUELLI, 1996). A disponibilidade de água da mesma forma que limita a produtividade de ecossistemas naturais, também leva a diferenças marcantes no tipo de vegetação que se desenvolve ao longo de gradientes de precipitação (TAIZ; ZEIGER, 2009). A reposição de água ao solo através da irrigação, na quantidade e no momento oportuno se demonstra eficaz para uma satisfatória produção vegetal (MAROUELLI *et al.*, 1996)

Estima-se que 97,5% da água existente no mundo é salgada e não é adequada ao nosso consumo direto nem à irrigação da plantação. Dos 2,5% de água doce, a maior parte (69%) é de difícil acesso, pois está concentrada nas geleiras, 30% são águas subterrâneas (armazenadas em aquíferos) e 1% encontra-se nos rios (ANA, 2017).

A prática da irrigação no mundo ocorre desde as antigas civilizações, notadamente nas que se desenvolveram em regiões secas como no Egito e na Mesopotâmia. Em regiões de características físico-climáticas mais favoráveis, a agricultura tendeu a se desenvolver inicialmente em regiões onde a quantidade e a distribuição espacial e temporal das chuvas são capazes de suprir a necessidade das culturas, de forma que a irrigação passou a emergir em períodos mais recentes (ANA, 2017).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), os líderes mundiais com maior área equipada para irrigação são a China e a Índia, com cerca de 70 milhões de hectares (Mha) cada, seguidos dos EUA (26,7 Mha), do Paquistão (20,0 Mha) e do Irã (8,7 Mha). O Brasil aparece no grupo de países que possui área entre 4 e 7 Mha (ANA, 2017). Globalmente, a produtividade obtida com a prática da agricultura irrigada é 2,7 vezes maior do que a obtida pela agricultura tradicional – de sequeiro –, que é dependente das irregularidades próprias das águas das chuvas. Por isso, a prática da irrigação, que possibilita melhorar o manejo da produção e da disponibilidade de água – em quantidade, em qualidade e em oportunidade – e auxilia na eficácia da oferta dos insumos aos cultivos, desempenhará um crescente e fundamental papel na produção agrícola e pecuária (CHRISTOFIDIS, 2013).

A escassez de água no mundo é um problema diagnosticado, especialmente, em países com grandes regiões semiáridas como o Brasil (PAULUS *et al.*, 2010). Constituindo uma

técnica que proporciona alcançar à máxima produção, em complementação às demais práticas agrícolas, a irrigação tem sido alvo de considerável interesse, principalmente nas regiões Nordeste e Centro-Sul do Brasil (LIMA, J., 1999). No semiárido brasileiro, a irrigação é uma prática fundamental e importante para a agricultura, visto que é uma região afetada pela escassez contínua de água (ANA, 2017). Na produção agrícola ter água em quantidade suficiente ao desenvolvimento de todas as fases de desenvolvimento vegetal da cultura é essencial.

No estado de Alagoas culturas como alface, cana-de-açúcar, cebolinha, cenoura, feijão, rabanete etc. (SANTOS, M. *et al.*, 2016; SANTOS, 2005; SILVA, P. *et al.*, 2014; SILVA JÚNIOR; LAGES e SILVA., 2018; LIMA, M. *et al.*, 2011; GONÇALVES *et al.*, 2017) foram implementadas e estudadas utilizando os mais diversos métodos de irrigação, estes que podem ser agrupados de acordo com a forma de aplicação da água. Destacam-se quatro métodos principais: irrigação por superfície, irrigação subterrânea (ou subsuperficial), irrigação por aspersão e irrigação localizada (ou microirrigação) (ANA, 2017).

As hortaliças em sua grande parte possuem em sua constituição em torno 95% de água. Em geral, têm seu desenvolvimento intensamente influenciado pelas condições de umidade do solo (MAROUELLI, 1996).

O manejo de irrigação na cultura da alface deve promover a reposição hídrica que o sistema solo-planta necessita (HAMANDA; TESTEZLAF, 1995). As irrigações devem ser realizadas de forma frequente e abundante, deixando o solo com um teor de umidade acima de 80% ao longo do ciclo, devido a sua ampla área foliar que remete a evapotranspiração intensa, seu delicado e superficial sistema radicular e a alta produção de biomassa. A exigência em água, pela cultura, aumenta de acordo com o estágio de desenvolvimento (FILGUEIRA, 2008). Ainda segundo o autor, as irrigações para a cultura da alface devem ser realizadas de forma frequente e abundante devido a sua ampla área foliar que remete a evapotranspiração intensa, delicado e superficial sistema radicular e a elevada capacidade de produção de biomassa.

2.5 Alface

Exigente em água, a cultura da alface, requer um manejo adequado da irrigação. A irrigação é importante não apenas por suprir as necessidades hídricas das plantas, mas também por minimizar problemas como doenças e lixiviação de nutrientes, bem como gastos desnecessários com água e energia (KOETZ *et al.*, 2006).

A crescente demanda por alimentos está indo além das necessidades nutricionais, tornando-se imprescindível o bem-estar, a redução de doenças e também o aumento da vida útil (BASLAM *et al.*, 2011). O mercado de hortaliças vem apresentando grandes mudanças, frente ao mercado e o consumidor, representando uma parcela importante na alimentação brasileira (FIGUEIRA *et al.*, 2018). O aumento do consumo de vegetais, de acordo com estudos epidemiológicos, tem sido correlacionado a redução dos riscos de doenças cardiovasculares, câncer e o declínio funcional relacionado à idade (BASLAM *et al.*, 2011). SHEWRY (2009) aponta que a presença de macronutrientes, micronutrientes e compostos bioativos em vegetais podem estar relacionados á esses benefícios à saúde.

A alface (*Lactuca sativa* L.) está incluída dentre as principais hortaliças de consumo diário do homem (CARNEIRO, 1981). Pertencente à família *Asteracea* é uma planta herbácea, anual, originária de clima temperado (HENZ; SUINAGA, 2009). Possui sistema radicular tipo pivotante, com raízes muito finas, curtas e delicadas. O seu caule é não ramificado, curto, onde se prendem as folhas, apresentam a coloração do verde escuro ao verde-amarelo, com algumas exceções das variedades de coloração roxa (CAMARGO, L., 1984). Possui grande importância alimentar, contendo em sua composição química em torno 95% de água, além de fibras, carboidratos, açúcares, vitaminas e outros nutrientes (MAGALHÃES, 2006). De maneira geral, a alface é consumida na forma *in natura*, o que faz com que suas propriedades nutricionais (MURAYAMA, 1983) e tranquilizantes (ANDRADE JÚNIOR e KLAR, 1997) sejam melhor aproveitadas pelo organismo.

Vários pesquisadores classificam a alface (*Lactuca sativa* L.) como a hortaliça folhosa mais conhecida mundialmente assim como a de maior importância econômica. O maior produtor de alface do mundo é a China, que produz principalmente uma alface caule (*L. sativa* L. var. *Angustana*) cultivada principalmente para se consumir a haste ereta. Os Estados Unidos (EUA) e a Europa Ocidental contribuem em torno de 22% e 13% da produção total de alface em todo o mundo, respectivamente (MOU, 2008).

No Brasil, segundo a Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas (ABCSEM), atualmente, a alface se destaca por ser a folhosa mais consumida e a terceira hortaliça em maior volume de produção (ABCSEM, 2013). O número de estabelecimentos que produzem a alface no Brasil, segundo o Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é de 108.603 unidades, que produzem um total de 908.186 toneladas por ano (IBGE, 2017). As alfaces mais conhecidas e consumidas, no país, são as crespas e as lisas, mas nos últimos anos também apareceram cultivares roxas e com as folhas frisadas (HENZ; SUINAGA, 2009).

Em Alagoas, a partir da criação de um cinturão verde concentrado na produção de hortaliças na mesorregião do agreste, no município de Arapiraca, uma espécie de polo de desenvolvimento dessa região, chegou-se a autossuficiência na produção de alface. Esse fato é interessante, porque se tratou de uma forma bem sucedida de compensar a queda da produção fumageira na estrutura agrária desconcentrada daquela localidade (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2011). Em Alagoas, a região do Arranjo Produtivo Local (APL) de Horticultura do Agreste, composta por nove municípios, é a maior produtora de hortaliças do Estado, sendo autossustentável na produção de alface.

A alface do tipo crespa vem ganhando um considerável destaque nos últimos anos, em virtude de vantagens no elo mercado-consumidor da cadeia produtiva como: melhores resistências a doenças e ao transporte, maior período pós-colheita e melhor paladar. Apreço por este tipo de alface, também é destacado pelos produtores, visto que a hortaliça apresenta aspecto de manuseio e transporte facilitado devido à disposição de suas folhas, o que a torna preferível entre os grupos (RODRIGUES *et al.*, 2007).

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Extração da humina

A humina estudada (H) foi extraída, seguindo as recomendações de grande parte dos pesquisadores associados à IHSS (FARIAS, 2018), de um solo coletado em uma área não agricultável, com elevados teores de matéria orgânica localizado nas proximidades do Rio Patagi com latitude 9°33'56.5"S e longitude 35°39'08.0"W no município de Maceió – AL. A cidade de Maceió pode ser classificada pelo clima tropical chuvoso, com verão seco e inverno úmido. As temperaturas variam entre 23°C e 28°C na região. As chuvas nesta área se concentram no inverno, registrando índices de precipitação entre 1800 e 2000 mm (FARIAS, 2018).

3.2 Caracterização da humina

O teor de matéria orgânica (MO) foi determinado por calcinação, em triplicata. Foram adicionadas as amostras em cadinhos de porcelana e colocado em mufla (digital microprocessada Zezimaq, modelo 2000 G-2RP) a 750° C por 4 h (Adaptado de Davies, 1974). Em seguida, essas amostras foram acondicionadas em dessecador e pesadas. O percentual do teor de MO foi obtido pela diferença entre a amostra calcinada (m_f) e a amostra *in natura* (m_i), que foi expressa em relação à quantidade de amostra inicial, conforme a Equação 1, considerando a média entre as três determinações.

$$\%MO = \left(\frac{m_f - m_i}{m_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

3.2.1 Espectroscopia na região do Ultravioleta-visível (UV-vis)

Determinou-se a razão E_4/E_6 pelas absorvâncias entre 465 e 665 nm em espectrofotômetro UV-Vis 1650 PC Shimadzu de duplo feixe, equipado com cubetas de quartzo de 1,0 cm (caminho óptico) na Central Analítica Multiusuário da UFAL – Campus Arapiraca. Foram pesadas 2,0 mg da amostra de H em 10 ml de NaHCO_3 0,05 mol L⁻¹ afim de se obter uma concentração de amostra igual a 10 mg L⁻¹. Todas as amostras foram analisadas em pH 8.

3.2.2 Espectroscopia na região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

As amostras foram primeiramente homogeneizadas em almofariz com KBr previamente seco a 105 °C por 24 h, 1:100 KBr/amostra (m/m), em seguida comprimidas em um pastilhador até que ficassem mais incolores. As medidas foram realizadas na região de 400 a 4000 cm⁻¹,

pelo modo de transmissão com resolução de 4 cm^{-1} e 32 varreduras. As atribuições das bandas de absorção foram feitas de acordo com as recomendações de PAVIA *et al.*, 2010. Estas análises foram realizadas na Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, *Campus* Sorocaba. Utilizou-se um espectrômetro Nicolet IR 200 FT-IR (Thermo Scientific) equipado com um sistema de aquisição de dados (FARIAS, 2018).

3.3 Preparação da humina enriquecida com Ca^{2+} e Mg^{2+}

A eficiência de adsorção da humina por cálcio e magnésio foi determinada a partir da diferença entre a concentração inicial do adsorvente (mg L^{-1}) e a concentração em equilíbrio do adsorvente (mg L^{-1}), que foi expressa em relação à quantidade de concentração inicial, conforme a Equação 2.

$$\% \text{ adsorção} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

A humina enriquecida com Ca^{2+} e Mg^{2+} foi preparada pela adição de 50 g da humina (H) em 150 mL da solução de Ca^{2+} e Mg^{2+} 10 mg L^{-1} e pH ajustado a 8,0. O contato entre o adsorvente e o adsorvato foi efetivado em uma mesa agitadora orbital digital com time SOLAB SL – 180/DT, na frequência de 150 rpm com tempo de agitação de 120 minutos. O adsorvente foi filtrado em filtros de poliestireno, secos ao ar e pesados, de acordo com a quantidade definida para aplicação em sistema real de cultivo.

3.4 Aplicação em sistema real de cultivo

Os experimentos foram realizados em ambiente protegido (casa de vegetação) na área experimental do *Campus* Arapiraca na Universidade Federal de Alagoas, localizada na mesorregião Agreste de Alagoas, com coordenadas geodésicas ($9^\circ 45' 09''\text{ S}$, $36^\circ 39' 40''\text{ W}$, altitude de 325 metros). Esta região é uma transição entre a Zona da Mata e o Sertão Alagoano, cujo 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 $854,27\text{ mm ano}^{-1}$, já a estação seca vai de setembro a março, sendo dezembro o mês mais seco do ano (XAVIER; DORNELLAS, 2010).

Inicialmente foram selecionadas duas áreas para coleta dos solos a serem utilizados no experimento, classificados como arenosos e argilosos. As áreas situam-se na UFAL – *Campus* Arapiraca, locais de experimentação do Grupo Irriga.

Amostras dos solos foram coletadas na profundidade de 0,0 – 0,2 m, para posterior análise química dos elementos presentes. Após a coleta as amostras foram destorroadas e peneiradas em uma malha de 2,0 mm, acondicionadas em sacola plástica, devidamente identificadas e encaminhadas para a Central Analítica, Maceió – AL. As características químicas de ambos os solos utilizados no experimento encontram-se dispostas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características químicas para os solos arenoso e argiloso coletados em áreas experimentais da Universidade Federal de Alagoas (*Campus Arapiraca*), utilizados no cultivo da alface do tipo crespa.

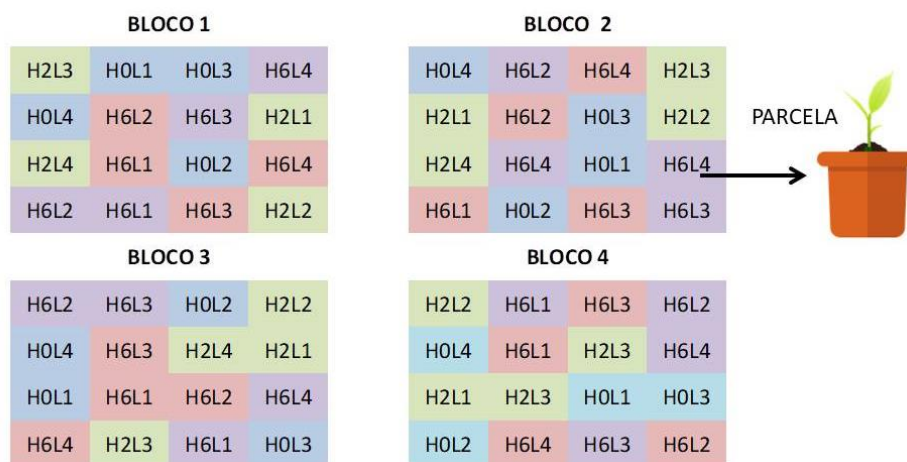
pH	M.O.	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H
(H ₂ O)	(%)	------(mg L ⁻¹)-----						
-								
SOLO ARENOSO								
5,0	0,8	9,0	62	31	280,6	109,4	6,3	28,3
SOLO ARGILOSO								
5,2	1,0	9	101	33	160,3	72,9	16,19	24,2

Fonte: A autora (2020).

A cultivar utilizada foi a alface crespa (*Lactuca sativa* L.). As mudas foram adquiridas por produtores de viveiros comerciais existentes na cidade de Arapiraca- AL. O transplântio em ambiente protegido foi realizado no dia 16/01/2020, colocando-se uma planta por recipiente. Tal cultura vem se destacando no mercado, induzindo aos produtores a cultivá-la, principalmente pelo seu ciclo curto e cultivo fácil, podendo ser produzida em pequenas áreas durante todo o ano.

O delineamento experimental consistiu em blocos ao acaso (DBC), possuindo 4 blocos, em esquema fatorial 4x4, com 16 tratamentos e 64 unidades experimentais, para cada tipo de solo (Figura 2). Os tratamentos foram representados por: quatro níveis de humina enriquecida com Ca e Mg (H₀= 0,0; H₂= 2,0; H₄= 4,0 e H₆= 6,0 g) e quatro lâminas de água (L₁= 50; L₂= 75; L₃= 100 e L₄= 125 % determinados pela evapotranspiração da cultura – ET_c) (Tabela 2), obtido por meio do aplicativo SLIMCAP (Sistema Lisimétrico de Informações para Monitoramento de Água pela Plantas) (SANTOS, 2018). Os tratamentos foram os mesmos para ambos os solos utilizados. A adubação de plantio comum aos tratamentos foi realizada com base nas recomendações da 5ª aproximação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (Tabela 3).

Figura 2 – Esquema demonstrativo do delineamento experimental em blocos ao acaso (DBC) do experimento realizado em casa de vegetação utilizando a cultura da alface tipo crespa. Uma planta por balde representa uma parcela do experimento.



Fonte: A autora (2020).

Tabela 2 - Valores em porcentagem (%) e em milímetros (mm) das lâminas de irrigação utilizados no experimento.

Solo	Lâmina (mm)			
	L ₁ (50%)	L ₂ (75%)	L ₃ (100%)	L ₄ (125%)
ARENOSO	127,87	191,8	255,74	319,67
ARGILOSO	109,98	164,97	219,96	274,95

Fonte: A autora (2020).

Tabela 3 - Cálculo da adubação para a cultura da alface baseada nas recomendações da 5ª aproximação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.

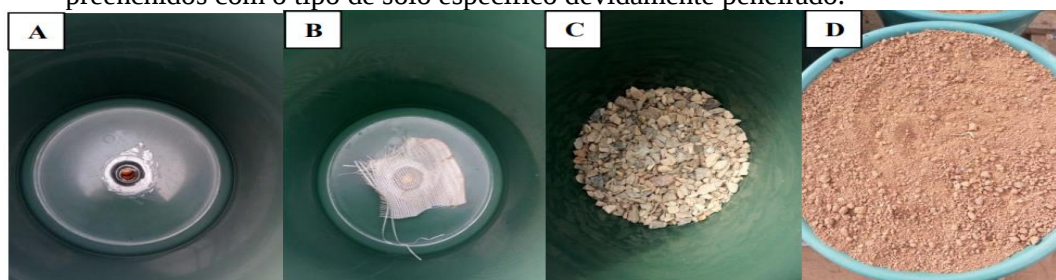
Adubação mineral (g planta ⁻¹)	
Ureia (CH ₄ N ₂ O)	0,175
Fósforo (P)	3,50
Potássio (K)	0,43

Fonte: A autora (2020).

3.5 Montagem do experimento em casa de vegetação

Utilizou-se recipientes de plástico com capacidade para 4 L, estes foram perfurados na sua base inferior, onde posteriormente foi inserido um dreno (mangueira para escoamento da água). Colocou-se ao fundo, na perfuração, uma tela de náilon e em seguida os mesmos foram preenchidos com, aproximadamente, 2 cm de brita zero tendo por objetivo a drenagem da água evitando a passagem de sedimentos. Por fim, os recipientes foram preenchidos com 4 kg de solo devidamente peneirado coletado da área experimental (Figura 3).

Figura 3 – Recipientes de plástico com capacidade para 4 L (A) perfurados em sua base inferior, posteriormente (B) inserido um dreno (para escoamento da água) e colocado uma tela de náilon, (C) preenchido com brita afim de evitar a passagem de sedimentos e (D) preenchidos com o tipo de solo específico devidamente peneirado.



Fonte: A autora (2020).

Os recipientes foram fechados em sua base, adicionando água até não infiltrar mais no solo, preenchendo todos os espaços porosos, ocasionando na saturação. Posteriormente a água foi drenada e 24 horas após o solo encontrava-se em capacidade de campo.

3.5.1 Montagem do sistema de irrigação

Realizou-se a montagem do sistema de irrigação em ambiente protegido utilizando o tipo localizado por gotejamento, com fitas gotejadoras com vazão de 2 L/h, onde cada recipiente continha um gotejador (Figura 4). A água foi proveniente de um reservatório com capacidade para 500 L e era direcionada através da tubulação para um conjunto de oito registros, sendo, quatro destinados para cada tratamento com um tipo de solo. Estes foram utilizados para o controle da aplicação da lâmina.

Figura 4 – Sistema de irrigação por gotejamento. Composto por fitas gotejadoras com vazão de 2L h⁻¹.



Fonte: A autora (2020).

Após instalação do sistema, o mesmo foi devidamente lavado para retirar sedimentos que poderiam influenciar no entupimento dos gotejadores e consequentemente a vazão. Realizou-se a aferição da vazão dos gotejadores em cada lâmina utilizando um recipiente

plástico de volume conhecido, esperou-se o mesmo ser preenchido por água para no fim verificar o tempo de vazão do sistema, utilizando um cronômetro. Após isso se obteve um controle do tempo da água aplicada, em seguida foi determinado a vazão do sistema de irrigação e por fim, o cálculo de irrigação utilizando o aplicativo SLIMCAP.

3.5.2 Irrigação

A irrigação ocorreu diariamente pela manhã, com base no consumo de água das plantas de quatro lisímetros de drenagem. Na primeira irrigação, um dia após todos os vasos estarem em capacidade de campo, aplicou-se 500 mL de água por planta. Após 24 horas da aplicação nos lisímetros, a água dos quatro recipientes foi coletada. Tais dados foram inseridos no aplicativo SLIMCAP que forneceu diariamente a quantidade de água necessária para a irrigação a ser aplicada nos blocos.

3.5.3 Aplicação da humina enriquecida com Cálcio e Magnésio em cultura de alface

Após a H estar seca, a mesma foi pesada em balança analítica de acordo com os níveis definidos: $H_0 = 0,0$; $H_2 = 2,0$; $H_4 = 4,0$ e $H_6 = 6,0$ g . Então foi incorporada a superfície do solo (em capacidade de campo) (Figura 5) (vide croqui, Figura 2).

Figura 5 - Incorporação da humina enriquecida com Ca e Mg na superfície do solo.



Fonte: A autora (2020).

3.5.4 Colheita

Após 30 dias o transplantio (DAT) das mudas na casa de vegetação, as plantas foram colhidas e levadas ao laboratório para análise.

3.6 Variáveis analisadas após aplicação da humina enriquecida com cálcio e magnésio em cultura da alface

3.6.1 Índice de clorofila (SPAD)

Antes da colheita, para mensurar a intensidade de verde, foi utilizado o clorofilômetro digital SPAD-502 (*Soil Plant Analyser Development*), cujo método de medição consiste na diferença de densidade ótica entre dois comprimentos de onda, obtendo-se a média por parcela. Foram realizadas sete leituras em uma única folha, em pontos distintos, de cada planta. A folha escolhida era a que apresentasse maior tamanho, coloração verde mais acentuada, sem doenças ou manchas.

3.6.2 Diâmetro da copa (DC)

Antes da colheita, o DC foi medido no sentido perpendicular à linha de plantio.

3.6.3 Altura da planta (AP)

Antes da colheita, utilizou-se uma régua medindo-se a distância entre o ápice da folha até o colo da planta.

3.6.4 Massa fresca da parte aérea (MFPA)

Após a colheita, separou-se a parte aérea das raízes, e com auxílio de uma balança analítica, realizou-se a pesagem total desta parte aérea. Posteriormente as amostras foram embaladas e devidamente identificadas.

3.6.5 Massa seca da parte aérea (MSPA)

Após a pesagem da matéria fresca, as amostras foram mantidas em estufa com temperatura constante a 65°C com circulação de ar forçada por 72 horas, e após este processo realizou-se novamente a pesagem.

3.6.6 Número de folhas (NF)

Após a colheita, foram separadas com auxílio de um estilete todas as folhas de cada planta de todos os tratamentos e realizou-se a contagem do número de folhas por planta. A

escolha das folhas para a contagem considerou aquelas que possuíam tamanho mínimo de 3 cm.

3.6.7 Área foliar (AF)

As plantas foram colhidas e lavadas para a medição da AF através do medidor de área foliar LI-COR, modelo LI-3100, com resultados expressos em $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$.

3.6.8 Massa fresca da raiz (MFR)

Após a lavagem e medição do sistema radicular, com o auxílio de uma balança de precisão as amostras foram pesadas, embaladas e devidamente identificadas.

3.6.9 Massa seca da raiz (MSR)

Após a lavagem e a medição do comprimento, as amostras foram mantidas em estufa com temperatura de 65°C , durante 72 horas e após este processo realizou-se novamente a pesagem.

3.6.10 Tamanho da raiz (TR)

A mensuração do tamanho da raiz (TR) ocorreu após a colheita, utilizando uma régua.

3.6.11 Teor de água nas folhas (TAF)

O TAF foi obtido por diferença entre o peso da matéria fresca (MF) e da matéria seca (MS), expresso em porcentagem sobre o peso de matéria fresca em gramas (equação 3).

$$TAF (\%) = \frac{(MF-MS)}{MF} \quad (3)$$

3.6.12 Eficiência do uso da água (EUA)

A eficiência do uso da água foi determinada em função da relação entre os valores de produtividade (kg ha^{-1}) e as respectivas lâminas de irrigação aplicadas (mm) em cada tratamento, sendo os resultados expressos em $\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ conforme SAMMIS (1980).

3.7 Análise estatística

Utilizando o software estatístico R v. 3.6.3 (R Core Team, 2020) as variáveis foram submetidas à análise de variância pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$), e quando significativas submetidas à análise de regressão e à análise de variância multivariada com o seguinte conjunto de métodos: análise de componentes principais (ACP) e análise de cluster hierárquico em dendograma.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Humina

4.1.1 Caracterização

A caracterização de amostras de huminas foi realizada pelo grupo de pesquisa LCAA (Laboratório de Ciências Ambientais do Agreste) e a Profa. Luciana Camargo de Oliveira da UFSCAR foi promissora no Brasil nesses estudos, buscando contribuir para o melhor entendimento da possível aplicabilidade de huminas em setores ambientais, agrícolas e tecnológicos.

As huminas aplicadas neste trabalho foram caracterizadas por Farias (2018) e os resultados estão resumidos abaixo. A Tabela 4 apresenta informações acerca da estrutura da humina, como teor de matéria orgânica (MO) (determinado por calcinação), razão atômica C/H (análise elementar) e razão E₄/E₆ (equivale aos respectivos comprimentos de onda A₄₆₅ e A₆₆₅), conforme descrito por Farias (2018).

Tabela 4 – Teores de matéria orgânica (%), razão atômica C/H e razão E₄/E₆ da amostra de humina estudada

Amostra	% MO	C/H	E ₄ /E ₆
H	8,60	0,185	1,26

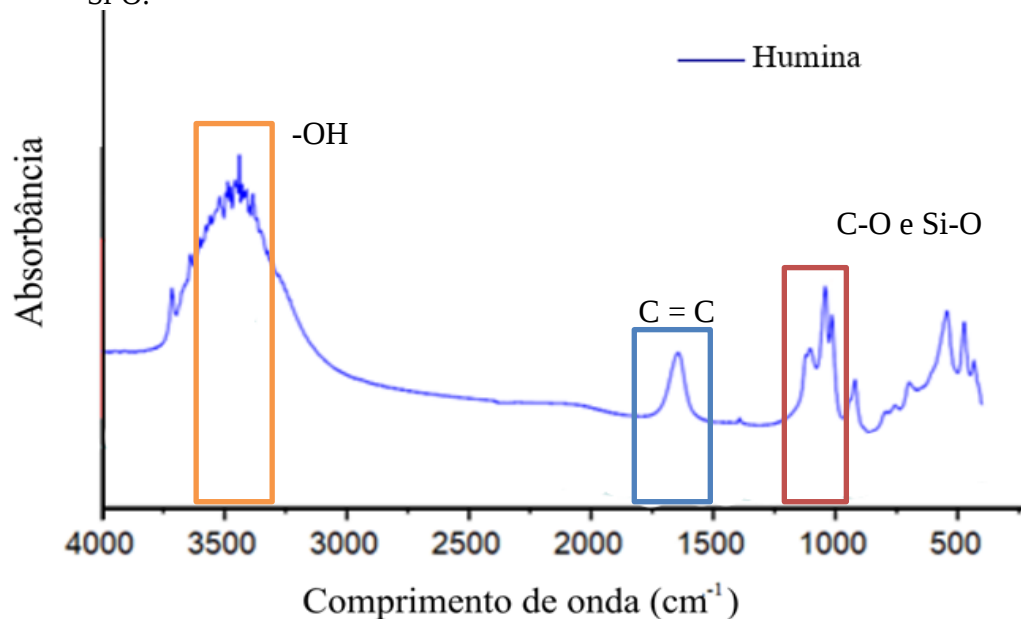
Fonte: Adaptado de Farias (2018).

Considerando as razões E₄/E₆, ROSA *et al.*, (2000) afirma que os resultados menores que quatro, indicam maior presença de estruturas aromáticas condensadas, aumento da massa molar e conseqüentemente maior grau de humificação. A diminuição da razão E₄/E₆ está diretamente relacionada com o aumento da massa molar e a condensação dos carbonos aromáticos, sendo que a aromaticidade é inversamente relacionada à quantidade de grupos alifáticos (STEVENSON, 1994).

A razão C/H se refere ao grau de aromaticidade e quanto maior a razão, maior a presença de estruturas aromáticas, corroborando com a razão E₄/E₆ (SOUZA *et al.*, 2016). A partir da Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), foi possível obter informações acerca da estrutura de moléculas orgânicas da amostra (Figura 6). Farias (2018) aponta que no espectro a banda larga observada em 3450 cm⁻¹ é atribuída aos estiramentos –OH (hidróxis), podendo estar relacionadas ao estiramento OH de alcoóis, fenóis

e ácidos carboxílicos. Bandas em 1600 cm^{-1} atribuem-se a estiramentos C=C. Já a região de absorção em 1000 cm^{-1} e 1200 cm^{-1} estão evidenciados picos de adsorção podendo ser atribuídos a estiramento C-O de alcoóis, fenóis e carboidratos e estiramento Si-O. (TATZBER *et al.*, 2007).

Figura 6 – Análise por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) da amostra de humina (H). Bandas largas em 3450 cm^{-1} atribuísem a estiramentos -OH de álcoois, fenóis e ácidos carboxílicos. Bandas em 1600 cm^{-1} atribuídas a estiramentos C=C. A região de absorção em 1000 cm^{-1} e 1200 cm^{-1} estão evidenciados picos de adsorção podendo ser atribuídos a estiramento C-O de álcoois, fenóis e carboidratos e estiramento Si-O.



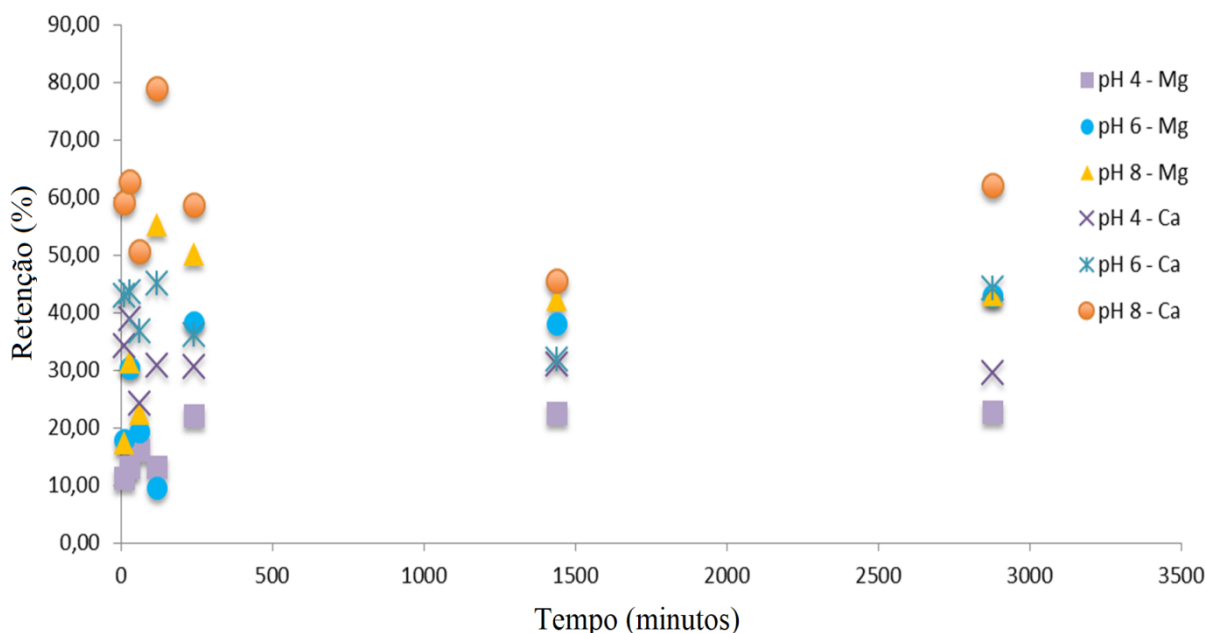
Fonte: Adaptado de Farias (2018).

4.1.2 Determinação da eficiência de adsorção

Quando se avalia um resíduo para testar seu potencial como remediador ou fertilizante natural, uma das características fundamentais é avaliar sua capacidade adsorptiva de metais e macronutrientes em função do tempo e pH, fornecendo informações sobre as melhores condições para que ocorra à máxima retenção da espécie contaminante. O processo de adsorção depende da relação entre as massas das espécies metálicas e do material que adsorve ou complexa as espécies metálicas, em relação ao volume da solução (GOUVEIA *et al.*, 2013).

Os estudos de adsorção de humina com Ca^{2+} e Mg^{2+} mostram que as maiores taxas de adsorção (78,92% e 55% para Ca^{2+} e Mg^{2+} , respectivamente) ocorreu em pH 8,00 aos 120 minutos de agitação (Figura 7), sendo este dado utilizado para produção da humina enriquecida com os macronutrientes e aplicados na cultura de alface.

Figura 7 – Porcentagem de retenção de magnésio (Mg^{2+}) e cálcio (Ca^{2+}) na humina (H) em função do tempo de contato de agitação (30-2880 min) de acordo com o pH (4,0, 6,0 e 8,0). Mg^{2+} e Ca^{2+} apresentaram as máximas taxas de adsorção 55 e 78,92%, respectivamente em pH 8,00 aos 120 minutos de agitação



Fonte: A autora (2020).

4.2 Aplicação da humina enriquecida com Cálcio e Magnésio em cultura de alface: variáveis analisadas

Após aplicação da humina enriquecida com Ca^{2+} e Mg^{2+} em cultura de alface, os dados referentes às variáveis altura de planta (AP), diâmetro da copa (DC), tamanho de raiz (TR), área foliar (AF), número de folhas (NF), SPAD, matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria fresca da raiz (MFR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), teor de água nas folhas (TAF) e eficiência do uso da água (EUA) foram submetidas a análise de variância pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) (Tabela 5 e 6), e quando significativas submetidas à análise de regressão e à análise de variância multivariada com o seguinte conjunto de métodos: análise de componentes principais (ACP) e análise de cluster hierárquico em dendograma utilizando o software R v. 3.6.3 (R Core Team, 2020).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância da cultura da alface em resposta a níveis de humina (H) e lâminas de água (L) cultivada em solos arenoso, variáveis: altura de planta (AP), diâmetro da copa (DC), tamanho de raiz (TR), área foliar (AF), número de folhas (NF), SPAD, matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria fresca da raiz (MFR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), teor de água nas folhas (TAF) eficiência do uso da água (EUA).

Fator de Variação	GL	Quadrado médio: Variáveis biométricas											
		AP		DC		TR		AF		NF		SPAD	
Humina (H)	3	3,51	ns	3,2	ns	5,64	ns	11,09	*	2,6	ns	37,05	***
Lamina (L)	3	3,81	ns	11,34	*	16,23	ns	108,96	***	84,35	***	25,33	**
H x L	9	1,09	ns	5,94	ns	9,77	ns	20,84	***	7,67	*	6,95	ns
Blocos	3	2,97		7,53		14,49		9,26		28,23		6,63	
Resíduos	45	2,29		3,4		7,06		3,92		3,36		4,9	
CV		9,43	%	10,17	%	12,54	%	18,2	%	27,29	%	8,61	%

Fator de Variação	GL	Quadrado médio: Variáveis Produtivas											
		MFPA		MFR		MSPA		MSR		TAF		EUA	
Humina (H)	3	211,62	ns	34,79	**	1,82	ns	9,52	***	3,92	***	156,5	**
Lamina (L)	3	5979,7	***	291,03	***	23,07	***	45,52	***	2,19	**	6916,74	***
H x L	9	292,36	**	111,97	***	3,4	***	13,92	***	2,37	****	129,65	***
Blocos	3	89,79		11,74		1,32		1,23		1,06		24,68	
Resíduos	45	87,09		7,44		0,83		0,38		0,49		27,77	
CV		8,37	%	10,13	%	17,85	%	16,2	%	1,09	%	7,23	%

*, **, *** e ns, significativos a 0.05, 0.01, 0.001 e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Dados do experimento (2020).

Tabela 6 - Resumo da análise de variância da cultura da alface em resposta a níveis de humina (H) e lâminas de água (L) cultivada em solo argiloso, variáveis: altura de planta (AP), diâmetro da copa (DC), tamanho de raiz (TR), área foliar (AF), número de folhas (NF), SPAD, matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria fresca da raiz (MFR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), teor de água nas folhas (TAF) eficiência do uso da água (EUA).

Fator de Variação	GL	Quadrado médio: Variáveis biométricas											
		AP		DC		TR		AF		NF		SPAD	
Humina (H)	3	5,83	*	19,81	ns	46,33	***	663,60	***	9,18	ns	39,10	**
Lamina (L)	3	10,06	***	90,84	***	163,52	***	1103,02	***	82,56	***	45,79	***
H x L	9	1,15	ns	8,39	ns	19,37	*	288,21	***	9,36	ns	22,09	**
Blocos	3	4,57		6,76		8,28		116,04		21,43		3,64	
Resíduos	45	1,50		8,09		6,86		26,42		6,02		6,50	
CV		13,01	%	9,09	%	9,13	%	19,44	%	23,57	%	6,70	%

Fator de Variação	GL	Quadrado médio: Variáveis Produtivas											
		MFPA		MFR		SPA		MSR		TAF		EUA	
Humina (H)	3	1924,58	***	38,26	*	33,32	***	13,29	***	18,52	*	1203,28	***
Lamina (L)	3	10894,14	***	785,82	***	116,04	***	5,93	***	36,50	***	1941,89	***
H x L	9	867,07	***	247,52	***	34,66	***	11,60	***	45,99	***	766,63	***
Blocos	3	50,15		9,19		5,35		0,66		3,40		33,59	
Resíduos	45	35,69		9,95		4,03		0,86		5,58		16,92	
CV		6,79	%	9,06	%	19,56	%	16,30	%	23,41	%	8,25	%

*, **, *** e ns, significativos a 0.05, 0.01, 0.001 e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Dados do experimento (2020).

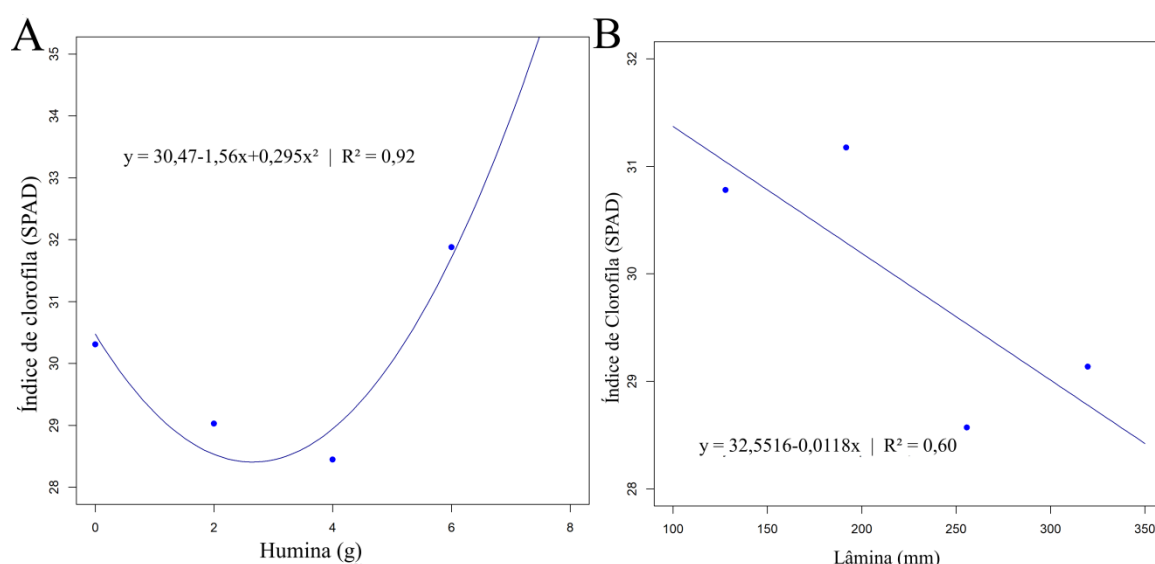
4.2.1 Conteúdo de clorofila

Estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, a variável analisada SPAD foi significativa para os fatores humina (H) e lâminas de água (L), para o solo arenoso (Tabela 5). Enquanto para o solo argiloso, a variável em questão foi significativa para a interação entre os fatores (H x L) (Tabela 6).

O SPAD permite a avaliação indireta do teor de clorofila nas plantas, onde os fatores apresentaram efeitos independentes sobre a variável analisada. Para o fator H, as variações ocorridas no SPAD podem ser explicadas por uma regressão quadrática ($R^2 = 0,92$). A resposta quadrática indica um decréscimo no índice de clorofila, na medida em que se aumentavam os níveis de H, apresentando um ponto mínimo na dose de 2,64 g de H. Após isso teve seu índice aumentado com incremento dos níveis de H (Figura 8A).

Tal aumento pode estar relacionado a uma maior concentração de Ca e/ou Mg, presentes nos níveis de H, o que favorece uma maior quantidade e, conseqüentemente, disponibilidade dos nutrientes para o meio. É interessante ressaltar que o Mg é um elemento constituinte da molécula de clorofila, onde 20% do seu total está ligado a ela.

Figura 8 – Índice de clorofila (SPAD) para ambos os fatores em estudos (humina e lâmina) apresentaram efeitos independentes, fato observado para o cultivo da alface do tipo crespa em solo arenoso. (A) Para a humina um efeito quadrático com concavidade para baixo foi observado (ponto de mínimo) enquanto para (B) a lâmina o modelo linear foi o que melhor se ajustou aos dados.



Fonte: A autora (2020).

Nascimento *et al.* (2017), avaliando a influência do silício e do cálcio na severidade da antracnose do feijão-fava, utilizando diferentes dosagens de uma fonte de cálcio, não

observaram aumento no teor de clorofila nas folhas, independente das doses utilizadas. Assim como Pinheiro *et al.* (2011), que demonstram não haver aumento no teor de clorofila nas folhas em função das doses de cálcio testadas para ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*). No entanto, Pereira (2001) constatou variação significativa para a estimativa do teor de clorofila, trabalhando com oito doses de Mg (mg L^{-1}) com o *Panicum maximum* cv. Mombaça. Onde, num primeiro corte, o ponto de máximo valor obtido, na dose de Mg de 40 mg L^{-1} , resultou em 41,8 unidades de SPAD. Consolmagno Neto (2006) e Lange (2007), avaliando doses de fósforo e magnésio a fim de obter respostas do capim-Tanzânia a estas combinações observaram que as doses de magnésio, isoladamente, influenciaram o valor SPAD.

Tal comportamento da variável SPAD pode ter sido uma resposta à competição do magnésio liberado na solução do solo que afetou diretamente o sistema radicular das plantas. Visto que, as características químicas similares de ambos os cátions utilizados no experimento, como o raio iônico, valência, grau de hidratação e a mobilidade, faz com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo e na absorção pelas raízes. A presença excessiva de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro (ORLANDO FILHO *et al.*, 1996).

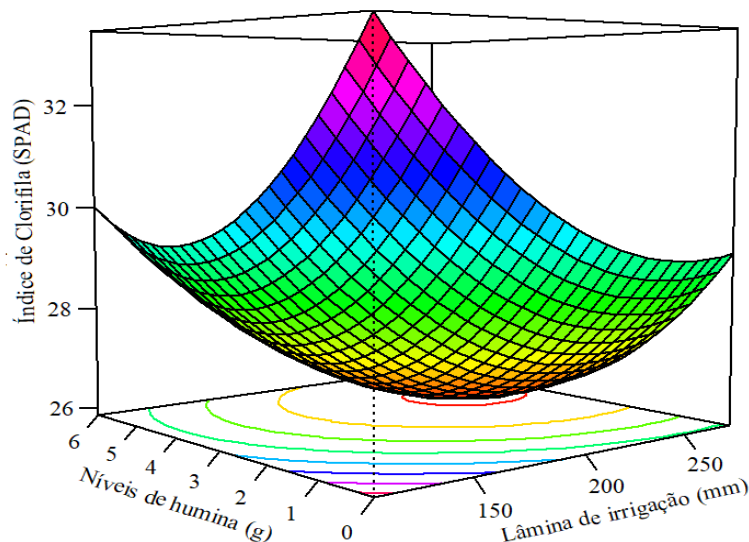
Para o fator lâmina o SPAD é afetado negativamente, conforme a regressão, pois desenvolveu um decréscimo linear à medida que se aumentou as lâminas de água fornecida na irrigação (Figura 8B).

Os índices SPAD tem correlação significativa entre intensidade do verde e o teor de clorofila com a concentração de nitrogênio (N) na folha. O efeito provocado pelo incremento das lâminas de irrigação pode provocar diminuição na concentração de N nas folhas. Maiores lâminas de água podem provocar perdas de N, via lixiviação, da zona de maior concentração do sistema radicular das plantas, diminuindo, conseqüentemente, a disponibilidade desse elemento a elas (BAPTESTINI, 2013). O solo com um maior teor de areia em sua composição, por apresentar maior número de macroporos, facilita o movimento do soluto por fluxo de massa, e por serem, em geral, pobres de matéria orgânica possuem baixa capacidade para reter o íon nitrato (NO_3^-), tendendo a permanecer mais em solução, sujeito então ao processo de lixiviação (MENDES, 2015). Sangoi *et al.* (2003) observaram que as perdas de N foram numericamente maiores e mais rápidas em solo arenoso, com baixa capacidade de troca catiônica (CTC), do que no solo argiloso.

Para o SPAD, no solo com características argilosas, foi constatado significância para a interação entre os níveis de H e as lâminas de água, com os resultados se ajustando a um modelo polinomial de regressão (Figura 9), onde ambos os fatores apresentaram modelo quadrático

com concavidade para cima (Equação 4). O menor índice (=25,87) foi observado quando o nível de 3,89 de H foi combinado com a lâmina de 242,30 mm.

Figura 9 – Índice de clorofila (SPAD) para interação entre os fatores humina x lâmina, constatado para o solo argiloso. Os resultados se ajustaram a um modelo polinomial de regressão, com ambos os fatores apresentando conformação quadrática com concavidade para cima.



$$\text{SPAD} = 42,446 - 2,022 \cdot H - 0,104 \cdot L + 0,217 \cdot H^2 + 0,000204 \cdot L^2 + 0,00137 \cdot H \cdot L \quad (4)$$

Fonte: A autora (2020).

Os atributos do solo, como teores e tipos de argila, pH, capacidade de troca de cátions, teor de matéria orgânica entre outros, influenciam as reações de adsorção/dessorção de nutrientes na relação solo-planta. Estudando a mobilização e biodisponibilidade do elemento cádmio no sistema solo-planta, para a cultura do milho, em solos arenoso e argiloso, Scheren *et al.*, (2013) observaram que os fatores estudados variavam mais acentuadamente para o solo arenoso. Ou seja, os íons não ficavam adsorvidos na fase sólida do solo, mas sim, disponíveis para serem transportados para a parte aérea da planta. Enquanto para o solo argiloso ocorria mais adsorção do que mobilidade.

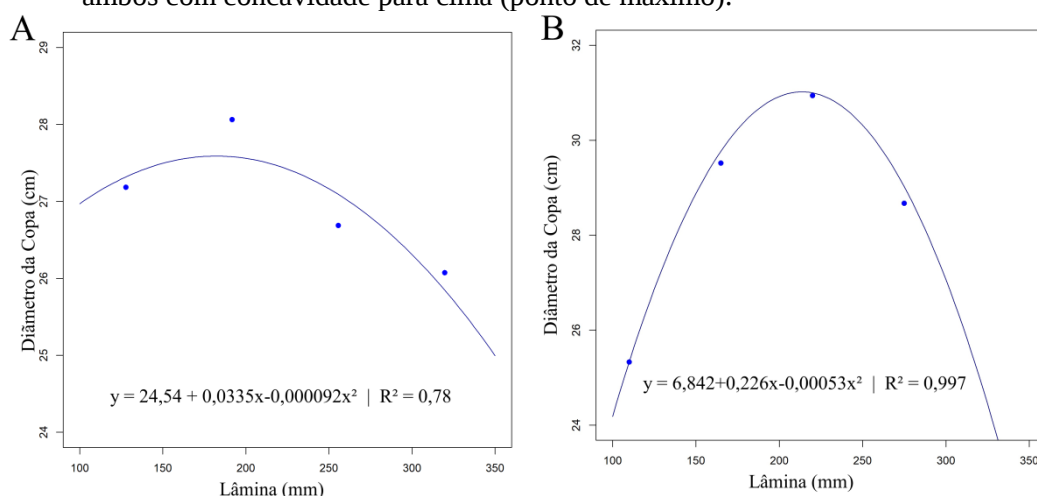
Os valores de clorofila são menores em plantas cultivadas em solo com maior quantidade de água devido ao aumento da concentração de radicais livres que a destroem (DREW, 1997). A disfunção hormonal, principalmente ligada ao aumento da concentração de etileno nas folhas induz além da perda de clorofila, a senescência (TAIZ; ZEIGER, 2009) e também redução na absorção de nutrientes, principalmente o nitrogênio, que faz parte da molécula de clorofila (LENHARD, 2008). Segundo Taiz e Zeiger (2009) o oxigênio é parte essencial da respiração celular, sendo que neste processo origina-se o ATP para os processos bioquímicos da raiz. Na falta desta molécula ocorre redução na atividade de absorção ativa de

nutrientes e água, com isso, a parte aérea sofre deficiência de nutrientes necessários ao crescimento. Além disso, a atividade da enzima nitrato redutase é menor em solo alagado (DREW, 1997).

4.2.2 Diâmetro da copa, altura da planta, número de folhas e área foliar

Para ambos os solos, o diâmetro da copa da alface respondeu significativamente ao fator lâmina e apresentaram a função quadrática como o melhor ajuste dos dados. Indicando que para o solo arenoso e argiloso, respectivamente, as lâminas de 186,1 e 213,2 mm (72 e 96% da ETc) proporcionaram o maior diâmetro de copa de 28 e 30,9 cm, mutuamente (Figura 10A e 10B). Vasconcelos *et al.* (2014), apontaram aumento mais acentuado no diâmetro de copa, do noni (*Morindacitrifolia* L.), em função do aumento na lâmina de irrigação, via sistema de gotejamento.

Figura 10 – Diâmetro da copa (DC) em função das lâminas de água, para os solos (A) arenoso e (B) argiloso, apresentando modelo de regressão quadrática para o melhor ajuste dos dados, ambos com concavidade para cima (ponto de máximo).



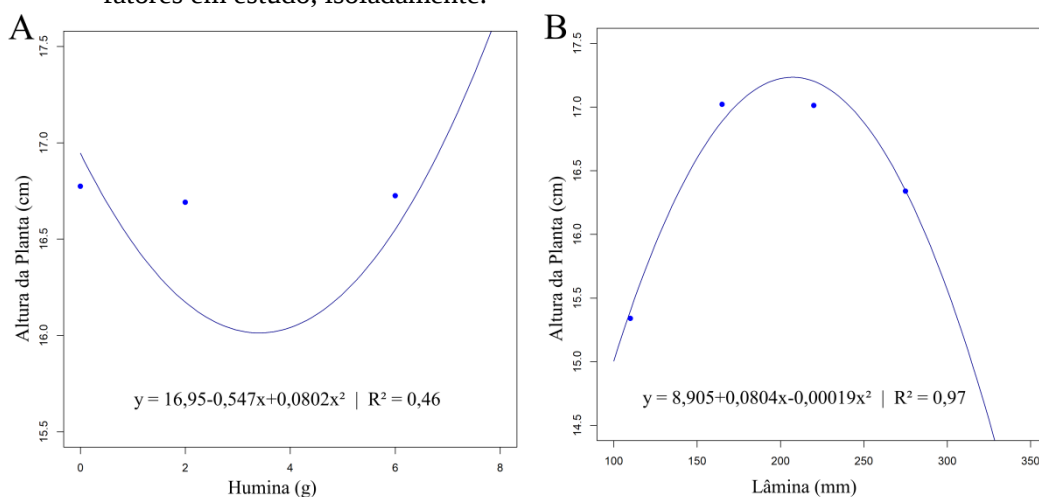
Fonte: A autora (2020).

A altura da planta foi significativa para os fatores, isoladamente, apenas, no solo argiloso. Apesar do valor de $R^2 = 0,46$, para o fator humina, não ser satisfatório, foi o modelo que melhor se ajustou aos dados (Figura 11A). No nível 3,4 g de H a planta apresentou seu menor comprimento (16,02 cm), aumentando em seguida de acordo com o incremento dos níveis de humina. Para a lâmina de 211,6 mm (96% da ETc) a maior altura correspondente foi de 17,41 cm, decrescendo à medida que se incrementou os níveis de água, resultado da análise de regressão com modelo quadrático, cujo $R^2 = 0,97$ (Figura 11B). Medeiros (1998), testando diferentes lâminas com diferentes salinidades da água de irrigação, para a cultura do pimentão,

obteve maiores alturas das plantas com maiores lâminas.

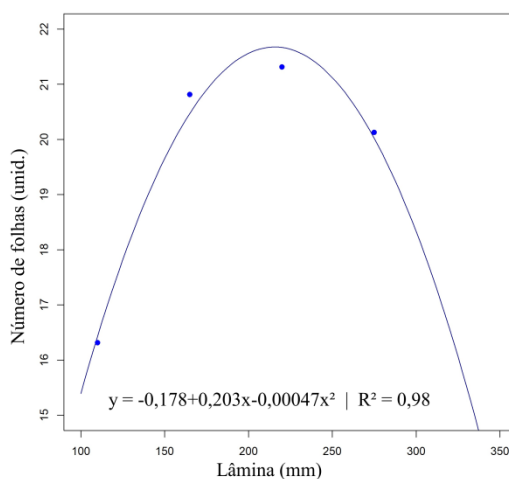
Para o solo argiloso, a superfície de resposta para a variável número de folhas (NF) destacou um comportamento quadrático, obtendo o maior número de folhas, 22 unidades, na lâmina de 215,9 mm (98% da ETc) (Figura 12).

Figura 11 – Altura da planta (AP), para o solo argiloso, apresentou efeito quadrático para ambos os fatores em estudo, isoladamente.



Fonte: A autora (2020).

Figura 12 – Número de folhas (NF) para a alface do tipo crespa, quando cultivada em solo argiloso, destacando um comportamento quadrático, diminuindo à medida que há um aumento nos níveis de água das lâminas de irrigação.

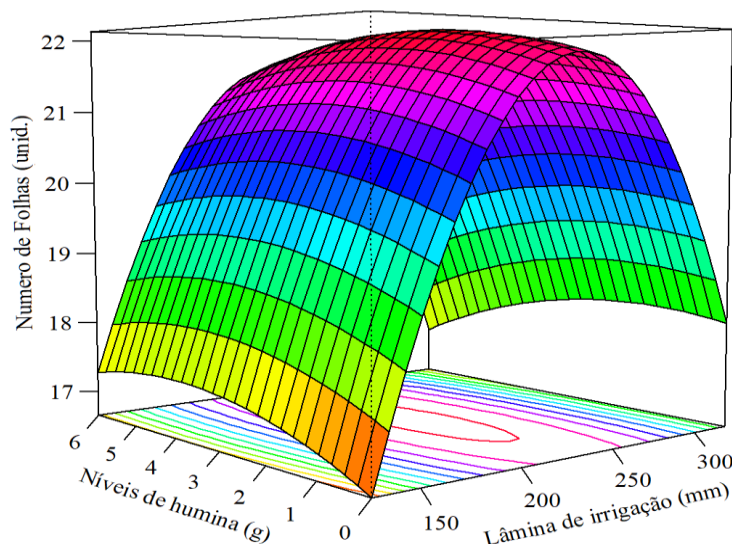


Fonte: A autora (2020).

A cultura da alface, quando cultivada em solo arenoso, respondeu significativamente à interação, entre humina e lâminas, para o número de folhas. Ambos apresentaram modelo quadrático com concavidade para cima, mas no fator L esta sendo bastante acentuada. Já a concavidade para a H é suave, podendo indicar a pouca influência de seus níveis (Figura 13).

Com base na equação de regressão polinomial (Equação 5), os níveis de H e L foram determinados, correspondendo, respectivamente, a 2,81 g e 228,16 mm (89% da ETc), com número máximo de 22 unidades de folhas por planta.

Figura 13 – Número de folhas (NF), para a alface do tipo crespa, quando cultivada em solo arenoso. Houve interação entre os fatores, com ambos apresentando modelo quadrático. Evidencia-se a concavidade bastante acentuada para o fator lâmina.



$$NF = -3,684 + 0,54 \cdot H + 0,2197 \cdot L - 0,0469 \cdot H^2 - 0,000474 \cdot L^2 - 0,001212 \cdot H \cdot L \quad (5)$$

Fonte: A autora (2020).

O número de folhas é uma característica importante, principalmente pelo fato da alface ser uma hortaliça folhosa, cujas folhas constituem a parte comercial (FILGUEIRA, 2008) e também pelo fato de que o consumidor efetua a compra por unidade e não por peso, observando assim a aparência, volume e número de folhas por cabeça (DIAMANTE *et al.*, 2013).

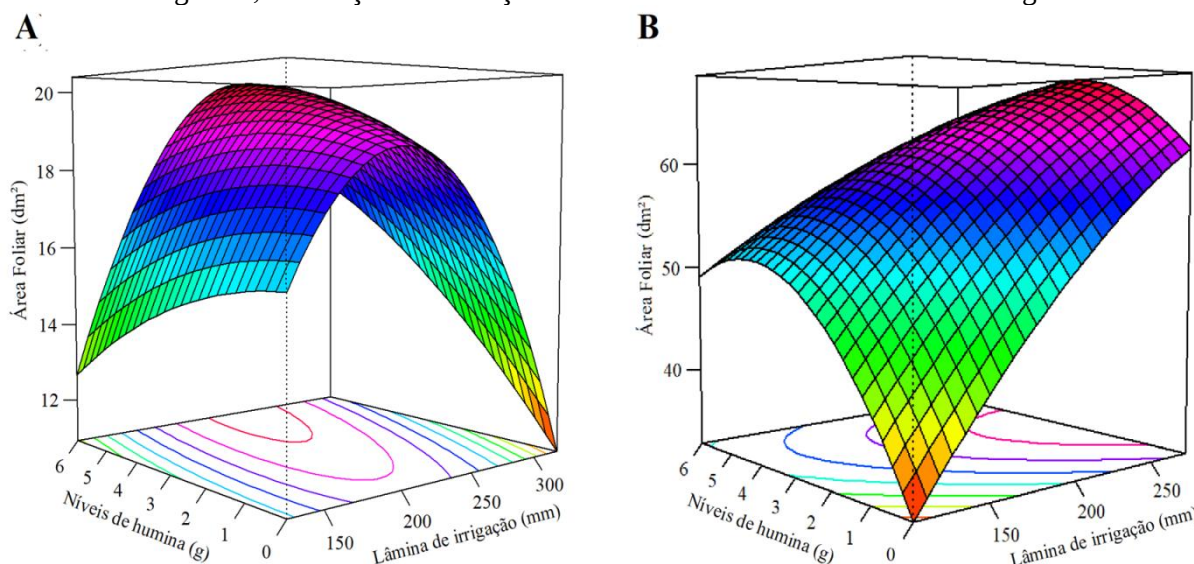
De acordo com a literatura, a produtividade relativa da cultura da alface apresenta correlações lineares negativas com estresse devido ao excesso de água no solo. O efeito do excesso de água na cultura pode ser identificado pela redução da altura da planta, do diâmetro e do peso da parte aérea, além da redução do diâmetro do caule (FHECHA, 2004).

A mensuração da área foliar de plantas é uma importante ação que permite ao pesquisador obter indicativo de resposta de tratamentos aplicados e lidar com uma variável que se relaciona diretamente com a capacidade fotossintética e de interceptação da luz, interfere na cobertura do solo, na competição com outras plantas e em várias outras características (SEVERINO *et al.*, 2005).

A variável AF foi influenciada pela interação entre H x L, para ambos os solos usados no experimento. A área foliar máxima foi de 21,00 e 67,59 dm², correspondente a H = 6,0 e 1,72 g; L = 253,12 e 274,95 mm (99 e 125% da ETc), respectivamente, para os solos arenoso e

argiloso (Figura 14A e 14B; equação 6 e 7). A área foliar da cultura é fundamental para a produção de fotoassimilados e posteriormente distribuição e acúmulo de fitomassa (CARON *et al.*, 2004).

Figura 14 – Área foliar (AF) para a alface do tipo crespa quando cultivada em solo (A) arenoso e (B) argiloso., em função da interação entre os níveis de humina e lâminas de água.



$$AF_A = - 3,779 - 1,108 \cdot H + 0,225 \cdot L - 0,07395 \cdot H^2 - 0,000552 \cdot L^2 + 0,00825 \cdot H \cdot L \quad (6)$$

$$AF_B = 1,333 + 10,61 \cdot H + 0,3298 \cdot L - 0,9457 \cdot H^2 - 0,0004021 \cdot L^2 - 0,02 \cdot H \cdot L \quad (7)$$

Fonte: A autora (2020).

Para uma cultura como a alface, a área foliar é uma medida essencial na determinação do desenvolvimento da planta, pois é mais interessante que a alface tenha maior área foliar total que um número maior de folhas ou uma boa altura. A maior área foliar resulta em maior material produzido no processo de fotossíntese (HAMADA, 1995).

O fato de um solo com maior teor de areia em sua composição apresentar um maior número de macroporos, ser pobre, de modo geral, em M.O., onde, conseqüentemente, possui menor capacidade de reter os nutrientes em sua fase sólida, pode ter ocasionado a lixiviação do Ca e Mg, dessorvidos na solução do solo. Observa-se que foi requerido o nível de máximo de H, podendo ainda aumentar a dose, para se obter uma possível maior área foliar. Enquanto para o solo argiloso, a resposta de 1,72 g de H para a variável AF, foi mais do que o triplo, quando comparada com o outro solo. As características intrínsecas ao solo argiloso, que são contrárias as apontadas para o arenoso, podem ter influenciado a adsorção dos íons dessorvidos na fase sólida do solo, ocasionando melhor absorção pelas plantas e menor lixiviação, mesmo utilizando a maior lâmina de água aplicada.

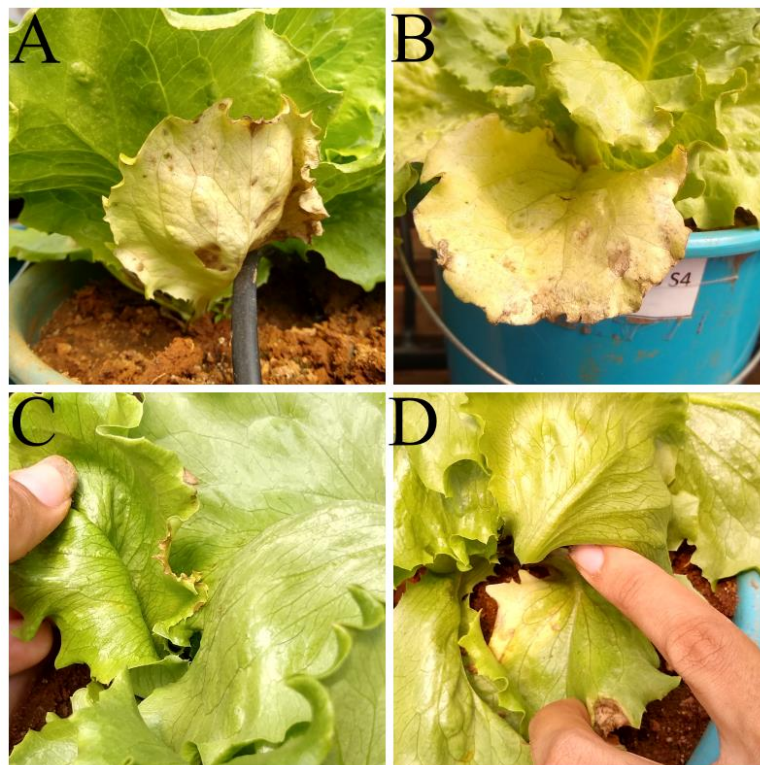
Dentre os principais fatores de estresse das culturas agrícolas, enquadram-se a disponibilidade de água e os nutrientes (ANDRIOLO *et al.*, 2010). O efeito do estresse sobre a planta se caracteriza pela redução da fotossíntese e do crescimento, alterações no padrão de repartição da massa seca entre órgãos e modificações no balanço hormonal (SAURE, 2001). A omissão de cálcio e magnésio nas plantas de alface acarretam menor altura, área foliar e número de folhas (ALMEIDA *et al.*, 2011).

Foi observado ao decorrer do experimento o desenvolvimento de sintomas de desordem nutricional nas plantas de alface, como clorose, iniciando-se entre as nervuras das folhas mais velhas. Haag (1971) diz que se deve ao fato do Mg ser facilmente mobilizado de locais da planta com maior concentração, possibilitando as folhas mais jovens retirá-lo das folhas mais velhas (Figura 15A e 15B).

Apresentaram também sintomatologia de deficiência característica do Ca (Figura 15C e 15D), ocorrendo redução drástica no crescimento das plantas de alface, tanto da parte aérea como das raízes, folhas com formas irregulares, pontos com manchas necróticas entre as nervuras das folhas e morte das brotações a partir das pontas das extremidades de folhas e raízes (HAAG, 1971).

Salienta-se, que um dos principais problemas enfrentados pelos produtores de alface, tanto de sistema hidropônico como convencional, é o surgimento do “tipburn” ou “queima de bordos”, distúrbio fisiológico ocasionado pela deficiência localizada de cálcio (COLLIER; TIBBITTS, 1982), mesmo quando este nutriente encontra-se em níveis adequados no solo ou solução nutritiva (THIBODEAU; MINOTTI, 1969; ASHKAR; RIES, 1971).

Figura 15 – Sintomas de desordem nutricional nas plantas de alface do tipo crespa, quando cultivada em ambos os solos utilizados no experimento. (A e B) Amarelamento de folhas mais velhas, típico da deficiência de magnésio na planta. (C e D) Queima de bordos e manchas necróticas entre as nervuras da folha, singular a deficiência de cálcio.



Fonte: A autora (2020).

4.2.3 Massa fresca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz

Observa-se que os níveis de humina combinados com os níveis de irrigação afetaram significativamente os componentes de produção (massa fresca da parte aérea e da raiz e massa seca da parte aérea e da raiz) (Tabela 5 e 6). A maior produção de massa fresca nas folhas da alface crespa ocorreu no solo arenoso com $195,79 \text{ g planta}^{-1}$, seguido do solo argiloso com $121,89 \text{ g planta}^{-1}$ (Figura 16A e 16C; equação 8 e 10). O nível de humina e lâmina correspondente, para o solo arenoso, foram de $2,06 \text{ g}$ e $234,25 \text{ mm}$ (92% da ETc). Enquanto para o argiloso, a maior MFPA foi obtida a partir dos níveis máximos dos fatores, indicando que um maior incremento nos mesmos poderia proporcionar uma possível maior produção de MFPA.

O solo argiloso apesar de ter apresentado menor MFPA, teve uma MSPA superior. Onde se pode inferir que em sua composição há um maior teor de fibras (nutrientes). Uma maior quantidade de água aplicada em solo arenoso favorece mais a mobilidade dos nutrientes que,

no entanto, são mais facilmente lixiviados e, conseqüentemente, menos disponíveis para a absorção pelas plantas. Tal hipótese pode ter relação como o fato da quantidade de MSPA, em solo argiloso, ter sido superior. A cultura estudada apresenta melhor adaptação ao solo de textura média, e com boa capacidade de retenção de água.

A produção de massa fresca da alface está diretamente relacionada com a área foliar da planta (CARON *et al.*, 2004). Tal afirmativa difere dos resultados encontrados neste trabalho para a MFPA da alface cultivada em solo arenoso, que apesar das folhas, de modo geral, serem menores, possuíam grande quantidade de água em sua composição.

O crescimento atrofiado da planta é um dos sinais mais comuns de deficiência de cálcio. Como o cálcio é um nutriente imóvel, isso significa que as plantas não podem transferir o cálcio disponível para as folhas mais velhas, e é por isso que as pontas das novas folhas murcham e muitas vezes crescem deformadas. Além disso, os solos arenosos e grosseiros contêm menos cálcio.

O fornecimento de água em quantidades ideais e bem distribuídas durante o ciclo da planta é essencial, podendo corresponder até 90% da massa fresca das plantas. Esta regularidade assume papel importante no metabolismo vegetal, participando de várias reações fundamentais para o transporte de seiva na planta, também atuando como protetor térmico (TAIZ; ZEIGER, 2004). É importante lembrar que o excesso de água também é prejudicial. Letey, Stolzi e Blank. (1962) verificaram redução no crescimento de raízes e parte aérea de girassol cultivado em solo sob condição de hipóxia.

Assim, observa-se curva regressiva de produção da cultura quando submetida a quantidades excessivas de água. Levando em conta que a cultura é comercializada *in natura*, ou seja, ela é ingerida fresca, essa variável deve ser bastante observada, pois é o rendimento verdadeiro de matéria fresca, que a planta obteve em relação à irrigação, esta característica fenológica serve como indicativo de seleção no momento de aquisição do produto pelos fornecedores e posteriores consumidores. Em alface, o peso da planta juntamente com o número de folhas por planta são importantes características de produção.

Em análise de crescimento toma-se como base a massa seca, como representativa da fitomassa produzida, o que se faz necessário, visto que o teor de água na planta varia com a hora do dia, condições ambientais, estágio de desenvolvimento da planta, tempo entre a colheita e a medição, entre outros; por outro lado, cerca de 90%, em média, da matéria seca acumulada, resultam da atividade fotossintética (PEREIRA; MACHADO, 1987).

A superfície de resposta, com comportamento quadrático, da massa fresca das raízes (MFR), para o solo argiloso, apresentou o maior peso, correspondente a 39,29 g planta⁻¹, para

os níveis $H = 5,09 \text{ g}$ e $L = 279,30 \text{ mm}$ (109% da ET_c) (Figura 16G; equação 14). O mesmo comportamento ocorreu na variável massa seca da raiz (MSR), para o solo arenoso, com a maior massa de $7,69 \text{ g planta}^{-1}$, utilizando $H = 2,74$ e $L = 238,61 \text{ mm}$ (98% da ET_c).

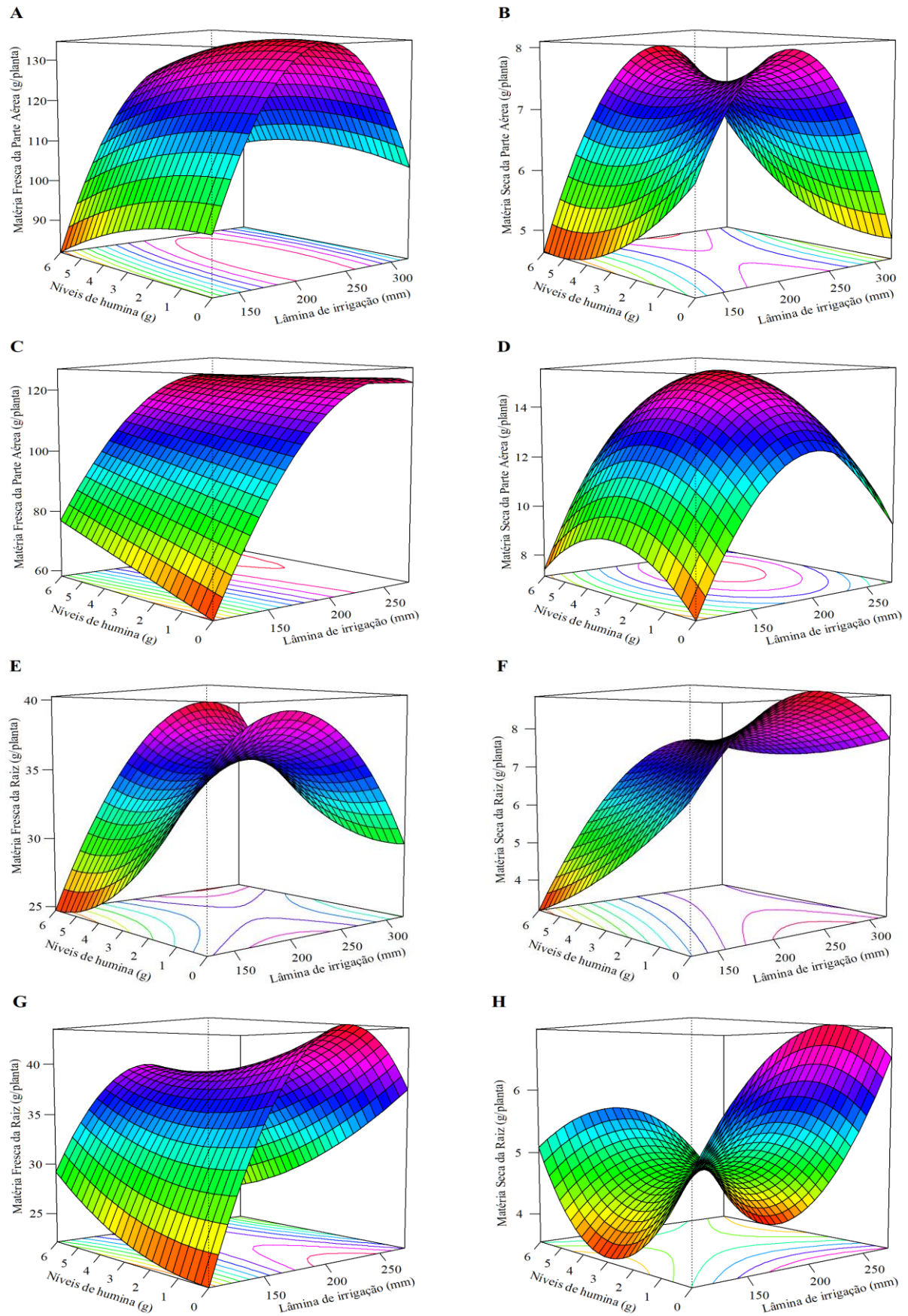
Na resposta da MFR da alface, no solo arenoso, se pode observar uma forte interação nas combinações dos fatores, que demonstrados nas curvas isoquantas, sendo estas classificadas como hipérbolas, dificultam a determinação dos pontos críticos (nível de H e L) (Figura 16E; equação 12). A resposta em rendimento de MSR, para o solo argiloso, apresentou o mesmo padrão de comportamento (Figura 16H; equação 15).

A raiz é o órgão responsável pela absorção de água e extração de nutrientes do solo (EMBRAPA, 2008). O aumento da biomassa da parte aérea (folhas e caules) se faz em detrimento da biomassa das raízes (VALIO, 2001).

A razão MSPA/MSR, para os solos arenoso e argiloso, respectivamente, são 0,58 (7,46 g/7,69 g) e 3,29 (15,53 g/ 4,72 g). Uma das primeiras reações das plantas ao estresse causado pela deficiência de magnésio é um expressivo acúmulo de carboidratos nas folhas, especialmente sacarose e amido e, conseqüentemente, a alteração da partição da matéria seca entre parte aérea e raiz, resultando no aumento de tal razão. Corroborando com estas observações, Silva (2013) e Dias (2015), trabalhando com cultivares de café, constataram que tanto a deficiência quanto o excesso de Mg desencadearam acúmulo de carboidratos nas folhas do cafeeiro e redução do seu conteúdo nas raízes, o que acarretou um aumento na relação de massa seca parte área e raiz.

A alface é uma hortaliça exigente em nutrientes, principalmente na fase final de seu desenvolvimento vegetativo, necessitando de um grande incremento nutricional e um bom fornecimento de água durante todo o seu ciclo. Esta afirmativa corrobora com a alta influência das lâminas de água sob as variáveis analisadas (Figura 16A-H).

Figura 16 – Variáveis massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR) analisadas na alface do tipo crespa cultivada em (A, B, E e F) solo arenoso e (C, D, G e H) argiloso.



$$\text{MFPA}_{(A)} = - 0,6185 - 1,691 \cdot H + 1,691 \cdot L - 0,3582 \cdot H^2 - 0,003667 \cdot L^2 + 0,0135 \cdot H \cdot L \quad (8)$$

$$\text{MSPA}_{(B)} = - 3,338 - 0,923 \cdot H + 0,106 \cdot L + 0,0525 \cdot H^2 - 0,000251 \cdot L^2 + 0,00281 \cdot H \cdot L \quad (9)$$

$$\text{MFPA}_{(C)} = - 77,31 + 5,169 \cdot H + 1,569 \cdot L + 0,00219 \cdot H^2 - 0,00307 \cdot L^2 - 0,0186 \cdot H \cdot L \quad (10)$$

$$\text{MSPA}_{(D)} = - 12,53 + 0,989 \cdot H + 0,245 \cdot L - 0,213 \cdot H^2 - 0,0005998 \cdot L^2 + 0,00303 \cdot H \cdot L \quad (11)$$

$$\text{MFR}_{(E)} = 13,267 - 5,86 \cdot H + 0,256 \cdot L + 0,2976 \cdot H^2 - 0,000638 \cdot L^2 + 0,0177 \cdot H \cdot L \quad (12)$$

$$\text{MSR}_{(F)} = - 1,854 - 1,092 \cdot H + 0,08826 \cdot L + 0,0347 \cdot H^2 - 0,000182 \cdot L^2 + 0,00264 \cdot H \cdot L \quad (13)$$

$$\text{MFR}_{(G)} = - 43,5 + 2,15 \cdot H + 0,7975 \cdot L + 0,1889 \cdot H^2 - 0,001828 \cdot L^2 - 0,01902 \cdot H \cdot L \quad (14)$$

$$\text{MSR}_{(H)} = - 0,713 - 0,6728 \cdot H + 0,0695 \cdot L + 0,161 \cdot H^2 - 0,000157 \cdot L^2 - 0,00258 \cdot H \cdot L \quad (15)$$

Fonte: A autora (2020).

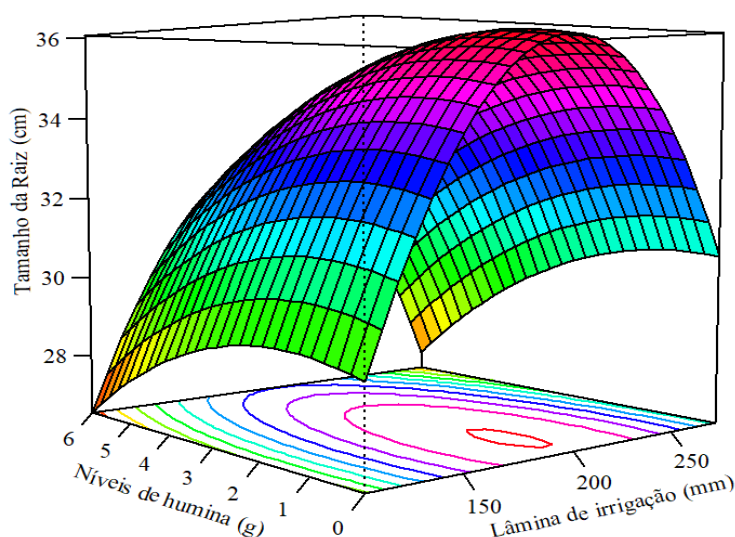
De acordo com Filgueira (2000), a cultura da alface apresenta o sistema radicular pivotante, porém a raiz primária não apresenta grande desenvolvimento. Assim sendo, as características necessárias para o desenvolvimento da cultura, tende a se desenvolver pouco, pois o balanço de energia é direcionado ao desenvolvimento da parte aérea e é a partir desse fato que ocorre a perpetuação da espécie (SANTOS, 2004).

De forma geral, as condições climáticas e a umidade do solo influenciam diretamente a produção e a produtividade das hortaliças, assim o excesso ou déficit hídrico podem acarretar redução de produção (MAGGI, 2006). A necessidade de se manejar corretamente a irrigação é de suma importância para os produtores, além de suprir a necessidade hídrica das plantas, se bem manejada pode levar a redução da incidência de doenças, lixiviação de nutrientes e de gastos desnecessários com água e energia (MORGAN *et al.*, 2001).

4.2.4 Tamanho da raiz

Através do estudo de regressão, verificou-se efeito da interação H x L no tamanho da raiz, quando a alface cultivada em solo argiloso (Figura 17). Derivando-se a equação polinomial (Equação 15), encontraram-se os seguintes valores de máxima: 1,08 g e 197,86 mm (90% da ETc) para os fatores humina e lâmina, respectivamente, com o tamanho da raiz atingindo 36,07 cm.

Figura 17 – Tamanho da raiz (TR) da alface do tipo crespa, quando cultivada em solo argiloso. Ambos os fatores apresentaram modelo de regressão quadrática, com concavidade para baixo (ponto de máximo).



$$TR = 0,2443 + 0,5628 \cdot H + 0,359 \cdot L - 0,1307 \cdot H^2 - 0,0009034 \cdot L^2 - 0,00142 \cdot H \cdot L \quad (16)$$

Fonte: A autora (2020).

Santos (2019) também destacou um comportamento quadrático no tamanho das raízes em relação às lâminas de água, onde atingiram o tamanho máximo de 19,8 cm utilizando lâminas correspondentes a 128% da ETc. Enquanto Putti (2014), estudando a cultura da alface, não observou efeito significativo das lâminas de irrigação sobre o comprimento da raiz.

Um sistema radicular mais desenvolvido deve, aparentemente, ser mais eficiente na absorção de nutrientes e de água do solo e, assim, influenciar a produtividade. Além disso, segundo Fitter (1996), quando um nutriente é fornecido em baixa quantidade, as raízes reduzem o diâmetro e aumentam em comprimento, resultando em aumento no comprimento radicular específico.

No solo, o Ca entra em contato com as raízes por fluxo de massa; portanto, a umidade adequada é condição fundamental para a nutrição cálcica de algumas espécies, como pimentão, tomate, entre outros. Sob condições de baixa umidade, pequena quantidade de Ca atinge as raízes, levando a uma menor absorção do nutriente (FAQUIN, 1994).

O cálcio é constituinte da parede celular (MARSCHNER, 2011), assim, para maior crescimento da planta são necessárias maiores quantidades de Ca disponíveis para a absorção, independentemente da parte da planta (raiz, caule, folha, flor, fruto).

Estudos realizados por Cakmak, e Kirkby (2008) relatam o efeito expressivo da deficiência de magnésio no crescimento das raízes. Um sistema radicular pouco desenvolvido limita a absorção de água, nutrientes e, conseqüentemente, a produtividade das culturas. Além

disso, o magnésio é frequentemente sujeito a lixiviação em quantidades consideráveis. A lixiviação de magnésio também é influenciada pela acidez do solo, concentração de Ca e CTC afetada pela matéria orgânica e % de argila.

4.2.5 Teor de água nas folhas e eficiência do uso da água

As variáveis TAF e EUA mostraram interação significativa entre os dois fatores estudados e para ambos os solos (Tabela 5 e 6). As plantas da alface cultivada em solo arenoso apresentaram seu máximo teor de água nas folhas = 94,38% (Figura 18A; equação 17). Para o solo argiloso, não foi possível determinar os níveis máximos ou mínimos dos fatores, dentro do intervalo, como se pode observar na Figura 18C (Equação 19). No entanto, a partir da combinação entre a não aplicação de humina (0,0 g) e a lâmina de 125% da ETc (274,95 mm), vê-se o maior teor de água possível, este que corresponde a 93%. Tais resultados reforçam aqueles encontrados para suas MFPA correspondentes. Observa-se que o TAF aumenta linearmente à medida que há um incremento nas lâminas de água, afetando positivamente o conteúdo de água nas folhas. Em média, as partes verdes da maioria das plantas tem um teor de água entre 80 e 90%, que varia de acordo com as condições hídricas ambientais. (GUIMARÃES; STONE, 2008).

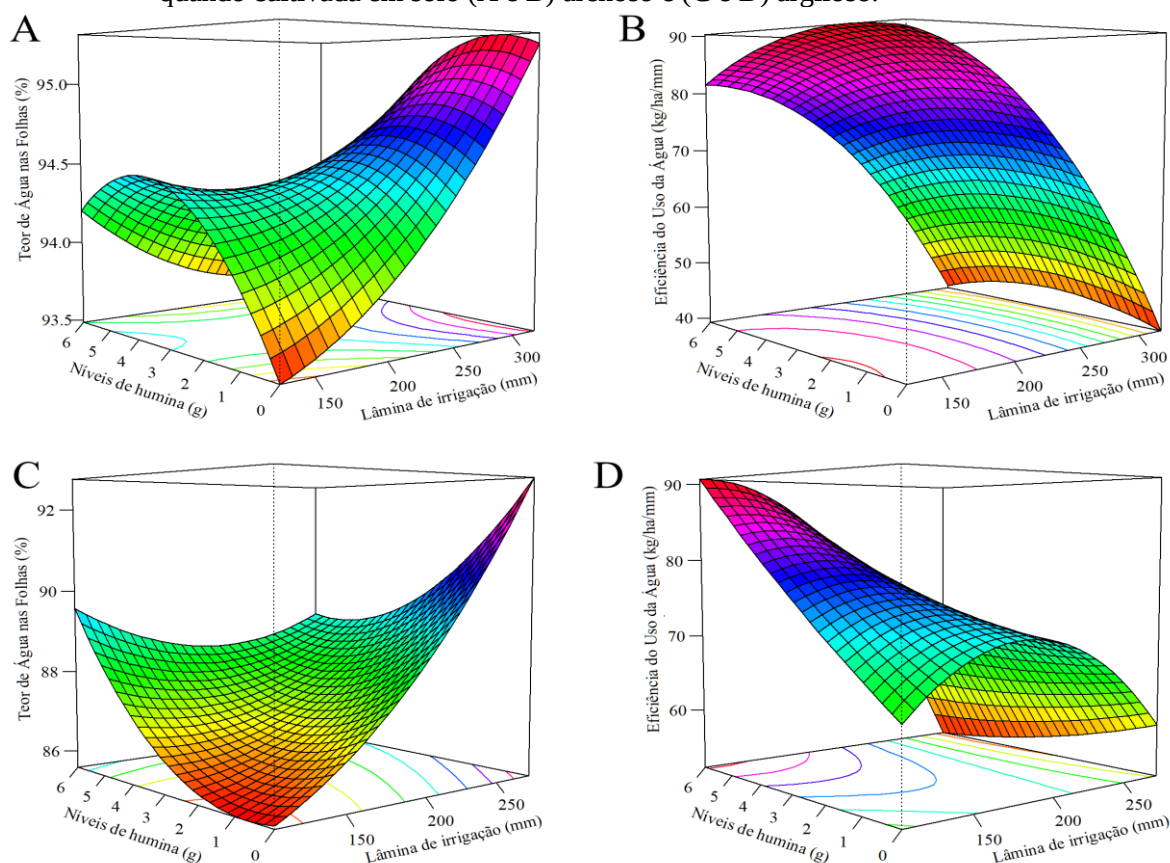
A maior eficiência do uso da água (EUA) foi constatada para a alface cultivada em solo arenoso ($90,68 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) que ocorreu com a aplicação da lâmina de 110,22 mm (43% da ETc) e 1,28 g de humina (Figura 18B; equação 18). Para o solo argiloso, a EUA máxima foi cerca de $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, com a aplicação máxima do nível de humina e na lâmina de 113 mm (51% da ETc) (Figura 18D; equação 20). Com base no gráfico para a variação da EUA, em solo argiloso (Figura 18D), um incremento maior no nível de humina poderia acarretar uma maior EUA, visto que, dentro do intervalo dos níveis, não é possível determinar o ponto máximo para tal fator.

Verifica-se também a similaridade para os valores obtidos da variável em questão, assim como a quantidade de água das lâminas. Além disso, nota-se que à medida que os níveis de água das lâminas aumentam, após atingirem suas EUAs máximas, a eficiência diminui. Araújo *et al.*, (2010) avaliando o rendimento da alface em função de lâminas de irrigação cultivadas sob ambiente protegido, evidenciaram que a eficiência do uso de água (EUA) diminui linearmente com o acréscimo da lâmina de irrigação aplicada. De maneira semelhante, Valeriano *et al.*, (2016) destacam que a maior EUA foi aquela cuja lâmina de irrigação correspondeu a 60% da ETC.

O teor de água nos vegetais provoca alterações no movimento dos estômatos (TATAGIBA, 2006). Desse modo, quando estão fechados em déficit hídrico em estágios iniciais pode-se aumentar a eficiência no uso de água pela planta, assim mais CO₂ pode ser retido por quantidade de água transpirada.

A eficiência do uso da água é caracterizada como a quantidade de água evapotranspirada por uma planta para a produção de certa quantidade de matéria seca. Dessa forma, plantas mais eficientes no uso da água produzem mais matéria seca por grama de água transpirada (BAPTISTA *et al.*, 2001). O uso mais eficiente da água está diretamente atrelado ao tempo de abertura estomática, pois, enquanto a planta absorve CO₂ para a fotossíntese, a água é perdida para o ambiente por evapotranspiração, seguindo uma corrente de potenciais hídricos (PEREIRA-NETTO *et al.*, 2002).

Figura 18 – Teor de água nas folhas (TAF) e eficiência do uso da água (EUA) na cultura da alface, quando cultivada em solo (A e B) arenoso e (C e D) argiloso.



$$\text{TAF} = 93,52 + 0,744 \cdot H - 0,00399 \cdot L - 0,0628 \cdot H^2 + 0,0000294 \cdot L^2 - 0,001936 \cdot H \cdot L \quad (17)$$

$$\text{EUA} = 77,497 + 0,2782 \cdot H + 0,236 \cdot L - 0,4192 \cdot H^2 - 0,0011125 \cdot L + 0,0072 \cdot H \cdot L \quad (18)$$

$$\text{TAF} = 85,092 + 0,6425 \cdot H - 0,00997 \cdot L + 0,14176 \cdot H^2 + 0,0001375 \cdot L^2 - 0,00764 \cdot H \cdot L \quad (19)$$

$$\text{EUA} = 21,98 + 7,5476 \cdot H + 0,5398 \cdot L + 0,1234 \cdot H^2 - 0,001476 \cdot L^2 - 0,0342 \cdot H \cdot L \quad (20)$$

Fonte: A autora (2020).

4.3 Análise de componentes principais (ACP)

A análise de componentes principais (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. A ACP consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais.

Das doze variáveis estudadas no desempenho agrônômico da cultura da alface mostram o comportamento de cada nível de humina (H_0 , H_2 , H_4 e H_6) em cada lâmina de irrigação (L_1 , L_2 , L_3 e L_4) em dois tipos de solos (arenoso e argiloso). A utilização da análise multivariada permitiu reduzir o espaço multidimensional do conjunto original de variáveis em três componentes principais (ACP1, ACP2 e ACP3). Essas dimensões podem ser explicadas pela soma dos três primeiros autovalores assim como a soma das três primeiras proporções de variâncias (em percentuais), de cada fator estudado, para ambos os solos: arenoso e argiloso (Tabela 7). A importância de um componente principal é avaliada por meio de sua contribuição, isto é, pela proporção de variância total explicada pelo componente. O número de componentes utilizados tem sido aquele que acumula 70% ou mais de proporção da variância total (REGAZZI, 2000).

A ACP é um método de análise multivariada que tem por finalidade básica a análise dos dados de forma reduzida, eliminando as sobreposições e escolhendo a forma mais representativa dos dados a partir de combinações lineares das variáveis originais. 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.

Tabela 7 - 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 lâmina de água em solo arenoso e argiloso.

Lâminas	Autovalores					
	Solo arenoso			Solo argiloso		
	ACP1	ACP2	ACP3	ACP1	ACP2	ACP3
L ₁	4,86	1,82	1,55	4,34	2,21	1,98
L ₂	4,64	2,24	1,75	5,22	2,31	1,43
L ₃	3,91	2,88	1,74	4,32	2,82	1,26
L ₄	4,82	2,12	1,45	4,42	3,15	1,72

Proporções de variâncias (%)						
	ACP1	ACP2	ACP3	ACP1	ACP2	ACP3
L ₁	40,53	15,15	12,95	36,19	18,42	16,49
L ₂	38,70	18,68	14,58	43,54	19,22	11,90
L ₃	32,58	23,98	14,46	36,00	23,52	10,54
L ₄	40,15	17,69	12,12	36,82	26,24	14,33

Fonte: Dados do experimento (2020).

A quantidade de variação retida por cada componente principal medida pelo primeiro autovalor e pela primeira proporção de variância para os valores em solo arenoso teve desvios-padrão iguais a 0,44 e 3,69, com maior valor na lâmina na L₁ e menor na L₃. Já em solos argiloso os valores de desvios-padrão foram de 0,43 (autovalor) e 3,62 (proporção de variância), sendo para o L₂ o maior e L₃ o menor (Tabela 7).

Os gráficos das ACP's foram: elipsoides, para os três primeiros componentes principais, com representação tridimensional (3D) e de projeção espacial da ordenação de vetores, para os dois primeiros componentes, analisados a partir das correlações dos níveis de humina em cada lâmina de irrigação nas variáveis estudadas.

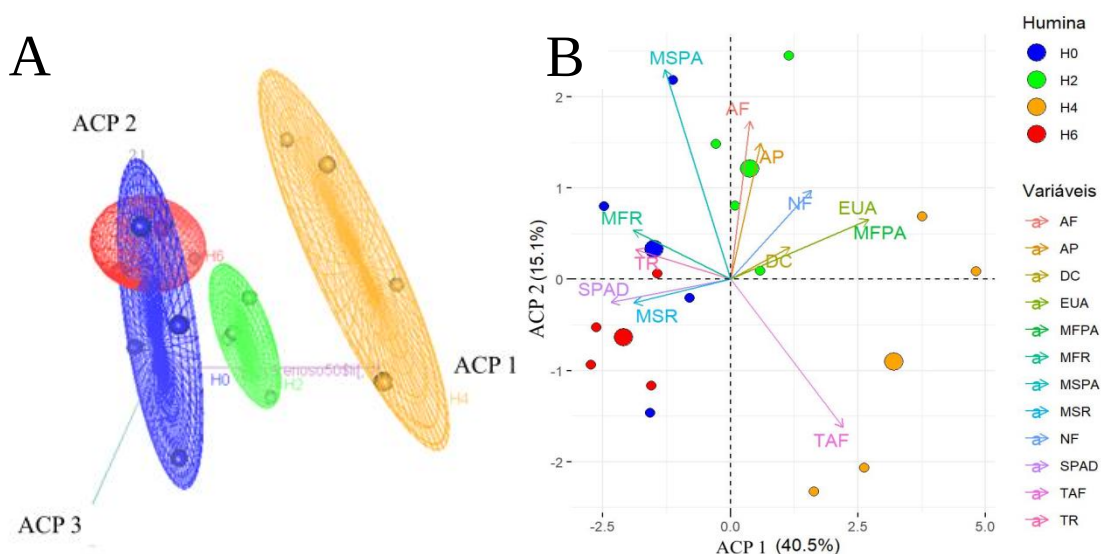
Para lâmina de água L₁ as doze variáveis estudadas tiveram como melhor recomendação de nível humina de H₄>H₆>H₂>H₀ para ambos os solos (arenoso e argiloso), embora a humina H₄ tivesse sido a melhor nos dois solos, também obtiveram maiores elipsóides e pontos distantes, indicando menor confiabilidade em sua variabilidade nas variáveis estudadas, uma vez que quanto mais próximos forem os pontos, maiores tenderão a serem suas semelhanças (VALLADARES *et al.*, 2008).

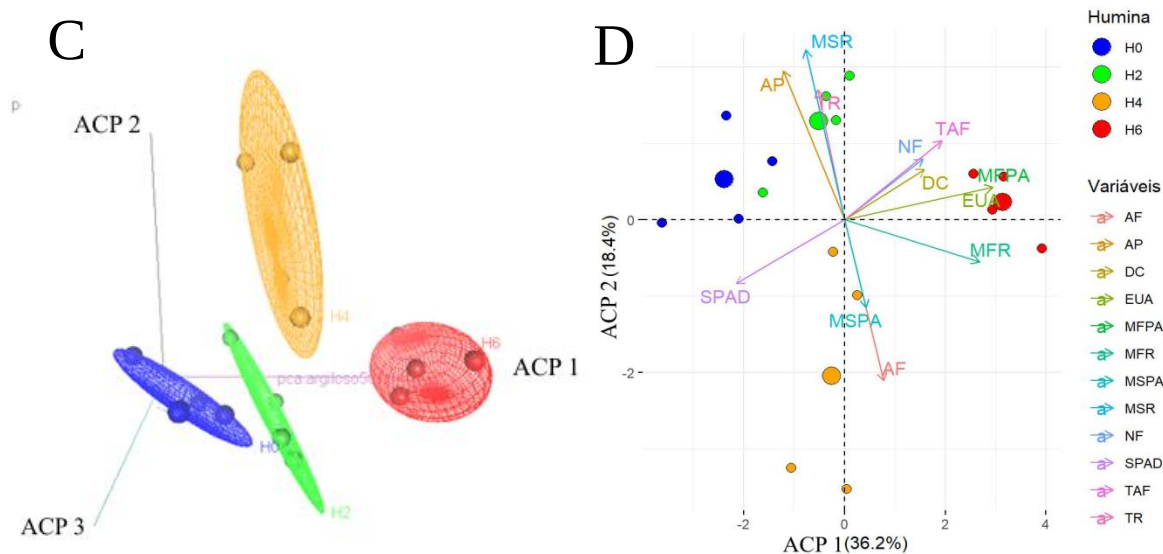
Para o solo arenoso, os níveis de huminas que tiveram menores elipses e pontos próximos foram as que não tiveram recomendação (Figura 19A). A projeção polar das cargas das variáveis associadas às três primeiras componentes mostra a ordenação dos vetores das variáveis no espaço (Figura 19A). Com base na Figura 19B, é possível avaliar a estrutura das variáveis e as cargas fatoriais dos primeiros dois componentes. O gráfico mostra que as

variáveis: AF, AP, NF, EUA, DC e MFPA tem grandes cargas fatoriais positivas no componente 1 (ACP1). Este componente enfoca as variáveis relacionadas à parte aérea da planta e, conseqüentemente, corresponde à parte de interesse comercial da cultura. Observa-se que no componente 1 positivo, o nível H₂ melhor engloba as variáveis. Dado que corrobora com a ordem de recomendação de nível humina H₄>H₆>H₂>H₀. Onde, H₄ e H₆ foram descartadas devido aos pontos distantes e quadrante em que se encontra, respectivamente, o que garantem menor confiabilidade em sua variabilidade.

Em solo argiloso, o nível H₆ é indicado como a melhor opção. A representação em escala tridimensional (3D) (Figura 19C) e a projeção espacial da ordenação dos vetores comprova o resultado (Figura 19D). As variáveis NF, TAF, DC, MFPA, EUA, MFR, MSPA e AF apresentam cargas em ACP1.

Figura 19 – Representação dos níveis de humina (H₀, H₂, H₄ e H₆) na lâmina de água de 50% da ETC, para os solos arenoso e argiloso, (A e C) em visualização tridimensional e (B e D) em projeção espacial da ordenação dos vetores, respectivamente, das doze variáveis estudadas no desempenho agrônômico da cultura da alface.





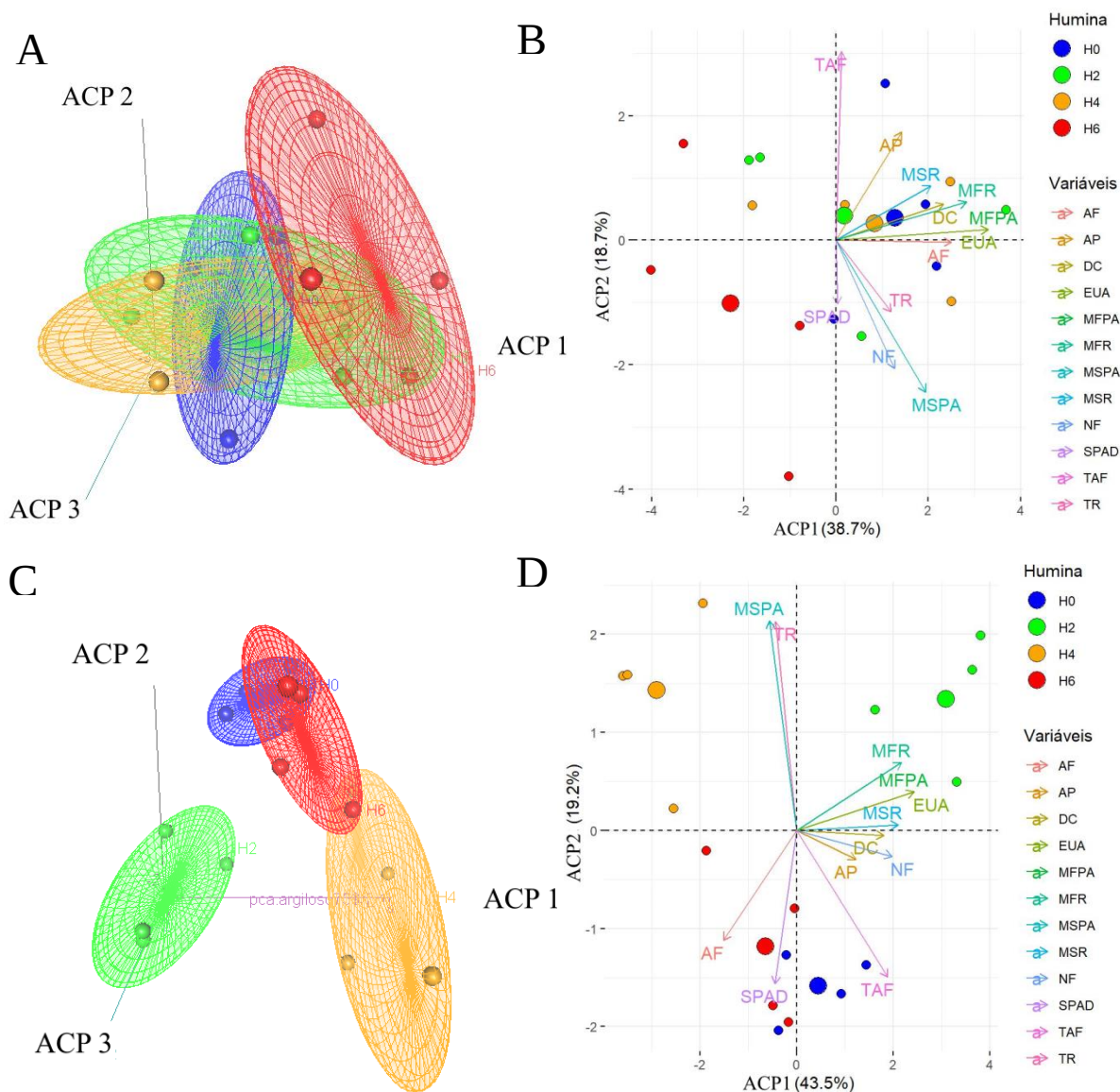
Fonte: A autora (2020).

A resposta do desempenho agrônômico de todas variáveis em resposta à cultura teve comportamento para cada nível de humina (H_0 , H_2 , H_4 , e H_6) na lâmina de água de 75% da ET_c para ambos os solos (arenoso e argiloso), podendo ser observado na Tabela 7 os valores das ACPs nessas dimensões, dado pela soma dos três primeiros autovalores e das variâncias correspondendo a 8,64 e 8,96; 71,96 e 74,66% para os solos arenoso e argiloso, respectivamente.

A variabilidade das variáveis estudadas na L_2 demonstra menor intervalo de confiança para o solo arenoso (grandes elipsóides e pontos distantes) (Figura 20A) do que no solo argiloso para todos os níveis de humina, indicando o maior intervalo de confiança para H_0 (sem aplicação de humina) com pequenas elipsoides e pontos próximos. Para o solo argiloso, a recomendação é H_2 , visto que os pontos se encontram na ACP positiva (Figura 20C).

Para o solo arenoso, todas as variáveis estudadas apresentaram cargas no componente 1, revalidando o nível H_0 de humina como a melhor recomendação (Figura 20B). No solo argiloso, todas as variáveis, com exceção da MSPA, TR, AF e SPAD, apresentaram cargas no componente 1, representando 43,5% de variância.

Figura 20 - Representação dos níveis de humina (H_0 , H_2 , H_4 e H_6) na lâmina de água de 75% da ET_c , para os solos arenoso e argiloso, (A e C) em visualização tridimensional e (B e D) em projeção espacial da ordenação dos vetores, respectivamente, das doze variáveis estudadas no desempenho agrônômico da cultura da alface.

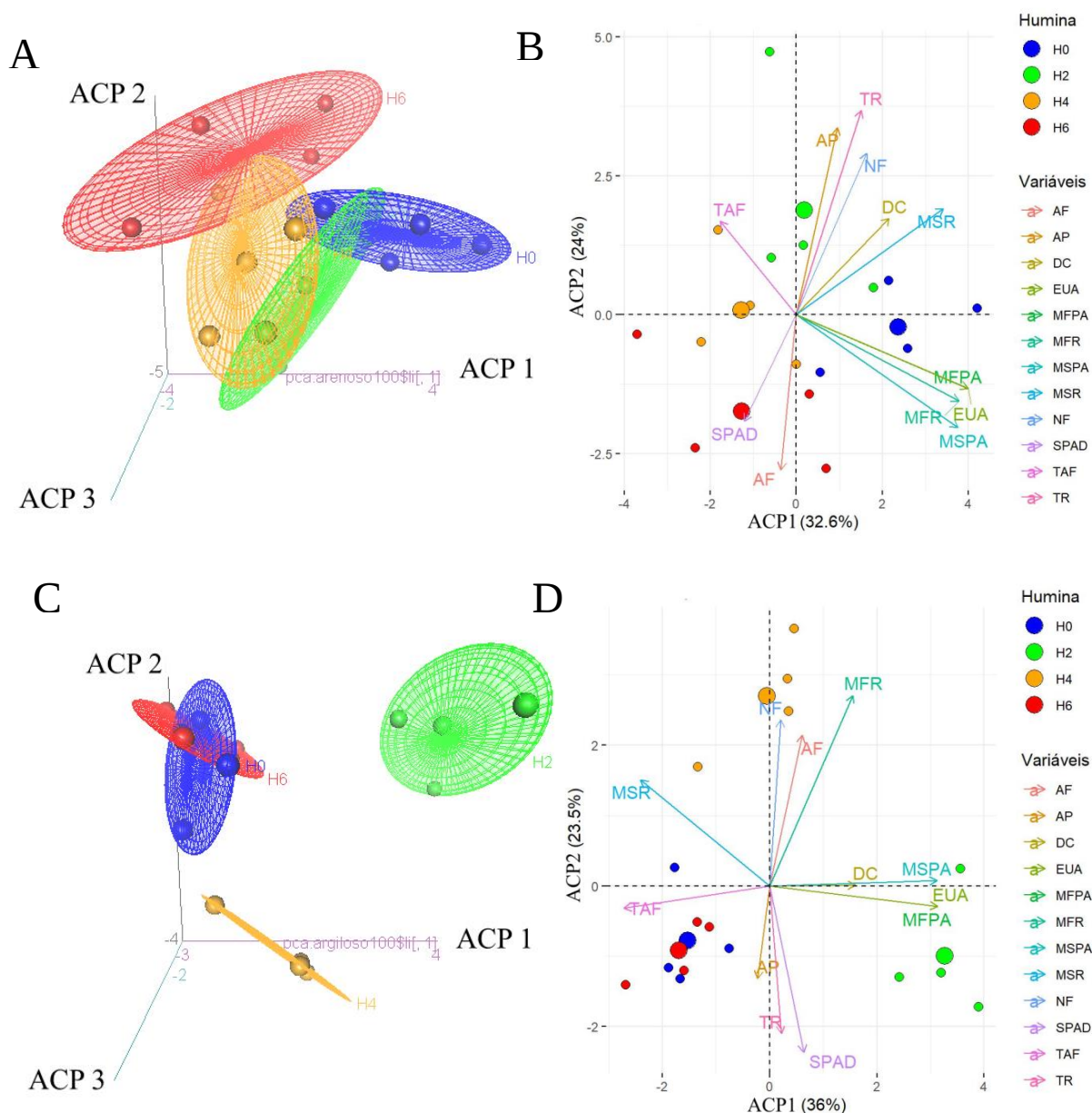


Fonte: A autora (2020).

O comportamento dos níveis de humina na análise das doze variáveis no desempenho agrônômico da cultura da alface na lâmina de água de 100% da ET_c (L_3), para ambos os solos estudados, tiveram valores semelhantes da soma dos autovalores e das proporções de variações, conforme descritos: 8,53 e 8,51; 71,02 e 70,93% para os solos arenoso e argiloso, respectivamente (Tabela 7). As semelhanças desses valores demonstram que todas variáveis tiveram elipsóides e dispersão dos pontos com confiabilidade semelhantes, podendo ser alterado apenas nos níveis de humina.

Na Figura 21C, repara-se que as elipsóides foram menores e as distribuições de pontos próximos no solo argiloso, acarretando maior confiabilidade, quando comparado ao solo arenoso (Figura 21A). A não aplicação de humina (= H₀) seguido do nível H₂ correspondem aos níveis mais indicados, para o solo arenoso. As variáveis TAF, SPAD e AF encontram-se na ACP2, cuja variância equivale a aproximadamente 24%. No solo argiloso, o nível H₂ é o recomendado, seguido de H₄. Com exceção das variáveis TAF, AP e MSR, as demais encontram-se na ACP1, com variância corresponde a aproximadamente 36%.

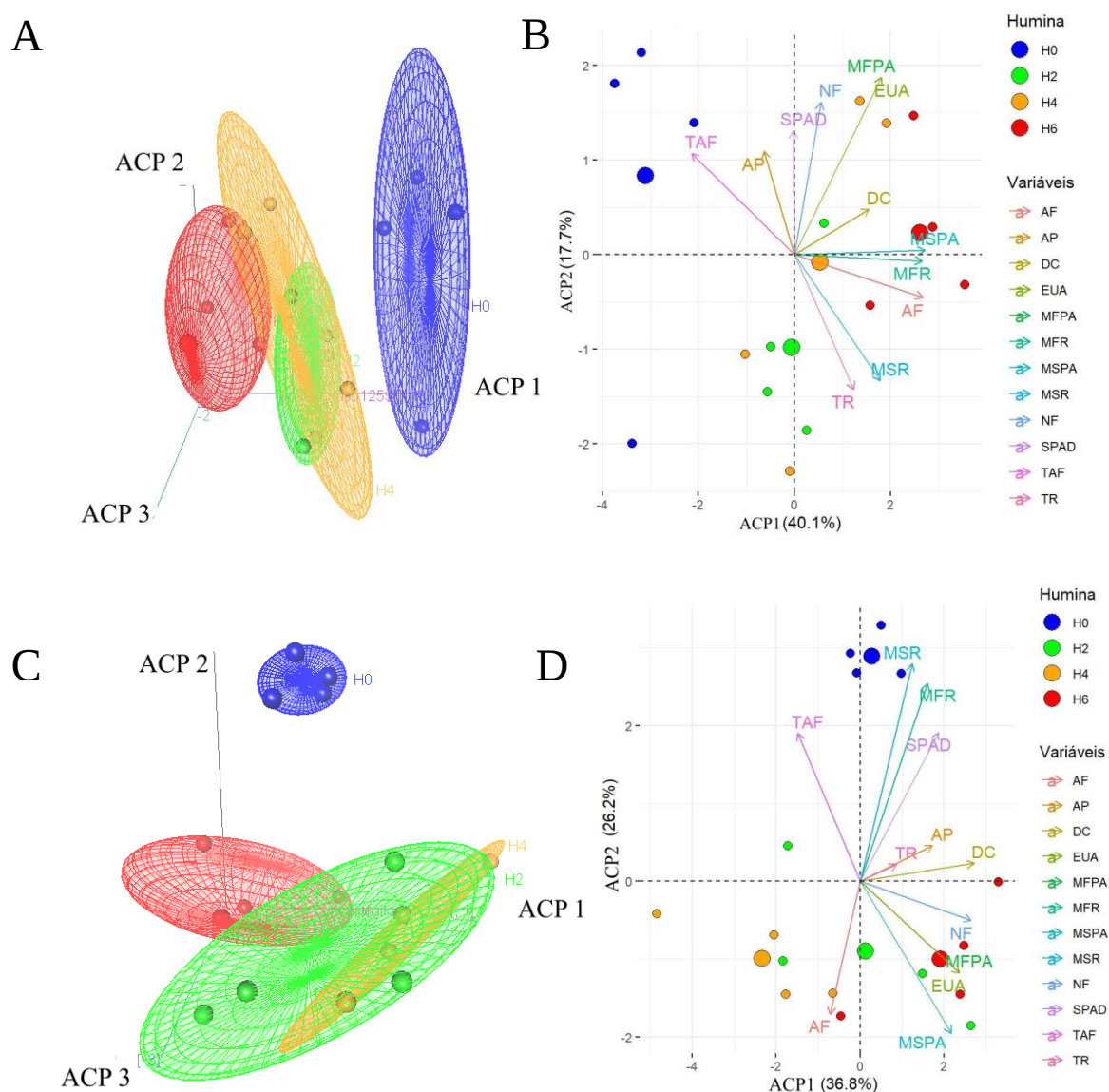
Figura 21 – Representação dos níveis de humina (H₀, H₂, H₄ e H₆) na lâmina de água de 100% da ETC, para os solos arenoso e argiloso, (A e C) em visualização tridimensional e (B e D) em projeção espacial da ordenação dos vetores, respectivamente, das doze variáveis estudadas no desempenho agrônômico da cultura da alface.



Fonte: A autora (2020).

É possível visualizar, na Figura 22 A; C, que as menores elipsoides representam o nível H_6 e corroborando com a projeção espacial da ordenação dos vetores das variáveis (Figura 22 B e D) indicam ser a melhor opção de nível de humina, apesar de, para o solo argiloso, o nível H_0 apresentar menor elipsoide. As principais variáveis relacionadas à parte de interesse comercial da cultura, para ambos os solos, encontram-se no componente 1, para ambos os solos.

Figura 22 - Representação dos níveis de humina (H_0 , H_2 , H_4 e H_6) na lâmina de água de 125% da ETC, para os solos arenoso e argiloso, (A e C) em visualização tridimensional e (B e D) em projeção espacial da ordenação dos vetores, respectivamente, das doze variáveis estudadas no desempenho agrônômico da cultura da alface.



Fonte: A autora (2020).

O comportamento dos níveis de humina (H_0 , H_2 , H_4 e H_6) em relação à lâmina de água de 125% da ETc (L_4) obtiveram dimensões de 8,39 e 9,29 para os três primeiros autovalores juntos e de 69,97 e 77,38% para soma das três primeiras variações, para os respectivos solos arenoso e argiloso (Tabela 7).

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).

4.4 Análise hierárquica de clusters

A visualização das doze variáveis por meio das análises hierárquicas de clusters na produtividade da cultura da alface em resposta a níveis de humina e lâminas de água, para solos arenoso e argiloso, foram analisadas e organizadas por meio de dendogramas. Nos diagramas, cada ramo representa um elemento, enquanto a raiz representa o agrupamento de todos os elementos.

Como pode ser observado na Figura 23, o dendograma mostra a similaridade entre as combinações dos níveis de humina e lâminas de irrigação ($H_0L_1, \dots, H_0L_4$, $H_2L_1, \dots, H_2L_4$, $H_4L_1, \dots, H_4L_4$ e $H_6L_1, \dots, H_6L_4$) segundo as variáveis analisadas.

As variáveis foram organizadas em quatro grupos de similaridades, para o solo arenoso: grupo 1 (MSR, TAF, AF, AP e NF), grupo 2 (MSPA, DC, MFPA, e TR), grupo 3 (SPAD) e grupo 4 (EUA e MFR), bem como quatro grupos de similaridades para quatro número de interações HL. É possível observar que cada lâmina se manteve no mesmo grupo, sendo essas similares em todos os níveis de humina. A maior similaridade obtida pode ser observada para a interação dos níveis de H com a L_2 , exceto para H_6 . Constata-se, também, que houve uma separação entre dois grupos principais: lâminas de 50 e 125% (L_1 e L_4) formando um agrupamento e lâminas de 75 e 100% (L_2 e L_3) formando outro. O fato pode ser explicado devido as lâminas de 50 e 125% da ETc corresponderem ao déficit e ao excesso de água na alface, ocasionando estresse e, conseqüentemente, afetando semelhantemente as variáveis analisadas, acarretando diminuição da produtividade da cultura.

Já para o solo argiloso os quatro conjuntos de similaridades das variáveis foram organizados em: grupo 1 (MSR, TAF, AP e NF), grupo 2 (MSPA, MFPA, DC e TR), grupo 3 (MFR) e grupo 4 (AF, SPAD e EUA). Quatro agrupamentos, também, foram identificados para as combinações H x L, correspondendo, cada um, a 9, 2, 2 e 3 clusters. Vê-se que todos os níveis de humina na lâmina L₁ se mantiveram no mesmo grupo, indicando, assim, maiores similaridades, o que não foi observado para as demais interações (Figura 24).

Nas Figuras 23 e 24 mostram a maior distância ou dissimilaridade no solo arenoso e no solo argiloso nos conjuntos das variáveis MSR e TAF com SPAD e TAF e MSR com MFR, respectivamente. As interações HL dessas dissimilaridades foram observadas entre as lâminas L₂ e L₄ em todos os níveis de humina (solo arenoso) e entre as lâminas L₁ e L₃, com destaque na interação H₄L₁ e H₀L₃, H₆L₃ (solo argiloso). Já a maiores similaridades foram obtidas para os conjuntos de variáveis (MFPA e TR) e interações HL para o solo arenoso H₀L₂ e H₄L₂ e as variáveis DC e TR e interações H₀L₃ e H₆L₃ para o solo argiloso.

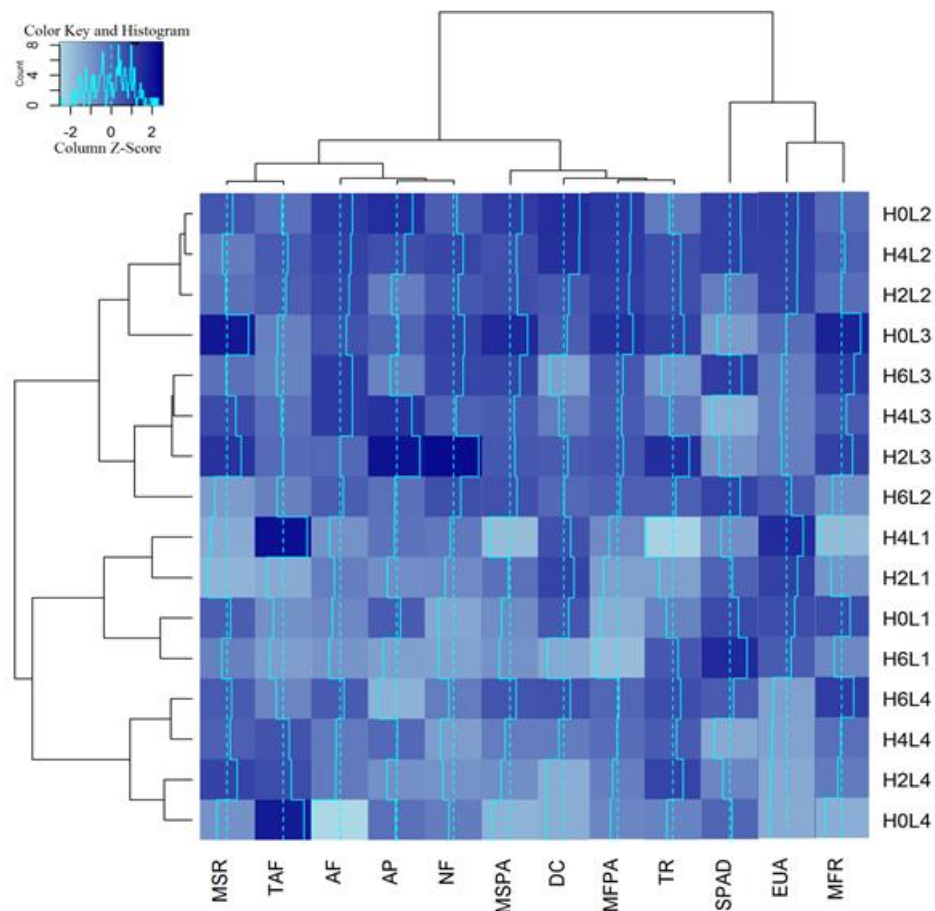
A análise dos dados levou em consideração a altura de arco, pois indica a distância (ou similaridade) que resultou no agrupamento dos clusters aos quais suas extremidades estão conectadas. De acordo com a literatura, bons clusters são compactos (ou seja, possui menor arco) de modo que os elementos apresentem alta similaridade, enquanto que a similaridade com outros clusters seja a menor possível. No entanto, a junção entre clusters distintos devem apresentar pouca similaridade (arco maior em relação aos arcos que unem seus sub-clusters). A diferença entre a altura de um arco e os arcos formados anteriormente a ele é um indicador de que os clusters agrupados são totalmente distintos e que provavelmente não representam o mesmo conceito (METZ, 2006).

Com base nos resultados dos dendogramas, se pode observar uma particularidade, três dos agrupamentos das interações agrupadas podem ter uma origem comum (principal) no cultivo em solo argiloso, por outro lado, em solo arenoso, as interações têm aglomerações de origem diferente distribuídas igualmente em grupos de 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 HL (Figuras 23 e 24).

Observando que as melhores interações HL para os conjuntos de variáveis foram: 1) solo arenoso: H₀L₃ (MFPA, MFR, MSPA e MSR), H₄L₁ (TAF e EUA), H₂L₃ (AP, NF e TR), H₆L₃ (SPAD), H₀L₂ (DC) e H₆L₃ ou H₆L₃ (AF), sendo que a humina H₄ não teve interação com nenhuma lâmina, o destaque é para lâmina L₃ que teve interação com a humina H₆ para quase todas variáveis, 2) solo argiloso: H₄L₃ (NF e MFR), H₂L₃ (MSPA e DC), H₀L₄ (MSR e TAF), H₆L₄ (MFPA), H₄L₂ (AF), H₆L₂ (AP), H₀L₃ (TR), H₆L₁ (EUA) e H₀L₁ (SPAD), sendo as

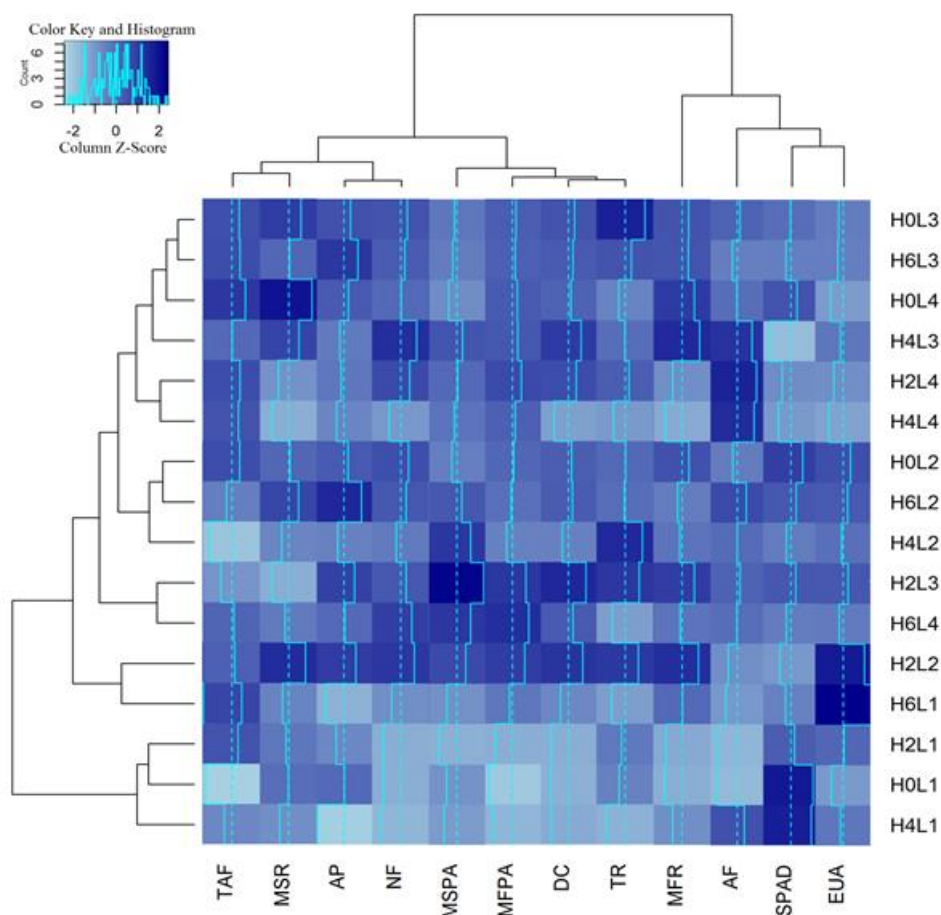
lâminas L₃ e L₄ tiveram maior quantidade das variáveis com interação para todos os níveis de humina. Em solo arenoso houve resultados mais agregados, demonstrando maior similaridade e proximidades do que o solo argiloso (Figuras 23 e 24).

Figura 23 - Resultado da análise de agrupamento (dendograma hierárquico de clusters) para doze variáveis estudadas da cultura alface em resposta as interações de níveis de humina e de lâminas de irrigação (HL) em solo arenoso. As variáveis foram organizadas em quatro grupos de similaridades: grupo 1 (MSR, TAF, AF, AP e NF), grupo 2 (MSPA, DC, MFPA, e TR), grupo 3 (SPAD) e grupo 4 (EUA e MFR), bem como quatro grupos de similaridades para quatro número de interações HL. A maior similaridade obtida pode ser observada para a interação dos níveis de H com a L₂, exceto para H₆. Houve uma separação entre dois grupos principais: lâminas de 50 e 125% (L₁ e L₄) formando um agrupamento e lâminas de 75 e 100% (L₂ e L₃) formando outro.



Fonte: Dados do experimento (2020).

Figura 24 - Resultado da análise de agrupamento (dendograma hierárquicas de clusters) para doze variáveis estudadas da cultura alface em resposta as interações de níveis de humina e de lâminas de irrigação (HL) em solo argiloso. Quatro conjuntos de similaridades das variáveis foram organizados em: grupo 1 (MSR, TAF, AP e NF), grupo 2 (MSPA, MFPA, DC e TR), grupo 3 (MFR) e grupo 4 (AF, SPAD e EUA). Quatro agrupamentos, também, foram identificados para as combinações H x L, correspondendo, cada um, a 9, 2, 2 e 3 clusters.



Fonte: Dados do experimento (2020).

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 dendogramas, indicam as amostras mais semelhantes entre si, ou seja, quanto menor a distância entre os pontos, maior será a semelhança entre as mesmas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Para a maioria das variáveis analisadas, em ambos os solos, a humina enriquecida com cálcio e magnésio apresentou efeito significativo, tanto isoladamente quanto na interação com o fator lâminas de água;
2. Os níveis de humina indicados para aplicação variaram de acordo com a lâmina de água e o tipo de solo;
3. Devido às características físico-químicas dos cátions estudados, é possível que haja uma competição pelos mesmos sítios de absorção, onde a mobilidade do Mg o favorece, seja na adsorção na humina como na absorção do íon pela planta;
4. A presença dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo, antes da aplicação dos níveis de humina, podem ter influenciado a dessorção dos mesmos no solo, explicando assim o fato de algumas variáveis terem correspondido bem ao nível H_0 (sem aplicação de humina);
5. A análise de componentes principais mostrou que o nível de humina H_2 seguido de H_6 são os que mais influenciaram nas variáveis relacionadas à cultura da alface;
6. As variáveis de maior interesse comercial como: MFPA, NF, DC determinaram a maior parte da variabilidade dos níveis de humina nas lâminas de água;
7. A análise de hierárquica de clusters permitiu observar a dissimilaridade entre as lâminas L_2 e L_4 em todos os níveis de humina (solo arenoso) e entre as lâminas L_1 e L_3 , com destaque na interação H_4L_1 e H_0L_3 , H_6L_3 (solo argiloso). Já as maiores similaridades foram obtidas para os conjuntos de variáveis MFPA e TR e interações HL para o solo arenoso H_0L_2 e H_4L_2 ; e as variáveis DC e TR e interações H_0L_3 e H_6L_3 para o solo argiloso.
8. A interação do Ca e Mg através da humina possibilita o uso do resíduo de forma útil, como no melhoramento da fertilidade de solos para os processos agrícolas no plantio de cultivares, sendo viável a necessidade de estender o uso destes resíduos como fertilizantes naturais dependendo da afinidade desta com outros nutrientes essenciais;
9. A destinação útil de um resíduo orgânico, como a humina, além de ser trazer benefícios a fertilidade do solo e, conseqüentemente, favorecer uma melhor produtividade da cultura, também é vantajoso economicamente e ambientalmente. O estudo em conjunto dos fatores mencionados se faz necessário quando se objetiva a produção de um fertilizante.

5.1 Propostas futuras

- Fazer estudo cinético e das isothermas das análises de adsorções de Ca^{2+} e Mg^{2+} ;
- Fazer estudo da capacidade adsortiva da solução multielementar de Ca^{2+} e Mg^{2+} ;
- Aplicar em diferentes culturas, preferencialmente, com sistemas radiculares distintos;
- Avaliar o estado nutricional da cultura.

REFERÊNCIAS

- ABCSEM. O mercado de folhosas: números e tendências. *In: SEMINÁRIO NACIONAL DE FOLHOSAS*, 1., 2013, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: ABCSEM, 2013. Disponível em: https://www.abcsem.com.br/upload/arquivos/O_mercado_de_folhosas__Numeros_e_Tendencias_-_Steven.pdf. Acesso em: 26 out. 2019.
- ALMEIDA, T.B.F.; PRADO, R.M.; CORREIA, M.A.R.; PUGA, A.P.; BARBOSA, J.C. Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. **Revista Biotemas**, v. 24, n. 2, p. 27-36, jun. 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/2175-7925.2011v24n2p27>. Acesso em: 26 out. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2017.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; KLAR, A. E. Manejo da irrigação da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do tanque classe A. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, n. 1-2, 1997. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161997000100005&lang=pt. Acesso em: 26 out. 2019.
- ANDRIOLO, J. L.; JANISCH, D. I.; SCHMITT, O. J.; DAL PICIO, M. D.; CARDOSO, F. L.; ERPEN, L. Doses de potássio e cálcio no crescimento da planta, na produção e na qualidade de frutas do morangueiro em cultivo sem solo. **Ciência Rural**, v. 40, p. 267-272, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782010000200003. Acesso em: 26 out. 2019.
- ARAÚJO, W. F. *et al.* Rendimento e eficiência do uso da água pela alface em função da lâmina de irrigação. **Revista Caatinga**, v. 23, n.4, p. 115-120, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/1824>. Acesso em: 23 nov. 2019.
- ASHKAR, S. A.; RIES, S. K. Lettuce tipburn as related to nutrient imbalance and nitrogen. **J. Am. Soc. Hort. Sei.** v.96, p. 448-452, 1971.
- ATKINS, P.; PAULA, J. de; FRIEDMAN, R. **Físico-química**, v. 1. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- AYUSO, M. *et al.* Stimulation of barley growth and nutrient absorption by humic substances originating from various organic materials. **Bioresource Technology**, v. 57, n. 3, p. 251-257, 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852496000648>. Acesso em: 23 nov. 2019.
- BASLAM, M.; GARMENDIA, I.; GOICOECHEA, N. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved growth and nutritional quality of greenhouse-grown lettuce. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 59, n. 10, p. 5504-5515, 2011. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf200501c>. Acesso em: 24 nov. 2019.
- BAPTESTINI, Júlio Cezar Machado. **Onion production under different irrigation**

water and nitrogen to molybdenum fertilization. 2013. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

BAPTISTA, J. M. *et al.* **Programa Nacional para o uso eficiente da água.** Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 2001.

BARBER, S.A. Influence of the plant root on ion movement in soil. *In*: CARSON, E.W. (ed.) **The plant root and its environment.** Charlottesville: University of Virginia, 1974. p.525-564.

BARROSO, F. de L. **Influência do magnésio sobre o desenvolvimento, produtividade e índices nitrogenados da batata semente básica, cultivada em substrato orgânico e em hidroponia.** 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013

BOLT, G.H. *et al.* **Interactions at the soil colloid:** soil solution interface. New York: Springer Science & Business Media, 2013.

BOTERO, W. G. *et al.* Peat humic substances enriched with nutrients for agricultural applications: Competition between nutrients and non-essential metals present in tropical soils. **J. Haz. Mat.** v. 177, p. 307–311, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389409020044>. Acesso em: 21 out. 2019.

BOTERO, W. G. **Substâncias húmicas:** interações com nutrientes e contaminantes. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, SP, 2010.

CARSON, R. **Primavera silenciosa.** Tradução de: Cláudia Sant'Anna Martins. São Paulo: Gaia, 2010.

CASAGRANDE, J.C. *et al.* Copper desorption in a soil with variable charge. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 196-202, 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162004000200012. Acesso em: 21 out. 2019.

CAKMAK, Ismail;amargo KIRKBY, Ernest A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. **Physiologia plantarum**, v. 133, n. 4, p. 692-704, 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18724409/>. Acesso em: 07 out. 2019.

CAMARGO, L. de S. **As hortaliças e seu cultivo.** 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 448 p.

CAMARGO, O.A. Reações e interações de micronutrientes no solo. *In*: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (ed.). **Micronutrientes na Agricultura.** Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p. 243-272.

CANELLAS L. P.; SANTOS G. de A. **Humosfera:** tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes: UENF, 2005.

CANELLAS, L. P. *et al.* Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. **Plant Physiology**, v. 130, n. 4, p. 1951-1957, 2002. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC166705/>. Acesso em: 07 out. 2019.

CARNEIRO, I. F.; MINAMI, K. **Competição entre a cultura do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) e a cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) em cultivo misto e em diferentes densidades de população**. 1981. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1981.

CARON, B.O. *et al.* Crescimento da alface em diferentes substratos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.3, n.2, p. 97-104, 2004. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/234149176.pdf>. Acesso em: 21 out. 2019.

CHRISTOFIDIS, D. **Recursos hídricos e irrigação no Brasil**. Brasília: UnB, 1999.

COLLIER, G.F.; TIBBITTS, T. W. Tipburn of lettuce. **Horticultural Reviews**, v. 4, p. 49-65, 1982.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. **Revista de Política Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 115-127, 2013. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/286>. Acesso em: 11 set. 2019

COELHO, F. S.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973.

CONTE, P.; PICCOLO, A. Conformational arrangement of dissolved humic substances. Influence of solution composition on association of humic molecules. **Environmental Science & Technology**, v. 33, n. 10, p. 1682-1690, 1999. Disponível em: <https://pubs-acsc-org.ez9.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1021/es9808604>. Acesso em: 11 set. 2019.

CONTRERAS, C. *et al.* Lead adsorption by silica-immobilized humin under flow and batch conditions: assessment of flow rate and calcium and magnesium interference. **Journal of Hazardous Materials**, v. 133, n. 1-3, p. 79-84, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389405006291>. Acesso em: 11 set. 2019

COSTA PRIMO, D.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, T.O. da. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v.7 n.5. 2011. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/342>. Acesso em: 11 set. 2019

CUNHA, G. da C. *et al.* Adsorption of trihalomethanes by humin: batch and fixed bed column studies. **Bioresource technology**, v. 101, n. 10, p. 3345-3354, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852409016022>. Acesso em: 21 out. 2019.

DE LA ROSA, G. *et al.* Utilization of ICP/OES for the determination of trace metal binding to different humic fractions. **J. Hazard Mater**, v.28, n.97, p. 207-218, feb. 2003.

- DIAMANTE, M. S. *et al.* Produção e resistência ao pendoamento de alfaces tipo lisa cultivadas sob diferentes ambientes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p.133-140, 2013. Disponível em: <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1942>. Acesso em: 11 out. 2019.
- DIAS, K. G. de L. **Nutrição, bioquímica e fisiologia de cafeeiros supridos com magnésio**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- DREW, M. C. Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 48, p. 223-250, 1997. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15012263/>. Acesso em: 11 out. 2019.
- EVANGELOU, V.P. **Environmental Soil and Water Chemistry: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, 1998. 564 p.
- FARIAS, T. da S. **Avaliação da interação de huminas e torta de filtro com íons Pb (II), Ca (II) e Mg (II)**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227p.
- FEDERER, W. T. **Statistical design and analysis for intercropping experiments**. New York: Springer-Verlag, 1993. 298 p.
- FIGUEIRA, H. C. *et al.* Análise dos coeficientes de variação dos preços agrícolas das cultivares acelga, alface lisa e repolho roxo coletados pelo nuppa de 2009 a 2015. In: MAGNONI JÚNIOR, L. (org.). **Mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil**. São Paulo: Centro Paula Souza, 2018. p. 597-607. Disponível em: <https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Mobilizar2018/pdf/65-Mobilizar.pdf>. Acesso em: 11 out. 2019.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção**, Viçosa, MG: UFV, 2008.
- FITTER, A. Characteristics and functions of root systems. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (ed.). **Plants roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-20.
- FLECHA, P. A. N. **Sensibilidade das culturas da batata (*Solanum tuberosum* L.) e da alface (*Lactuca sativa* L.) ao excesso de água no solo**. 2004. Tese (Doutorado em Agricultura) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- GAO, Y. Z.; HE, J.; LING, W.; HU, H.; LIU, F. Effects of organic acids on copper and cadmium desorption from contaminated soils. **Environment International**, New York, v. 29, n. 5, p. 613-618, 2003. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez9.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0160412003000485?via%3Dihub>. Acesso em: 11 out. 2019.

GONÇALVES, B. G. *et al.* Características morfológicas e produtivas do rabanete sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 1, p. 1127, 2017. Disponível em: <http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/513>. Acesso em: 11 out. 2019.

GOTO, R.; TIVELLI, S. W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido**: condições subtropicais. São Paulo: UNESP, 1998. p. 319.

GOVEIA; D.; MELO; C. D. A.; OLIVEIRA; L. K. D.; FRACETO; L. F.; ROCHA; J. C.; DIAS FILHO; N. L.; ROSA; A. H. Adsorption and release of micronutrients by humin extracted from peat samples. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 24, n. 5, p. 721-730, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532013000500002. Acesso em: 11 out. 2019.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. **Métodos de avaliação das condições hídricas das plantas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 8p. (Comunicado Técnico, 161). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/216270>. Acesso em: 23 set. 2019.

HAAG, H.P. **Manual de adubação**. São Paulo: ANDA., 1971. p.256.

HAMADA, E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento e produtividade da alface submetida a diferentes lâminas de água através da irrigação por gotejamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.9, p.1201-1209,1995. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4415>. Acesso em: 23 set. 2019.

HAYES, M.H.B.; MACCARTHY, P.; MALCOLM, R.L.; SWIFT, R.S. **Humic substances II: in search of structure**. New York: John Wiley & Sons, 1989.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. A. **Tipos de alface cultivados no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. 7 p. (Comunicado Técnico, 75). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPH-2010/36477/1/cot-75.pdf>. Acesso em: 23 set. 2019.

HETHERINGTON, A. M.; BROWNLEE, C. The generation of Ca²⁺ signals in plants. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 55, p. 401-427, 2004. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/The-generation-of-Ca2--signals-in-plants.pdf. Acesso em: 23 set. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Brasília, DF: IBGE, 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 jan. 2020.

IHSS. **What are humic substances?**.Denver: IHSS, 2019. Disponível em: <http://humic-substances.org/>. Acesso em: 17 jan. 2020.

JACUNDINO, J. S. *et al.* Interactions between humin and potentially toxic metals: prospects for its utilization as an environmental repair agent. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 3, n. 2, p. 708-715, 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343715000809>. Acesso em: 17 jan. 2020.

KOETZ, M.*et al.* Efeito de doses de potássio e da frequência de irrigação na produção da alface americana em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 730-737, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/266330860_Efeito_de_doses_de_potassio_e_da_frequencia_de_irrigacao_na_producao_da_alface-americana_em_ambiente_protegido. Acesso em: 17 jan. 2020.

LACERDA, V. R.; GONÇALVES, B. G.; OLIVEIRA, F.G.; SOUSA, Y. B.; CASTRO, I. L. Características morfológicas e produtivas do rabanete sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 1, p. 1127, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/315061691_CHARACTERISTICAS_MORFOLOGICAS_E_PRODUTIVAS_DO_RABANETE_SOB_DIFERENTES_LAMINAS_DE_IRRIGACAO. Acesso em: 25 nov. 2019.

LANGE, Jackson Locks. **Suprimento combinado de fósforo e magnésio para a produção e nutrição do capim-Tanzânia**. 2007. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. DOI:10.11606/D.11.2007.tde-09042007-141733. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-09042007-141733/pt-br.php>. Acesso em: 25 nov. 2019.

LENHARD, Nádia Regina. **Crescimento inicial de mudas de *Caesalpinia ferrea* ex. Tul var. *Leiostachya Benth* Caesalpinaceae (pau ferro) sob diferentes regimes hídricos e sombreamento**. 2008. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2008. Disponível em: <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/316>. Acesso em: 25 nov. 2019.

LETEY, J.; STOLZI, H.; BLANK, G. B. Effect of duration of timing of low soil oxygen content on shoot and root growth. **Agronomy Journal**, Madson, v. 54, n. 1, p. 34-37, 1962. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj1962.00021962005400010011x>. Acesso em: 20 nov. 2019.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil: o estado das águas no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, v. 1, 1999. CD-ROM.

LIMA, M. de A.; CASTRO, V. F.; VIDAL, J. B.; ENÉAS-FILHO, J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 398-403, 2011. Disponível em: <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1742>. Acesso em: 10 ago. 2019.

LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley & Sons, 1979. 449 p.

MAGALHÃES, A.G. **Caracterização de genótipos de alface (*Lactuca sativa* L.) em cultivo hidropônico sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva**.

2006. Dissertação (Mestrado em Melhoramento Genético de Plantas) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2006.

MAGGI, M. F.; KLAR, A. E. ; JADOSKI, C. J.; ANDRADE, A. R. S. . Produção de variedades de alface sob diferentes potenciais de água no solo em ambiente protegido. **Irriga (UNESP)**, Botucatu, v. 11, n.03, p. 415-427, 2006. CD-ROM.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C. e OLIVEIRA, S. D. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E., VITTI, G. C. e OLIVEIRA, S. D. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, SP: Potafós, 1997. p. 115-230,

MALEKANI, K.; RICE, J. A.; LIN, J. Fractal character of humin and its components. **Fractals**, v. 5, p. 83-100, 1997. Suplemento, 2. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/263911472_Fractal_Character_of_Humin_and_its_Components. Acesso em: 10 ago. 2019.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Londres: Academic press, 2011.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W.L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996.

MEDEIROS, J. F. de. **Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão**. 1998. 152 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

MENDES, W. da C. Lixiviação de nitrato em função de lâminas de irrigação em solos argiloso e arenoso. **Irriga**, v. 1, n. 2, p. 47-56, 2015. Disponível em: <http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2034>. Acesso em: 10 ago. 2019.

McBRIDE, M.B. Reactions controlling heavy metal solubility in soils. **Soil Science**, New Brunswick, v. 10, p. 1-56, 1989.

MOITA NETO, J.M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química nova**, v. 21, n. 4, p. 467-469, 1998. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421998000400016. Acesso em: 23 nov. 2019.

MORGAN, K. T.; PARSONS, L.R.; WHEATON, T.A. Comparison of laboratory-and field-derived soil water retention curves for a fine sand soil using tensiometric resistance and capacitance methods. **Plant and Soil**, v. 234, n. 2, p. 153-157. jul. 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1017915114685>. Acesso em: 23 nov. 2019.

MOU, B. Lettuce. In: PROHENS-TOMÁS, J.; NUEZ, F. (Ed.). **Vegetables I: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, and Cucurbitaceae**. New York: Springer Science & Business Media, 2008.

MURAYAMA, S. **Horticultura**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1983. 318 p.

NARDI, S. *et al.* Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n. 11, p. 1527-1536, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071702001748>. Acesso em: 05 jan. 2020.

NASCIMENTO, R. F. do *et al.* **Adsorção**: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

NASCIMENTO, A. D. *et al.* Severidade da antracnose do feijão-fava afetada por doses de cálcio e fontes de silício. **Ciência Agrícola**, v. 15, n. 2, p. 61-68, 2017. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/3413>. Acesso em: 05 jan. 2020.

NOVAES, F. R.; ALVAREZ, V. H.; CANTARUTTI, R. B. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

OLIVEIRA, D. A. V. *et al.* Interaction study between humin and phosphate: possible environmental remediation for domestic wastewater. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 228, n. 7, p. 265, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-017-3447-9>. Acesso em: 18 nov. 2019.

OLIVEIRA, E. A. B. **Avaliação de método alternativo para extração e fracionamento de substâncias húmicas em fertilizantes orgânicos**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, SP, 2011.

ORLANDO FILHO, J. O. *et al.* Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **Stab, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.

ORLOV, D.S. *et al.* **Humic substances of soils and general theory of humification**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1995.

PAULUS D.; DOURADO NETO D.; FRIZZONE J.A.; SOARES, T.M. Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 29-35, 2010.

PAVIA, D.L., LAMPMAN, G. M., KRIZ, G. S., VYVYAN, J. R. **Introdução à espectroscopia**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

PEREIRA, Walcylen Lacerda Matos. **Doses de potássio e de magnésio em solução nutritiva para capim-mombaça**. 2001. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001. DOI:10.11606/T.11.2001.tde-08042002-091542. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-08042002-091542/pt-br.php>. Acesso em: 2020-11-25.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Campinas: IAC, 1987.

PEREIRA-NETTO, A. B. Crescimento e desenvolvimento. *In*: WACHOWICZ, C.M.; CARVALHO, R. I. N. (ed.). **Fisiologia vegetal**: produção e pós-colheita. Curitiba: Champagnat, 2002. p. 17-42.

PICCOLO, A. Humus and soil conservation. *In*: PICCOLO, A. **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier Science BV, 1996. p. 225-264.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances. **Soil science**, v. 166, n. 11, p. 810-832, 2001. Disponível em: <http://www.suprahumic.unina.it/home/images/pdf/Soil%20Science%202002-supramolecular.pdf>. Acesso em: 15 out. 2019.

PUTTI, F. F. **Produção da cultura de alface irrigada com água tratada magneticamente**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/93822/000755888.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 out. 2019.

REGAZZI, A. J. **Análise multivariada**: notas de aula INF 766. Viçosa, MG: Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, 2000. v.2.

RICE, J. Humin. **Soil Science**, v.166, p.848-857, 2001.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A.. **Introdução à química ambiental**. Porto Alegre: Artmed , 2009.

RODRIGUES, I. N. *et al.* Avaliação de cultivares de alface crespa para a região de Manaus. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 47., 2007, Porto Seguro. **Resumos** [...]. Porto Seguro: ABH, 2007. (CD-ROM).

ROMÃO, L.P.C.; ARAÚJO, B.R; COSTA, A.S.; MARQUES, J.J. Use of humin as an alternative material for adsorption/desorption of reactive dyes. **Desalination**, v. 274, n. 1-3, p. 13-21, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916411000749>. Acesso em: 14 out. 2019.

ROSA, A.H.; ROCHA, J.C.; FURLAN, M. Substâncias húmicas de turfa: estudo dos parâmetros que influenciam no processo de extração alcalina. **Química Nova**, v. 23, p. 472 – 476, 2000. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422000000400008&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 14 out. 2019.

ROSA, C. M. *et al.* A. Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em *Phaseolus vulgaris* L. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 959-967, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214069020>. Acesso em: 14 out. 2019.

RUTHVEN, D. M. **Principles of adsorption and adsorption process**. New York: John Wiley & Sons, 1984.

SAMMIS, T. W. Comparison of sprinkler, trickle, subfarce, and furrow irrigation methods for now crops. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, n.5, p 701-704, 1980. Disponível em: agronj1980.00021962007200050002x. Acesso em: 10 ago. 2019.

SANGOI, L. *et al.* Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da ureia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, v.33, n.1, p. 65-70, 2003. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010384782003000100010&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 10 ago. 2019.

SANTOS, Cristiane Alcantara dos. **Substância húmica e seu efeito em atributos químicos e biológicos do solo e na produção vegetal**. 2014. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-05052014-164113/pt-br.php>. Acesso em: 10 ago. 2019.

SANTOS, Carlos Allan Pereira. **Produção da alface crespa e umidade do solo em função de diferentes fontes de matéria orgânica e cobertura do solo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2011. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFS-2_11f027980e2cfa2e955165fc14e4d78b. Acesso em: 14 out. 2019.

SANTOS, Márcio Aurélio Lins dos. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): um modelo de análise de decisão para o estado de Alagoas**. 2005. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-29092005-124517/pt-br.php>. Acesso em: 14 out. 2019.

SANTOS, M. A. L.; SANTOS, D. P.; MENEZES, S; M. de; LIMA, D. F.; VIEIRA, J. P. da S. Produção da cultura da alface (*Lactuca sativa* L) em função das lâminas de irrigação e tipos de adubos. **Revista Ciência Agrícola**, v. 13, n. 1, p. 33-40, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323460833_PRODUCAO_DA_CULTURA_DA_ALFACE_Lactuca_sativa_L_EM_FUNCAO_DAS_LAMINAS_DE_IRRIGACAO_E_TIPOS_DE_ADUBOS. Acesso em: 14 out. 2019.

SANTOS, R. S. da S. **Resposta da cultura da alface em função de lâminas de irrigação e níveis salinos em ambiente protegido**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, Arapiraca, 2019.

SAURE, M.C. Blossom - end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) - a calcium - or a stress - related disorder. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.90, p.193-208, 2001.

SCHEREN, M. A.; SANTOS, E. P.; CÂMARA, R.; LUCHESE, E. B. Efeitos fitotóxicos do cádmio em solos arenosos e argilosos tratados com resíduo sólido urbano. **Acta Iguazu**, v. 2, n. 4, p. 7-19, 2013. Disponível em: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/8893>. Acesso em: 14 out. 2019.

SEVERINO, L. S. *et al.* **Método para determinação da área foliar da mamoneira.** Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2005. 21 P. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 55).

SHEWRY, P. R. Wheat. **Journal of experimental botany**, v. 60, n. 6, p. 1537-1553, 2009. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/60/6/1537/517393>. Acesso em: 12 set. 2019.

SILVA, D. M. da. **Deficiência de magnésio na fisiologia e no metabolismo antioxidante de cultivares de cafeeiro.** 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/6377>. Acesso em: 12 set. 2019.

SILVA JÚNIOR, A. B. da; LAGES, A. M. G.; SILVA, J. J. DA C. Margens e canais de comercialização da alface e tomate: especificidade do caso de Alagoas. **Revista Economia Política do Desenvolvimento**, v. 4, n. 11, p. 7-20, 2011. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/repd/article/view/769>. Acesso em: 12 set. 2019.

SILVA, J. C. *et al.* Evapotranspiração e coeficiente de cultura da cenoura irrigada no agreste alagoano. **Revista Ceres**, v. 65, n. 4, p. 297-305, 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2018000400297. Acesso em: 12 set. 2019.

SILVA, P. F. *et al.* Análise quantitativa da cebolinha irrigada com água salina. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 3, p. 241-251, 2014. Disponível em: <https://comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/512>. Acesso em: 12 set. 2019.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. *In*: NOVAIS, R.F. *et al.* **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SILVA, D. M. da. **Deficiência de magnésio na fisiologia e no metabolismo antioxidante de cultivares de cafeeiro.** 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/6377>. Acesso em: 12 set. 2019.

SOUZA, S. O. *et al.* Evaluation of different fractions of the organic matter of peat on tetracycline retention in environmental conditions: in vitro studies. **Journal of Soils and Sediments**, v. 16, n. 6, p. 1764-1775, 2016.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition and reaction.** 2. ed. New York: John Wiley, 1994b. 496 p.

STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients.** New York: John Wiley & Sons, 1999.

SUTTON, R.; SPOSITO, G. Molecular structure in soil humic substances: the new view. **Environmental Science & Technology**, v. 39, n. 23, p. 9009-9015, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/7388300_Molecular_Structure_in_Soil_Humic_Substances_The_New_View. Acesso em: 12 set. 2019.

SWIFT, R.S.; McLAREN, R.G.. Micronutrient adsorption by soils and soil colloids. In: BOLT, G.H. *et al.* (ed.). **Interactions at the soil colloid-soil solution interface**. Dordrecht: Springer, 1991. cap. 9, p. 257-292.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TATAGIBA, S.D. **Crescimento inicial, trocas gasosas e status hídrico de clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação**. 2006. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

TATZBER, M. *et al.* FTIR-spectroscopic characterization of humic acids and humin fractions obtained by advanced NaOH, Na₄P₂O₇, and Na₂CO₃ extraction procedures. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 170, n. 4, p. 522-529, 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jpln.200622082>. Acesso em: 14 out. 2019.

THIBODEAU, R. C.; MINOTTI, P. L. The influence of calcium on the development of lettuce tipburn. **J. Am. Soc. Harrie. Sci**, v. 94, 1969.

TREVISAN, S.; FRANCISCO, O.; QUAGGIOTTI, S.; NARDI, S. Humic substances biological activity at the plant-soil interface: from environmental aspects to molecular factors. **Plant Signaling & Behavior**, v. 5, n. 6, p. 635-643, 2010. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3001551/>. Acesso em: 14 out. 2019.

TUFENKCI, S.; ERMAN, M.; SONMEZ, F. Effects of phosphorus and nitrogen applications and Rhizobium inoculation on the yield and nutrient uptake of sainfoin (*Onobrychis viciifolia* L.) under irrigated conditions in Turkey. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 49, n. 1, p. 101-105, 2006. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00288233.2006.9513699>. Acesso em: 14 out. 2019.

YIN, Y.; IMPELLITTERI, C. A.; YOU, S.J.; ALLEN, H.E. The importance of organic matter distribution and extract soil:solution ratio on the desorption of heavy metals from soils. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 287, p. 107-119, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969701010002>. Acesso em: 18 dez. 2019.

VALERIANO, T. T. B. *et al.* Alfaca americana cultivada em ambiente protegido submetida a doses de potássio e laminas de irrigação. **Irriga**, v. 21, n.3, p. 620 -620, 2016. Disponível em: <http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2196>. Acesso em: 18 dez. 2019.

VALLADARES, G. S. *et al.* Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 285-296, 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000100027. Acesso em: 18 dez. 2019.

VALIO, I. F. M. Effects of shading and removal of plant parts on growth of *Trema micrantha* seedlings. **Tree Physiology**, v. 21, n. 1, p. 65-70, 2001. Disponível em: <https://academic.oup.com/treephys/article/21/1/65/1643173>. Acesso em: 18 dez. 2019.

VASCONCELOS, R. S.; MIRANDA, F. R.; SOUSA, J. A. Desenvolvimento vegetativo do noni (*Morindacitrifolia* L.) sob diferentes sistemas e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 2, p. 388-397, 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-05722014000500012. Acesso em: 02 dez. 2019.

VERLINDEN, G. *et al.* Effect of humic substances on nutrient uptake by herbage and on production and nutritive value of herbage from sown grass pastures. **Grass and Forage Science**, v. 65, n. 1, p. 133-144, 2010. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2494.2009.00726.x>. Acesso em: 07 nov. 2019.

VINHAL-FREITAS, I. C. *et al.* Adsorção e dessorção de metais no solo e coeficientes de isotermas de Freundlich e Langmuir. **Agropecuária Técnica**, v. 31, n. 2, p. 153-163, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/at/article/download/4516/4637/>. Acesso em: 17 out. 2019.

XAVIER, R. A.; DORNELLAS, P. C. Análise do comportamento das chuvas no município de Arapiraca, região Agreste de Alagoas. **Geografia**, Londrina, v. 14, n. 2, p. 49-64, 2010. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6685>. Acesso em: 17 out. 2019.

WERSHAW, R. Model for humus in soils and sediments. **Environmental Science & Technology**, v. 27, n. 5, p. 814-816, 1993. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es00042a603>. Acesso em: 17 out. 2019.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, v. 92, n. 4, p. 487-511, 2003.

ZHANG, Y.; ZHANG, Y.; YU, T. Quantitative characterization of Cu binding potential of dissolved organic matter (DOM) in sediment from Taihu Lake using multiple techniques. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, v. 8, n. 5, p. 666-674, 2014.