



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO
VEGETAL E BIOPROCESSOS ASSOCIADOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E TEOR DE CLOROFILA
NA RELAÇÃO COM ABSORÇÃO DE ÁGUA EM ALFACE**

**CAMILA PEIXOTO DOS SANTOS
Eng^a Agrônoma**

**Araras
2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO
VEGETAL E BIOPROCESSOS ASSOCIADOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E TEOR DE CLOROFILA
NA RELAÇÃO COM ABSORÇÃO DE ÁGUA EM ALFACE**

CAMILA PEIXOTO DOS SANTOS

**ORIENTADOR: PROF^o DR. FERNANDO CESAR SALA
CO-ORIENTADOR: PROF^o DR. JEAN CARLOS CARDOSO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados.

**Araras
2020**

Peixoto dos Santos, Camila

Desempenho agronômico e teor de clorofila na relação com a absorção de água em alface / Camila Peixoto dos Santos -- 2020.

71f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras

Orientador (a): Fernando Cesar Sala

Banca Examinadora: Fernando César Sala, Simone da Costa Mello, Sandra Regina Ceccato Antonini

1. Alface. 2. Avaliação agronômica. 3. Teor de clorofila. I. Peixoto dos Santos,

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8 7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Camila Peixoto dos Santos, realizada em 27/08/2020.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Fernando César Sala (UFSCar)

Prof. Dr. Simone da Costa Mello (ESALQ/USP)

Profa. Dra. Sandra Regina Ceccato Antonini (UFSCar)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre iluminar meus caminhos e ter me permitido chegar até aqui.

Aos meus pais, Raquel e José Luis, que sempre estiveram do meu lado me apoiando e incentivando em mais uma etapa da minha vida.

Ao meu namorado Alessandro, por entender e aceitar minhas escolhas.

Ao Sr. Eduardo e todos os integrantes do GEHORT que me ajudaram na execução da primeira etapa desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Jean Carlos Cardoso pela oportunidade de aprendizado e por toda ajuda na segunda etapa do trabalho.

A Ana, técnica do laboratório de Fisiologia Vegetal por toda ajuda nas avaliações e contagem do número de estômatos.

A Marcela Martinez pela amizade, apoio e toda ajuda durante este trabalho.

A Prof^a Monalisa e toda equipe do laboratório de Melhoramento genético de cana de açúcar por ajudar com a disponibilização de equipamentos para análises de clorofila e área foliar.

Ao Prof. Dr. Fernando Cesar Sala, por ter me orientado durante o mestrado, por todos ensinamentos, apoio, paciência e dedicação.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados que de alguma forma contribuíram com meu aprendizado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ii
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 OBJETIVOS.....	03
2.1 Geral.....	03
2.2 Específicos.....	03
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	04
3.1 Importância socioeconômica da alface.....	04
3.2 Sistemas de cultivo da alface no Brasil.....	05
3.3 Tipologias de alface no Brasil.....	05
3.4 A clorofila e a sua importância na fotossíntese.....	06
3.5 Consumo de água, fotossíntese e produtividade agrícola.....	08
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	09
4.1 1ª Etapa: Condução de experimento em sistema hidropônico...	09
4.1.1 Produção de mudas.....	10
4.1.2 Sistema de condução.....	10
4.1.3 Avaliações.....	12
4.1.4 Análise dos dados.....	13
4.2 2ª Etapa: Condução de experimento em sistema controlado	
B.O.D.....	13

4.2.1	Produção de mudas.....	13
4.2.2	Sistema de Condução.....	13
4.2.3	Avaliações.....	15
4.2.4	Análise dos dados.....	17
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
5.1	Desempenho agrônômico de linhagens e variedades de alface em sistema hidropônico.....	19
5.2	Desempenho agrônômico de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D.....	26
6	CONCLUSÕES.....	41
7	LITERATURA CITADA.....	42
	APÊNDICE.....	46

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR) e número de folhas totais (NFT) de linhagens e variedades de alface cultivadas em sistema hidropônico.....	20
Tabela 2. Altura de planta (AP), comprimento da raiz (CR), comprimento do caule (CC) e diâmetro do caule (DC) de linhagens e variedades de alface cultivadas em sistema hidropônico.....	24
Tabela 3. Teor de clorofila de linhagens e variedades de alface cultivadas em sistema hidropônico.....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Plantas de alface conduzidas em sistema hidropônico NFT e contendo diferentes intensidades de coloração verde e teores de clorofilas, UFSCar, Araras-SP, 2018.....	11
Figura 2. Plantas de alface com 32 dias conduzidas em câmara B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019.....	15
Figura 3. Análise de componentes principais (APC) da massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), altura de planta (AP), número de folhas (NF), teor de clorofila a (Clor-a), teor de clorofila b (Clor-b), teor de clorofila total (Clor-T), comprimento da raiz (CR), comprimento do caule (CC), diâmetro do caule (DC), massa fresca da raiz (MFR) e e massa seca da raiz (MSR) de genótipos de alface (09, 27, 38, 47, 110, 142, 167, 195, 253, 288, Luiza e Vanda) cultivada em sistema hidropônico. UFSCar, Araras-SP, 2019.....	21
Figura 4. Gráfico de correlações entre massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), altura de planta (AP), número de folhas (NF), teor de clorofila a (Clor-a), teor de clorofila b (Clor-b), teor de clorofila total (Clor-T), comprimento da raiz (CR), comprimento do caule (CC), diâmetro do caule (DC), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR) de genótipos de alface conduzidas em sistema hidropônico. UFSCar, Araras-SP, 2019.....	22
Figura 5. Massa fresca inicial e final de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e letras minúsculas indicam diferenças significativas nos valores inicial e final dentro de cada tratamento, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).....	27
Figura 6. Massa seca inicial e final de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e letras	

minúsculas indicam diferenças significativas nos valores inicial e final dentro de cada tratamento, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).....	28
Figura 7. Ganho de massa de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).....	29
Figura 8. Altura de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e letras minúsculas indicam diferenças significativas nos valores inicial e final dentro de cada tratamento, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).....	30
Figura 9. Número de folhas inicial e final de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e letras minúsculas indicam diferenças significativas nos valores inicial e final dentro de cada tratamento, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).....	31
Figura 10. Área foliar inicial e final de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e letras minúsculas indicam diferenças significativas nos valores inicial e final dentro de cada tratamento, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).....	32
Figura 11. Teor de clorofila a de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).....	33
Figura 12. Teor de clorofila b de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).....	34
Figura 13. Teor de clorofila total (a+b) de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras diferentes indicam	

diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).....	34
Figura 14. Número de estômatos de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).....	36
Figura 15. Consumo de água de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D por 10 dias. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).....	37
Figura 16. Consumo de água pela massa seca acumulada de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D por 10 dias. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).....	38
Figura 17. Análise de componentes principais (APC) de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D por 10 dias; CP1: Componente principal 1. CP2: Componente principal 2. UFSCar, Araras-SP, 2019.....	39
Figura 18. Gráfico de correlação de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D por 10 dias. UFSCar, Araras-SP, 2019.....	40

DESEMPENHO AGRONÔMICO E TEOR DE CLOROFILA NA RELAÇÃO COM ABSORÇÃO DE ÁGUA EM ALFACE

Autor: Camila Peixoto dos Santos

Orientador: Prof^o Dr. Fernando Cesar Sala

Co-orientador: Prof^o Dr. Jean Carlos Cardoso

RESUMO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a principal hortaliça folhosa, sendo o tipo crespa com folhas de coloração verde clara a preferida no Brasil. Contudo, folhas de coloração verde intensa (maior teor de clorofila) têm aumentado a preferência pelo consumidor. Assim, avaliar características agronômicas de linhagens de alface com coloração mais intensa e a sua eficiência no uso de água é importante. Com esse trabalho objetivou-se correlacionar a produção de massa e consumo de água avaliando linhagens e variedades de alface com diferentes teores de clorofila. O experimento foi conduzido em duas etapas: em sistema hidropônico (1ª etapa) e em Câmara B.O.D. (2ª etapa). Dez linhagens de alface e duas variedades (Vanda e Luiza) foram avaliadas para características agronômicas e teores de clorofila nas folhas, em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições (1ª etapa). A fase de avaliação de produtividade e teores de clorofila em sistema hidropônico, permitiu a seleção de quatro linhagens e duas variedades com teores distintos de clorofila e que foram utilizadas para os experimentos em câmara B.O.D. para avaliação do ganho de massa e sua correlação com a absorção de água. Os maiores teores de clorofila foram encontrados para Luiza (43,31) e a linhagem 09 (39,50), valores intermediários para 27 e 47 e menores para 195 e Vanda. Nos experimentos realizados em B.O.D. a linhagem 195 e as variedades Vanda e Luiza apresentaram os maiores ganhos de massa com aproximadamente 0,07 g planta⁻¹, assim como o maior consumo de água, com 54 ml planta⁻¹. A linhagem 47 e Luiza, apresentaram o maior número e estômatos por cm², se aproximando de 18.000 unidades. Luiza apresentou melhor eficiência no uso da água, consumindo aproximadamente 750 ml para produzir um grama de massa seca. O consumo de água pelas plantas não foi influenciado pelo teor de clorofila, mas apresentou correlação positiva com a produção de massa fresca final, massa seca final e conseqüentemente com o ganho de massa das plantas de alface. Genótipos com maior teor de clorofila apresentaram menor produção de massa. Sendo assim, a partir deste trabalho foi possível concluir que genótipos com maior teor de clorofila possuem menor capacidade quanto à produção de massa.

Palavras chave: *Lactuca sativa* L.; hidroponia; hortaliça folhosa; pigmento; produção de massa

AGRONOMIC PERFORMANCE AND CHLOROPHYLL CONTENT IN THE RELATIONSHIP WITH WATER ABSORPTION IN LETTUCE

Author: Camila Peixoto dos Santos

Adviser: Prof^o Dr. Fernando Cesar Sala

Co-adviser: Prof^o Dr. Jean Carlos Cardoso

ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is the main leafy vegetable, with the curly type with light green leaves the preferred in Brazil. However, leaves of intense green color (higher chlorophyll content) have increased consumer preference. Thus, to evaluate agronomic characteristics of lettuce lines with more intense staining and their efficiency in water use is important. This study aimed to correlate mass production and water consumption by evaluating lettuce lines and varieties with different chlorophyll contents. The experiment was conducted in two stages: in hydroponic system (1st stage) and in Chamber B.O.D. (2nd stage). Ten lettuce lines and two varieties (Vanda and Luiza) were evaluated for agronomic characteristics and chlorophyll contents in the leaves, in a randomized block design with four replications (1st stage). The evaluation phase of productivity and chlorophyll contents in hydroponic system allowed the selection of four lines and two varieties with different chlorophyll contents and which were used for experiments in B.O.D. chamber to evaluate the mass gain and its correlation with water absorption. The highest chlorophyll contents were found for Luiza (43.31) and sline 09 (39.50), intermediate values for 27 and 47 and lower for 195 and Vanda. In the experiments carried out in B.O.D. the sline 195 and the varieties Vanda and Luiza showed the highest mass gains with approximately 0.07 g plant⁻¹, as well as the highest water consumption, with 54 ml plant⁻¹. The strain 47 and Luiza presented the highest number and stomata per cm², approaching 18,000 units. Luiza showed better efficiency in water use, consuming approximately 750 ml to produce one gram of dry mass. The water consumption by the plants was not influenced by chlorophyll content, but showed a positive correlation with the production of final fresh mass, final dry mass and consequently with the mass gain of lettuce plants. Genotypes with higher chlorophyll content showed lower mass production. Thus, from this work it was possible to conclude that genotypes with higher chlorophyll content have lower capacity in terms of mass production.

Key-words: *Lactuca sativa* L.; hydroponics; leafy greenery; pigment; mass production

1. INTRODUÇÃO

A alface é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil. O mercado desta hortaliça e sua produção é caracterizada por pequenos e médios produtores, geralmente pela agricultura familiar e que se localizam próximos aos centros consumidores, denominados cinturões verdes. Segundo o Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), existem cerca de 108.603 estabelecimentos que produzem alface no Brasil, perfazendo uma produção de 908.186 toneladas por ano (IBGE, 2017).

A água é fundamental para o desenvolvimento das plantas. Para produzir um grama de matéria orgânica (% massa seca), cerca de 500 g de água são consumidos e perdidos para a atmosfera. A alface possui em sua composição cerca de 85 a 95% de água. Para realizar o processo de fotossíntese, sendo a principal forma de realização a abertura estomática, as plantas retiram o dióxido de carbono da atmosfera e, com isso, passam a perder água, podendo ficar até desidratadas caso o fornecimento de água não seja adequado (TAIZ e ZEIGER, 2009).

A alface pode ser cultivada em diversos sistemas: convencional, hidropônico, em ambiente protegido, em vasos, entre outros.

O sistema hidropônico NFT (Nutrient Film Technique) consiste-se de uma técnica alternativa, onde se tem uma solução de água contendo nutrientes em substituição ao solo (FURLANI, 1999), sendo a alface a hortaliça mais utilizada neste sistema. Avaliar o comportamento de novas variedades de alface neste

sistema de cultivo é importante para selecionar as mais adaptadas às condições climáticas e eficientes ao consumo de água.

O cultivo de alface em sistema hidropônico permite a redução do consumo de água pela planta, se comparado ao sistema convencional. O sistema de cultivo hidropônico permite uma maior eficiência no uso de água, chegando a usar de 70 a 90% de água quando comparado ao sistema convencional (PURQUERIO et al., 2018). Existem diversas tipologias de alface, variando entre cores, formato de folhas, crocância e até mesmo sabor.

O mercado brasileiro tem preferência por variedades do tipo crespa com coloração verde clara, porém os mercados americano e europeu preferem plantas com coloração verde escura. Plantas com coloração verde clara, a partir da colheita, as folhas passam a degradar a clorofila ficando com as folhas mais amareladas, diminuindo sua aceitação e atratividade para o consumidor. Folhas com a coloração verde mais escura levam um tempo maior até iniciar a perda do pigmento clorofila, mantendo-se atrativas por mais tempo e tendo uma melhor aceitação pelo consumidor. A cor das folhas de alface pode variar do verde-amarelado ao verde-escuro, sendo que a cor verde é um indicativo da qualidade dessas plantas e o amarelecimento, provocado pela perda e ou degradação da clorofila (CASSETARI, 2012). A partir da colheita a planta entra em senescência e várias reações ocorrem, incluindo atividades enzimáticas e modificações na sua cadeia (LANFER-MARQUEZ, 2003).

O consumidor leva em consideração a cor da alface para a decisão da compra, pois relacionam com o frescor do produto, desconsiderando outros aspectos como textura, valor nutricional e até mesmo sabor.

A atividade fotossintética realizada pela planta é dependente da clorofila e esta pode influenciar a produção de massa da planta. A quantidade de clorofila e sua qualidade possuem uma relação direta com a nutrição da planta (CASSETARI, 2012).

Vegetais com maior teor de clorofila são mais nutritivos. A clorofila presente nos vegetais traz benefícios para a saúde de quem os consome, segundo estudos elas são antioxidantes, quimiopreventivas e antimutagênica. Sendo assim consumir vegetais com maior teor de clorofila se torna vantajoso aos consumidores.

Em contrapartida plantas com maior teor de clorofila tem sua produção de massa prejudicada. Plantas de alface mimosa verde que apresentaram maiores

valores de clorofila, apresentaram menores valores de produção de massa (ROSA et al., 2014).

A aceitação do produto pelos consumidores é dependente do frescor e brilho que estes apresentam e a água presente nas hortaliças está relacionada a esses aspectos. (THOMPSON, 2004).

Considerando então o fato que o teor de clorofila pode estar relacionado com o consumo de água e a produção de massa, e que o consumo de água é uma variável importante para o sistema de produção. Neste trabalho objetivou-se avaliar características agronômicas de linhagens e variedades de alface com diferentes teores de clorofila e correlacionar com a produção de massa e consumo de água desta folhosa.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

- Verificar se existe relação com a produção de massa e o consumo de água entre linhagens e variedades de alface com diferentes teores de clorofila.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar características agronômicas de linhagens e variedades de alface em sistema de cultivo hidropônico;
- Estabelecer uma metodologia para avaliação de clorofila e determinar seus teores em alface, baseado em análises indiretas com clorofilômetro;
- Verificar a relação entre o teor de clorofila, a produção de massa fresca e seca e o consumo de água pelas plantas de alface.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Importância socioeconômica da alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa de maior importância no Brasil, é também a mais consumida, incluindo todos os tipos, como crespa, americana, lisa, romana, entre outras (ECHER et al., 2016).

O seu cultivo é intensivo e atualmente o mercado de sementes e mudas desta folhosa é estimado em torno de US\$ 17,07 e US\$ 52,48 milhões por ano, respectivamente. Estima-se também uma área de produção de 91.172 ha com uma produtividade de 18,6 t h⁻¹ ano e receita de US\$ 384,63 milhões ano⁻¹ (MAPEAMENTO E... 2017).

Segundo o Instituto de Economia Agrícola (2018), o Estado de São Paulo possui uma área aproximada de 11.807 ha com alface, sendo as maiores áreas em Mogi das Cruzes e Sorocaba, com respectivamente 3.786,10 e 4.357,70 ha. O cultivo da alface é feito geralmente em propriedades próximas aos grandes centros consumidores. As demais regiões produtoras possuem menores áreas e geralmente feitas pela agricultura familiar.

Segundo Vilela e Luengo (2017) a horticultura possui um ciclo muito rápido, a alface tem o ciclo em torno de 60 dias desde o semeio e a hortaliça pronta para o consumo, sendo assim o fluxo de caixa é favorecido aos produtores, trazendo ganho bastante elevado por hectare cultivado, dependendo também do valor que é agregado ao produto. O cultivo de hortaliças ainda gera quatro empregos diretos por

hectare e mais quatro indiretos, mostrando a importância desse tipo de cultivo para o agronegócio brasileiro.

No Brasil estima-se que área plantada de hortaliças seja em torno de 174.061 hectares, sendo que deste montante 49,9% são de alface, o que corresponde a 86.867 hectares (VILELA e LUENGO, 2017). Segundo esses autores, do total de alface produzido, 55% corresponde a variedade crespa, 22% americana, 11% lisa e 9% mimosa. Segundo Vilela e Luengo (2017), São Paulo é o estado com os maiores volumes e valores comercializados (63% e 58%), seguido pelo Paraná, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Sendo que há mais de 162 mil estabelecimentos no Brasil que exploram esse tipo de atividade econômica no país, com total de 41% produzindo alface, gerando um número de 66 mil estabelecimentos aproximadamente.

3.2. Aspectos históricos e características do sistema de cultivo hidropônico

O termo hidroponia foi originado do latim onde *hidro* = água e *phonos* = trabalho. Sendo assim a hidroponia é uma ciência que estuda o desenvolvimento de plantas sem o uso do solo, podendo ter substratos inertes como apoio apenas para o desenvolvimento inicial das plantas. Entre os tipos de substratos inertes que podem ser utilizados para a sustentação das plantas estão a vermiculita, areia, espuma fenólica, espuma de poliuretano, entre outros (FURLANI et al., 2009).

O termo “hidropônico” foi criado na década de 30 pelo pesquisador da Universidade da Califórnia, Dr. W. F. Gericke e partir disso a técnica de cultivo de plantas sem solo vem se tornando cada vez mais popular (FURLANI et al., 2009).

As primeiras pesquisas com hidroponia surgiram em meados dos anos 1600 com as antigas civilizações astecas, chinesas e egípcias (MARTINEZ, 2006; MARTINEZ e SILVA, 1997). Mas avanços expressivos para seu uso comercial surgiram na década de 30 com as pesquisas do professor de nutrição de plantas William Frederick Gericke da Universidade da Califórnia dos E.U.A. (RESH, 1985).

A popularização desse sistema se deu após a segunda guerra mundial, onde aconteceu a primeira produção em escala, os soldados americanos eram alimentados com vegetais produzidos nas ilhas áridas dos Oceanos Pacífico e Atlântico por inundação e drenagem (DOUGLAS, 1987). Os americanos continuaram a produzir vegetais hidropônicos na cidade de Chofu, após domínio de parte do

Japão e na mesma época essa técnica foi requisitada no Brasil, para que pudessem alimentar os soldados brasileiros e americanos que faziam a defesa do extenso litoral brasileiro (MOREIRA, 1985). Após o término da segunda guerra mundial, de acordo com Donnan, citado por Silva e Melo (2016), esse tipo de técnica ainda não era viável para os produtores em termos econômicos e havia em torno de 10 hectares somente no mundo todo.

O cultivo de hortaliças começou a mudar na década de 60 no Canadá, onde produtores de tomate começaram a encontrar dificuldades para produzir em solo e passaram a produzir em sacos plásticos preenchidos com serragem para evitar o plantio direto no solo. A partir daí houve maiores investimentos e a intensificação das pesquisas voltadas a hidroponia e a plasticultura (SILVA e MELO, 2016).

O sistema de cultivo hidropônico é relativamente novo no Brasil, foi introduzido na década de 90, somente 60 anos após as primeiras pesquisas terem se iniciado nos Estados Unidos. Mas segundo Mello (2016), nos últimos anos o Brasil tem se destacado nas pesquisas e avançado muito nas áreas com cultivo hidropônico.

Esse tipo de sistema traz muitas vantagens se comparado ao sistema convencional: viabiliza a produção durante o ano todo, facilita o manejo, maximiza o aproveitamento dos insumos, possibilita o controle parcial das condições ambientais adversas, traz precocidade ao ciclo, maior eficiência no uso da água, inexistência de matocompetição, menor problema fitossanitário, menor mão de obra, além de trazer maior praticidade para a comercialização por proporcionar maior limpeza do produto final (PURQUERIO et al., 2018).

O sistema hidropônico NFT (“Nutrient Film Technique”) ou técnica do fluxo laminar de nutrientes é composto por um conjunto que envolvem um tanque para armazenar a solução nutritiva, um sistema de bombeamento, perfis de cultivo e de um sistema de retorno ao tanque. As raízes das plantas são irrigadas pela solução que é bombeada, formando uma camada fina de solução e a mesma vai escoando pelos perfis por gravidade e retornam ao tanque de armazenamento (FURLANI et al., 2009).

Normalmente neste tipo de sistema é comum se fazer dois transplantes de mudas. O primeiro transplante acontece em perfis hidropônicos menores a fim de adaptação das mudas (berçários), onde permanecem por 10 a 15 dias e

posteriormente são transplantadas para a fase definitiva, em perfis maiores e com maior espaçamento, onde permanecem até a colheita (LIMA, 2018).

Segundo Lima (2018), quando se faz dois transplantes pode refletir em problemas fisiológicos nas plantas, afetando qualidade e também maiores custos de produção, pois o ciclo se torna maior, exigindo maiores gastos com insumos e maior mão de obra para a realização dos transplantes. Além do que os berçários ocupam cerca de 10% da área útil de um sistema hidropônico e normalmente contam com um reservatório separado para a solução nutritiva para estas mudas. De acordo com esse mesmo autor, o uso de mudas produzidas em bandejas com células maiores possibilitam a realização de um único transplante, trazendo precocidade ao ciclo e economia, tanto de mão de obra como insumos.

No Brasil, estima-se que exista 2.000 ha de cultivo hidropônico com folhosas. A cada cinco municípios, um tem este sistema de cultivo, sendo o Estado de São Paulo o maior produtor (LIMA et al., 2018). Esse sistema possibilita um consumo de água de 70 a 90% menor, quando comparado com o cultivo convencional (PURQUERIO et al., 2018). Em função da modernização do setor produtivo, como o surgimento de novos segmentos varietais, novas cultivares e novas técnicas de cultivo e de distribuição, é exigido do produtor qualidade, quantidade e principalmente regularidade de sua produção. Com a utilização desses sistemas os produtores reduzem os riscos, tem previsibilidade e constância da produção no cultivo de verão. Os grandes avanços tecnológicos que ocorreram no setor de hidroponia nos últimos anos, tem resultado em expansão do setor. São inúmeros os produtores de campo, nas principais regiões produtoras que têm aderido a esse sistema de cultivo. O cultivo hidropônico de hortaliças se localiza geralmente próximo aos grandes centros urbanos e aproximadamente 90% dos produtores tem optado pelo sistema hidropônico do tipo NFT (MELLO, 2016).

3.3. Tipologias e coloração de alface

No Brasil as principais tipologias de alface cultivadas são: crespa, americana, lisa, mimosa, romana, roxo-vermelha e crocante. A alface crespa tem dominado a preferência no Brasil. Suas folhas são flabeladas, com bordos ondulados, tenras e consistentes, flexíveis, e predomínio de coloração verde clara, ciclo precoce e ausência de formação de cabeça. Existe uma variação muito grande entre as cultivares comerciais quanto ao formato e tamanho (SALA e COSTA, 2012). Nas

últimas décadas grandes tem sido as contribuições do melhoramento genético desta folhosa tanto do setor de pesquisa pública e privado, visando o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas e com características adequadas para o mercado do produtor e consumidor. A prioridade da pesquisa em melhoramento genético das empresas internacionais tem sido direcionada para o segmento de alface americana, romana, mini e do tipo *baby leaf* (SALA e COSTA, 2012), ficando as empresas e instituições públicas do Brasil com o trabalho de melhoramento genético da alface crespa.

A UFSCar vem, desde 2009, trabalhando com o melhoramento genético de alface crespa, visando obtenção de novas cultivares tropicalizadas (tolerantes ao pendoamento) mas com diferentes colorações do limbo foliar. A coloração das folhas é uma característica qualitativa importante, pois é um fator de decisão de compra pelo consumidor.

A coloração da alface crespa no Brasil é predominantemente verde clara, existindo uma variação muito grande entre cultivares comerciais (SALA e COSTA, 2012). Essas alfaces que apresentam cor verde clara, quando expostas à comercialização diminuem sua atratividade de compra. A coloração verde clara é uma característica genética inerente à cultivar, e deve-se ao menor teor de clorofila nas folhas. Plantas de alface com folhas verdes escuras, que apresentam uma coloração mais intensa (ou seja, mais clorofila) levam um tempo maior para a perda deste pigmento e, conseqüentemente, mantem sua atratividade ao consumidor por um tempo maior, durante sua comercialização.

O americano e o europeu consomem preferencialmente as alfaces com folhas escuras, pois valorizam a questão nutricional das hortaliças. No Brasil temos o hábito de consumir predominantemente folhas claras para alface crespa (SALA e COSTA, 2012).

Uma alface com maior teor de clorofila é mais nutritiva, sobre os benefícios da clorofila para a saúde, alguns estudos foram impulsionados na década de 1980, com o surgimento do termo alimentos funcionais, quando pesquisas sobre suas atividades antioxidantes e quimiopreventivas se iniciaram (LANFER-MARQUEZ, 2003). A clorofila apresenta potenciais benefícios à saúde, como atividade antioxidante, anti-inflamatória, antimutagênica e anticancerígena (FERRUZZI e BLAKESLEE, 2007). Sendo assim, selecionar plantas de alface com maior teor de clorofila trará benefícios a saúde para os consumidores,

Contudo, muitos retratam sobre o benefício do consumo de vegetais e não da clorofila de forma isolada, visto que há dificuldade com a estabilidade química dessa substância frente a ácidos, calor e luz (SCHWARTZ e LORENZO 1990; GAUTHIER-JAQUES et al., 2001). Mesmo havendo escassez de pesquisas em relação, especificamente, à clorofila e seus benefícios para a saúde, a clorofila presente nas folhas de hortaliças folhosas tem influência direta sobre a coloração destas e na preferência do consumidor (SILVA et al., 2016).

A aceitação do produto pelos consumidores também é dependente do frescor e brilho que estes apresentam e a água presente nas hortaliças está relacionada a esses aspectos (Thompson, 2004).

O programa de melhoramento genético de alface crespa da UFSCar tem trabalhado no desenvolvimento de cultivares com coloração diferenciada, mais atrativa, onde o resultado seja para uma coloração verde mais intensa (maior teor de clorofila) visando trazer benefícios para a saúde e mais atratividade ao consumidor. Contudo, essas linhagens não foram avaliadas e comparadas com cultivares comerciais. Nenhum programa de melhoramento público desta folhosa tem linha de pesquisa com esse propósito.

3.4. A clorofila, sua importância na fotossíntese e degradação

A clorofila possui uma relação direta com a fotossíntese que é realizada pela planta, sendo caracterizada pela capacidade de pigmentos fotossintéticos, como a clorofila, em captar a energia quântica dos fótons de luz, e que excitam as clorofilas e como consequência elas liberam essa energia como calor, fluorescência, transferência de energia ou fotoquímica. O complexo antena que são compostos por clorofilas, pigmentos acessórios e proteínas, e que estão localizados nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos é quem absorvem esses fótons de luz (TAIZ e ZEIGER, 2009).

O teor de clorofila nas folhas é possível ser determinado por meio de espectrofotômetros, colorímetros, *software* de cor ou aparência. O medidor portátil ClorofiLOG da FALKER®, é uma ferramenta que permite medir o teor de clorofila com a planta viva, de maneira rápida e sem danificá-la. Sendo que o teor de clorofila nas folhas da planta é proporcional à quantidade de nitrogênio absorvido, sendo possível controlar a adubação com a medição realizada. Sua medição óptica analisa a absorção de luz pela folha e indica a presença de clorofila (FALKER, 2018).

Além da relação com a fotossíntese, a clorofila reflete a coloração e intensidade do verde presente nas folhas das hortaliças, aspecto muito apreciado pelo consumidor final nas hortaliças folhosas. A cor das folhas possui grande influência na aceitação de um produto pelo consumidor, estes relacionam a cor com o frescor e assim tomam a decisão de comprar ou não, desconsiderando até mesmo aspectos como a textura, valor nutricional e sabor. Em couve, assim como em outras hortaliças, a cor verde é devido a presença de clorofila e a sua intensidade está relacionada com a concentração do pigmento (CARACTERIZAÇÃO..., 2011).

A cor das folhas é influenciada pelos pigmentos que nela existem. A clorofila é responsável pela cor verde e que, junto com os carotenoides, os quais são responsáveis pelas cores amarela, vermelha ou alaranjada, conferem diferentes tonalidades de cores aos vegetais (FERRUZZI e BLAKESLEE 2007). Plantas que realizam a fotossíntese oxigênica possuem clorofila a e pigmentos acessórios, como clorofila b, que pode ser encontrado em vegetais superiores (TAIZ et al., 2017). A atividade fotossintética realizada pela planta está relacionada com a clorofila, sendo que este apresenta alta correlação com o teor de carotenoides (CASSETARI et al., 2015), influenciando diretamente na cor das folhas e preferência do consumidor (SILVA et al., 2016).

A manutenção da cor verde para as hortaliças folhosas é muito importante, mas após colhidas vão se tornando amareladas em função da perda de clorofila (VILELA e LUENGO, 2007).

A degradação da clorofila pode ser ocasionada por dois tipos de reações, uma que envolve a perda do fitol, do Mg^{2+} e outras modificações das cadeias laterais da molécula e a outra, que corresponde a fragmentação oxidativa do anel tetrapirrólico (SHIOI et al., 1995). Essa degradação também pode ocorrer pela ação de enzimas, que atuam durante o processo de maturação ou senescência do vegetal (LANFER-MARQUEZ, 2003). Esta perda da clorofila pode ser mesmo durante o cultivo, que pode ser causada pelo excesso de luz, passando a ser degradada, deixando a planta com aspecto amarelado. Isso também pode ocorrer após a colheita da alface. Em ambiente tropical a planta sofre estresses que são provocados pela luz frequente, portanto a concentração de clorofilas e outros pigmentos acessórios, como os carotenoides, são indicadores da suscetibilidade da planta à intensidade da luz (STREIT et al., 2005).

Segundo Seganfredo et al., (2001) avaliando pós colheita em folhas de taioba, verificaram que 24 horas depois da colheita, houve uma intensa degradação da clorofila até o completo amarelecimento das folhas, corroborando com resultados que foram observados por outros autores que analisaram a perda da cor verde em inflorescências de brócolos (KING e MORRIS, 1994) e em folhas de milho (HUNG e KAO, 1997).

Para hortaliças os atributos como frescor e brilho são responsáveis pela preferência dos consumidores, a perda de água pode influenciar nesse aspecto (THOMPSON, 2004).

3.5. Consumo de água, fotossíntese e produtividade agrícola

A água é um recurso primordial para a manutenção da vida de uma planta, ela está diretamente relacionada com a realização da fotossíntese pelas plantas e sua produtividade agrícola.

As plantas utilizam a água para fazer a fotossíntese, para conversão da energia luminosa em química, conseqüentemente para produzir massa. A água é um fator abundante e limitante ao mesmo tempo para o crescimento e funcionamento das plantas, por isso a irrigação se torna uma prática de extrema importância para não prejudicar a produtividade em locais onde a precipitação é baixa.

Como a água é um recurso limitante às plantas, estas precisam absorver uma grande quantidade para a absorção de CO₂ para a realização da fotossíntese e em média são perdidas 500 moléculas de água para ganhar uma de CO₂ (TAIZ e ZEIGER, 2009).

Quando as plantas não recebem a quantidade de água necessária passam a reduzir sua atividade fotossintética o que conseqüentemente prejudicará sua produtividade, essa redução da atividade fotossintética pode ser devido a senescência acelerada ou pela redução da expansão das folhas de uma cultura (BLOCH et al., 2005).

A clorofila é um pigmento e o principal fotorreceptor do aparato fotossintético. Apresenta duas formas principais em plantas vasculares, clorofila a e clorofila b, as quais geralmente estão em uma proporção de 3:1, respectivamente (BHATLA e MANJU 2018). Souza et al., (2019), avaliando o teor de clorofila da alface Crocanta em sistema hidropônico, encontrou valores de 78,42% para clorofila a e 21,57%, clorofila b, confirmando a mesma proporção de 3:1 para alface também.

Segundo Rey et al., (1999), em condições moderadas de estresse hídrico há redução na assimilação fotossintética de CO₂ em função do aumento da resistência à difusão de CO₂, em consequência de fechamento estomático. Em contrapartida, a deficiência hídrica severa, favorece a formação de espécies reativas de oxigênio, que danificam as plantas oxidando pigmentos fotossintéticos, lipídeos de membrana, proteínas e ácidos nucleicos. Os decréscimos nos teores de clorofila podem ser sintoma característico de estresse oxidativo, e tem sido verificado em plantas sob estresse hídrico (SMIRNOFF, 1995).

A maioria das plantas possui a clorofila a e b, sendo que a soma das duas corresponde à clorofila total. Plantas que se desenvolvem em ambientes com mais luminosidade possuem maior teor de clorofila a e plantas de ambientes sombreados possuem mais clorofila b. Isso é explicado porque a clorofila b se degrada mais facilmente na presença da luz. Sendo assim, em ambientes com menor luminosidade existe uma maior proporção de clorofila b, que consegue captar a energia em outros comprimentos de onda e transferir para clorofila a, que atua efetivamente nas reações da fotossíntese (LIMA et al., 2011). A fotossíntese realizada pelas plantas depende da clorofila a, que são responsáveis por captar a luz vermelha e azul (JOHKAN et al., 2010). Plantas com mais clorofila tendem a apresentar maior taxa fotossintética, entretanto, não resulta, necessariamente, em maior acúmulo de massa (WANG et al., 2016). Rosa et al., (2014), avaliando alface mimosa verde e roxa em sistema de cultivo hidropônico, verificaram que a alface mimosa verde apresentou menores teores de clorofila, contudo, sua produção de massa fresca foi maior. Cardoso et al., (2018), avaliando cultivares de alface em ambiente protegido, verificaram que a alface americana apresentou maior teor de clorofila, entretanto não foi a que apresentou maior produção de massa.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em duas etapas. A primeira constituiu-se de avaliação de linhagens e variedades de alface em cultivo hidropônico e a segunda, de avaliações em câmara B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand).

4.1. 1ª Etapa: Condução de experimento em sistema hidropônico

A primeira etapa constituiu-se de avaliação e caracterização agronômica de 10 linhagens de alface do Banco de Germoplasma da UFSCar e duas variedades comerciais.

4.1.1. Produção de mudas

A produção das mudas foi realizada viveiro comercial (IBS Mudas), localizado no município de Piracicaba-SP (22°37'46"S 47°36'07"W, 547 m de altitude), entre os meses de outubro a novembro de 2018. A semeadura foi feita em bandejas de 128 células com volume de 27 cm³ célula⁻¹, preenchidas com substrato a base de fibra de coco (Amafibra®). Utilizaram-se 10 linhagens (09, 27, 38, 47, 110, 142, 167, 195, 253 e 288) de alface crespa do Programa de Melhoramento Genético da UFSCar, escolhidas por apresentarem diferenças de coloração das folhas.

As variedades Vanda (Sakata®) e Luiza (Feltrin®) foram utilizadas como testemunhas para todos os atributos estudados como padrões de hortaliças aceitos

pelo mercado. Essas variedades foram escolhidas devido ao seu alto contraste em relação a cor, Luiza é uma variedade de alface romana com verde bem intenso e Vanda, uma variedade crespa com coloração verde claro.

4.1.2. Sistema de condução

Após o período de 30 dias, as mudas foram transferidas diretamente para as bancadas definitivas do sistema hidropônico do tipo NFT (fluxo laminar de nutriente) da área experimental pertencente ao Departamento de Biotecnologia e Produção Vegetal e Animal da Universidade Federal de São Carlos, no Centro de Ciências Agrárias, localizado no município de Araras-SP, onde permaneceram por um período de 30 dias (Figura 1).

A estrutura desse sistema contou com uma moto bomba d'água auto-aspirante (motor de 1 cv, vazão máxima de 3600 L hora⁻¹), reservatório com capacidade de 5000 L, cobertura de tela vermelha 30%, paredes laterais compostas também por telados vermelhos com comprimento de 40 m, largura de 48 m e 1,95 m de pé direito. As bancadas utilizadas tinham 7 perfis de 75 mm (7,5 cm de altura e 10 cm de diâmetro, cada perfil) com 15 m de comprimento e espaçamento de 0,30 m entre perfis e 0,25 m entre plantas. Com uma declividade das bancadas de 6%.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 12 tratamentos (linhagens: 09, 27, 38, 47, 110, 142, 167, 195, 253 e 288 e as variedades Vanda e Luiza) e quatro repetições, com 30 plantas por parcela, totalizando 1440 plantas no experimento. O experimento foi alocado em quatro bancadas hidropônicas, a parcela útil foram as cinco plantas centrais de cada parcela, descartando as plantas da bordadura.

A solução nutritiva para condução das plantas foi a de Furlani (1999): 100 g de MAP (Fosfato monoamônico, N: 11% + P₂O₅: 60%, solúveis em água, marca Hoyal®) / 1000 L de água; 500 g de Nitrato de Cálcio (N: 15,5% + Ca: 19%, marca Yara Liva®) / 1000 L de água; 500 g de Nitrato de Potássio (N: 12% + K₂O: 45%, marca Heringer®) / 1000 L de água; 350 g de Sulfato de Magnésio (Mg: 9% + S: 11,9%, marca Heringer®) / 1000 L de água e; 20 g de Micronutrientes (Micro Conplant®) (B: 1,82% - Cu EDTA: 1,82% - Fe EDTA: 7,26% - Mn EDTA: 1,82% - Mo:0,3%, Ni: 0,335% - Zn EDTA: 0,73%) / 1000 L de água. O esquema de circulação da solução nutritiva nos perfis da tubulação, foi de 15 em 15 minutos durante o dia (6:00 às 18:00) e 15 minutos a cada 4 horas durante o período

noturno. Foram controlados os valores de pH e condutividade elétrica diariamente com intuito de mantê-los entre 5,5 a 6,5 e 1,6 a 1,7, respectivamente, desde o momento do transplante até a colheita.



Figura 1. Plantas de alface conduzidas em sistema hidropônico NFT e contendo diferentes intensidades de coloração verde e teores de clorofilas, UFSCar, Araras-SP, 2018.

4.1.3. Avaliações

Para as avaliações foram coletadas cinco plantas de cada tratamento de maneira aleatória no interior de cada parcela, evitando as plantas da bordadura. Foram avaliadas as seguintes características agrônômicas:

- a. **Teor de Clorofila (TC):** medido utilizando o Clorofilômetro da Falker, sendo caracterizado o teor de clorofila a e b de cada tratamento; O TC foi medido em uma folha na parte mediana da planta, usando sua folha mais desenvolvida, mas não senescente (índice Falker); Em algumas análises para o teor de clorofila, foi possível constatar que as folhas de alface mais desenvolvidas possuíam maiores teores de clorofila que as folhas mais jovens, de uma mesma planta. Em contrapartida, variedades com folhas verdes mais escuras não tiveram diferenças nos teores de clorofila entre as folhas mais ou menos desenvolvidas. Sendo assim, foi determinada uma

metodologia que melhor representasse o teor de clorofila em alface e as medições foram feitas em quatro plantas por parcela.

- b. Altura de planta (AP):** mensurada com o auxílio de um paquímetro mediu-se desde a base até o ápice (cm planta⁻¹);
- c. Comprimento de raiz (CR):** mensurada com o auxílio de um paquímetro, mediu-se toda sua extensão (cm planta⁻¹);
- d. Número de folhas (NF):** todas as folhas com tamanho de até 5 cm foram contabilizadas;
- e. Massa fresca da parte aérea (MFPA):** as plantas foram pesadas logo após a colheita, retirando-se a raiz (g planta⁻¹);
- f. Comprimento de caule (CC):** mediu-se com um paquímetro desde a base do caule até a gema apical (cm planta⁻¹);
- g. Diâmetro de caule (DC):** foi mensurado com um paquímetro (cm planta⁻¹);
- h. Massa fresca de raiz (MFR):** pesou-se a raiz logo após a colheita e em seguida foi levada para estufa com ventilação de ar forçada a 65°C por três dias (g planta⁻¹);
- i. Massa seca da parte aérea (MSPA):** após três dias em estufa foram pesadas para se obter a massa seca da parte aérea (g planta⁻¹);
- j. Massa seca de raiz (MSR):** após três dias em estufa foram pesadas para se obter a massa seca da raiz (g planta⁻¹).

Após análise dos dados, foram selecionadas quatro linhagens e duas variedades de alface considerando uma escala para o teor de clorofila, foram escolhidos dois genótipos com maior teor, dois intermediários e dois inferiores, para serem avaliados quanto ao consumo de água e produção de massa em condições de laboratório (2ª etapa).

4.1.4. Análise dos dados

Os dados foram analisados no Software R (R CORE TEAM, 2018), submetidos à análise de variância (ANOVA) e as variáveis com diferenças

significativas determinadas pelo teste F seguiram com teste de comparações múltiplas de Scott-Knott a 5% de significância ($p \leq 0,05$), através da função Scott-Knott do pacote ExpDes (FERREIRA et al., 2013). Uma matriz de correlação de Pearson e análise de componentes principais (PCA) foi realizada para avaliar possíveis relações entre as variáveis mensuradas.

4.2. 2ª Etapa: Condução de experimento em sistema controlado B.O.D.

Para esta etapa, quatro linhagens de alface foram escolhidas (09, 27, 47 e 195) e duas variedades (Vanda e Luiza), obtidas de acordo com os teores de clorofila. Sendo que Luiza e a linhagem 09 tinham maiores valores para teores de clorofila, 27 e 47, teores intermediários e Vanda e 195, teores menores. Essa classificação das linhagens junto com as variedades comerciais Vanda e Luiza se fez a fim de caracterizar o consumo de água em função do teor de clorofila da planta.

4.2.1. Produção de mudas

Assim como na primeira etapa, as mudas foram produzidas pela empresa IBS Mudas, em Piracicaba-SP em bandejas de 200 células, contendo um volume de 10 cm³ com formato piramidal.

4.2.2. Sistema de condução

Esta etapa foi realizada em câmara B.O.D. (Figura 2) com temperatura e fotoperíodo controlado, com 16 horas de luz e temperatura de 25°C (dia) e 8 horas de escuro e temperatura de 20°C (noite).

O experimento foi feito em delineamento inteiramente casualizado, com 10 repetições e repetido por três vezes.

Cada tratamento foi disposto em potes transparentes de vidro devidamente lavados com solução de cloro e em seguida foi colocada duas espumas de poliuretano para acondicionar as mudas de alface. Primeiramente as espumas foram deixadas em imersão numa solução com dióxido de cloro a 5% (5 mL de dióxido de cloro L⁻¹ água), os potes foram lavados com essa mesma solução e em seguida enxaguados em água corrente. Após o tempo de imersão, as espumas foram enxaguadas em água por três vezes.

A solução nutritiva utilizada para a condução das plantas foi a de Hoagland, proposta por Hoagland e Arnon (1950): 506 mg de Nitrato de potássio, 1.180 mg de Nitrato de cálcio, 136 mg de fosfato de potássio, 494 mg de sulfato de magnésio para cada litro de água. Para os micronutrientes foi utilizada a solução Apéx, com 10 mL⁻¹.

Para o preparo da solução os sais foram pesados em balança de precisão e adicionados a um béquer com a água, que estava em constante agitação. Foi adicionado um sal de cada vez e, por fim, os 10 mL da solução Apéx. O pH foi corrigido para 5,5 aproximadamente utilizando gotículas de dióxido de cloro.

Em seguida, as mudas de alface foram acondicionadas nos potes e os mesmos preenchidos com 30 mL de solução nutritiva.

Após o preparo de todos os frascos, foram pesados para obter o peso total. Nesta fase, adotou-se o delineamento inteiramente casualizado com 10 repetições. O experimento foi repetido por três vezes. O tempo de cultivo foi de 10 dias. Para as análises estatísticas foram usadas as 30 plantas, sendo 10 de cada repetição.

Para as avaliações iniciais (teor de clorofila, área foliar, massa fresca, massa seca) outras plantas foram utilizadas com igualdade em todos os aspectos (massa fresca, número de folhas, teor de clorofila e área foliar) às que foram acondicionadas aos potes.

O peso de todos os potes foi mensurado diariamente sempre no mesmo horário e quando necessário foi feita a reposição da solução nutritiva e os frascos pesados novamente.

Foram feitas avaliações iniciais destrutivas, como massa fresca, massa seca e área foliar. Para isso foram usadas outras plantas com o mesmo tamanho das dispostas no experimento.

Ao final do tempo de cultivo foram avaliadas o teor de clorofila, massa fresca, área foliar, massa seca, densidade estomática, consumo de água e as relações de ganho de massa e eficiência no uso da água.



Figura 2. Plantas de alface com 2 dias sendo conduzidas em câmara B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019.

4.2.3. Avaliações

Para todas as avaliações com exceção da densidade estomática e área foliar, todas as 10 plantas foram avaliadas. Foram analisadas as seguintes características:

- a. Teor de Clorofila (TC):** Os teores de clorofila foram analisados no início e no final do experimento. A primeira análise foi feita nas mudas logo após sua transferência para o pote e depois de 10 dias quando houve o término do ensaio. Foram mensurados os teores de clorofila (Índice Falker) na folha mais desenvolvida de cada planta e com dez repetições por parcela.
- b. Número de folhas (NFI e NFF):** Todas as folhas com até 1 cm de comprimento foram contabilizadas na avaliação inicial (NFI) e na avaliação final (NFF).

- c. **Altura da planta (AP):** Mensurada com o auxílio de uma régua graduada, onde mediu-se desde a base até o ápice da planta.
- d. **Massa Fresca (MFI e MFF):** Foi mensurada a massa fresca no início (MFI) e no final do experimento (MFF). As plantas foram cortadas e pesadas em balança de precisão. Somente a parte aérea foi mensurada, excluiu-se as raízes e o substrato. Em seguida foram acondicionadas em saquinhos de papel e levadas à estufa com circulação de ar forçado à 65°C por 24 horas.
- e. **Massa Seca (MSI e MSF):** A massa seca foi mensurada no início (MSI) e no final do experimento (MSF), para que pudesse ser acompanhada a evolução em ganho de massa da planta, fazendo alusão com processo fotossintético e sua relação com o consumo de água em cada fase da planta. Utilizou-se dez plantas de cada genótipo.
- f. **Área foliar (AFI e AFF):** A determinação da área foliar foi feita no início (AFI) e no final do experimento (AFF). Mensurada com o equipamento LI-3100C Area Meter (LI-COR Biosciences), onde todas as folhas com medida acima ou igual a 5 cm de comprimento foram mensuradas pelo equipamento, foram medidas por três vezes e em seguida obteve-se a média. Para esta avaliação utilizou-se 5 repetições por material. Folhas menores que 5 cm não foram utilizadas pois o aparelho não realizou a leitura.
- g. **Densidade estomática (DS):** Determinou-se a densidade estomática de cada tratamento ao final do tempo de cultivo. A análise de densidade de estômatos foi feita no Laboratório de Fisiologia Vegetal e Cultura de Tecidos através do microscópio eletrônico Olympus BX51 que possui uma câmera acoplada e que projetava a imagem na tela do computador, facilitando assim a contagem. Para fazer a contagem as folhas foram cortadas em tiras e colocadas em etanol 70% por cinco minutos, em seguida foram colocadas em um béquer de vidro com hidróxido de potássio e levadas ao micro-ondas por aproximadamente 30 segundos. Posteriormente foram retiradas e colocadas em água destilada a temperatura ambiente para consecutivamente serem preparadas em lâminas para visualização no microscópio, a contagem foi feita na face abaxial da folha. Nesta etapa utilizou-se quatro repetições por material.

- h. Consumo de água (C):** Os potes com as mudas foram pesados diariamente no mesmo horário em balança de precisão para mensuração do seu consumo de água diário, isto foi feito durante todo o período de cultivo, por 10 dias.
- i. Ganho de Massa (GM):** O ganho de massa foi calculado fazendo-se a subtração entre a Massa seca final e a inicial.
- j. Consumo de água pela massa acumulada:** Esse consumo foi medido dividindo-se o ganho de massa pelo consumo acumulado no tempo de cultivo.

4.2.4. Análise dos dados

O conjunto de dados foi analisado no Software R (R Core Team, 2018). Para o conjunto de dados referente a cada variável foram ajustados modelos de acordo com cada tipo de experimento já mencionado, e quando o modelo do conjunto de dados atendeu as pressuposições da análise de variância (anova) e nesta foi evidenciado diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$), as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade ($P < 0,05$), através da função Scott-Knott do pacote ExpDes (FERREIRA et al., 2013). Quando a variável analisada em questão não atendeu as pressuposições da anova, houve a transformação dos dados e ou remoção de pontos influentes que não representavam o conjunto de dados (Outliers), para que dessa forma as pressuposições da anova fossem atendidas, e após isso, o agrupamento das médias foi realizado como mencionado anteriormente.

Para atender as pressuposições da Anova, o conjunto de dados referente ao ganho de massa por planta, área foliar, massa fresca e massa seca foram transformados através de raiz quadrada, já os dados de eficiência do uso de água por planta foram transformados através de logaritmo na base 10, sendo que nesse último conjunto de dados houve a necessidade da retirada de pontos influentes (Outliers), indicados através da função outlier Test presente no pacote Car (FOX e WEISBERG, 2011), o qual utiliza a identificação de um possível Outlier e a correção da significância desta remoção pelo teste de bonferroni. As transformações do conjunto de dados por raiz quadrada e logaritmo foram realizados pelo pacote base (R CORE TEAM, 2018). Os demais conjuntos de dados não mencionados não necessitaram de transformações.

Para observar a relação entre as variáveis estudadas foi realizada análise de componentes principais através do pacote FactoMine R (LE et al., 2008), de modo que inicialmente os dados foram escalonados através do pacote base (R CORE TEAM, 2018) e o gráfico biplot foi realizado através do pacote factoextra (KASSAMBARA e MUNDT, 2017).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Desempenho agronômico de linhagens e variedades de alface em sistema hidropônico (1ª Etapa)

No cultivo em sistema hidropônico houve diferenças para as características de massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca da raiz e número de folhas totais entre os genótipos (Tabela 1).

As alfaces que apresentaram maior massa fresca da parte aérea por planta foram as linhagens 38, 195, 253 e a cultivar Vanda, variando de 264 g (Vanda) a 297 g planta⁻¹ (linhagem 38) com uma média 54% maior em relação aos genótipos de menores valores (47, 167 e Luiza). Lima et al., (2018), avaliando alface crespa Vanda em hidroponia, encontraram resultados semelhantes ao desse trabalho, com massa fresca em torno de 300 g planta⁻¹ quando colhidas aos 29 dias após o transplante. As cultivares citadas de maior massa, com exceção da linhagem 195, foram também as de maior massa seca da parte aérea com média 36% maior em relação à linhagem 47, 167 e Luiza. As diferenças entre os valores também são devido a um maior teor de água, observou-se que a superioridade de 54% na massa fresca das cultivares de maiores valores oscilou para 36% na massa seca, sugerindo que a linhagem 38, 195, 253 e Vanda conseguiram reter mais água. Em adição, as cultivares de maior massa seca, a linhagem 195 e as de menor massa seca apresentaram, respectivamente, 20,9, 23,4 e 18,2 g de água por g de massa seca. O maior teor de água por massa seca na linhagem 195 explica sua superioridade na massa fresca, contudo valor intermediário na massa seca.

Quanto às massas frescas e secas das raízes, somente a linhagem 47, Vanda e Luiza apresentaram diferenças, com os menores valores, sendo que a massa seca da raiz apresentou cerca de 6 a 7% da massa fresca.

O número de folhas totais foi superior nas linhagens 09, 27 e 288 demonstrando seu potencial genético para esta característica, comparado com as variedades comerciais. Variedades com maior número de folhas provavelmente apresentam preferência para o consumidor, já que esta é a parte consumida desta hortaliça (EMBRAPA, 2013).

As linhagens 09, 27 e 288 apresentaram o maior número de folhas, com média de 34, valor 64% maior em relação às linhagens 167 e 195, com média de 21 folhas por planta (Tabela 1).

Na análise de PCA foi possível observar que esta variável tem uma relação com o teor de clorofila e o diâmetro do caule (Figura 1). Além disso, essa relação comprovou-se também a partir da análise de correlação, onde a variável número de folhas apresentou correlações positivas significativas a 5% de probabilidade com a clorofila a (0,67), com a clorofila total (0,63) e com o diâmetro do caule (0,70) (Figura 2). O número de folhas em alface é a uma característica importante, pois são o produto de consumo desta hortaliça, sendo assim um genótipo que possui maior número de folhas se destaca perante aos demais. Ceccherini et al., (2020), avaliando alface crespa Vanda em sistema hidropônico, encontraram aproximadamente 27 folhas por planta. A interceptação de energia luminosa, que será convertida em energia química, é facilitada quando se há um maior número de folhas, sendo assim, plantas com mais folhas terão seu desenvolvimento mais rápido, serão mais vigorosas podendo até ser mais precoces (Taiz et al., 2017). Mas para alface o crescimento mais rápido resulta em pendoamento precoce, o qual traz o crescimento do caule e conseqüentemente menor número de folhas.

Tabela 1. Massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR) e número de folhas totais (NFT) de linhagens e variedades de alface conduzidas em sistema hidropônico. UFSCar, Araras-SP, 2019.

Linhagem / Variedade	MFPA g planta ⁻¹	MSPA g planta ⁻¹	MFR g planta ⁻¹	MSR g planta ⁻¹	NFT
9	227,75 b	11,37 b	49,87 a	4,00 a	35,37 a
27	229,75 b	10,87 b	49,44 a	3,75 a	33,87 a
38	297,00 a	13,75 a	51,25 a	3,87 a	28,12 c
47	186,37 c	10,12 c	41,25 b	3,25 b	25,50 c
110	236,12 b	11,00 b	53,87 a	4,12 a	25,62 c
142	229,25 b	11,50 b	51,75 a	4,00 a	24,31 c
167	169,87 c	8,62 c	51,37 a	4,12 a	21,06 d
195	280,50 a	11,50 b	50,12 a	3,62 a	20,37 d
253	289,50 a	12,37 a	48,12 a	3,87 a	25,06 c
288	234,25 b	11,12 b	56,62 a	4,25 a	32,81 a
Vanda	264,12 a	12,75 a	45,37 b	3,37 b	25,81 c
Luiza	193,25 c	9,87 c	41,87 b	2,75 b	30,19 b
CV %	9,21	10,82	8,56	12,02	7,94

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Verificou-se que 64,8% da variação dos dados ser explicada pela PCA (Figura 3). A direção das setas indica a correlação entre as variáveis analisadas, sendo assim, quando estão paralelas possuem um indicativo de relação positiva, quando estão em direção opostas existe então uma relação negativa, ou seja, à medida que uma variável aumenta a outra diminui. Quando as setas estão perpendiculares não existe nenhum tipo de relação entre as variáveis. A partir da PCA foi possível observar que a massa fresca e seca da parte aérea estão em direção perpendicular aos teores de clorofila, mostrando que estas variáveis não se relacionam. A PCA também mostra um indicativo de relação entre a massa fresca e seca da parte aérea e tal relação é comprovada a partir do gráfico de correlação (Figura 4), onde a correlação entre massa fresca e seca foi positiva e significativa a 0,1% de probabilidade e com valor de 0,92. A Massa seca da parte aérea também apresentou correlação positiva significativa a 5% de probabilidade com o diâmetro do caule com valor de 0,59.

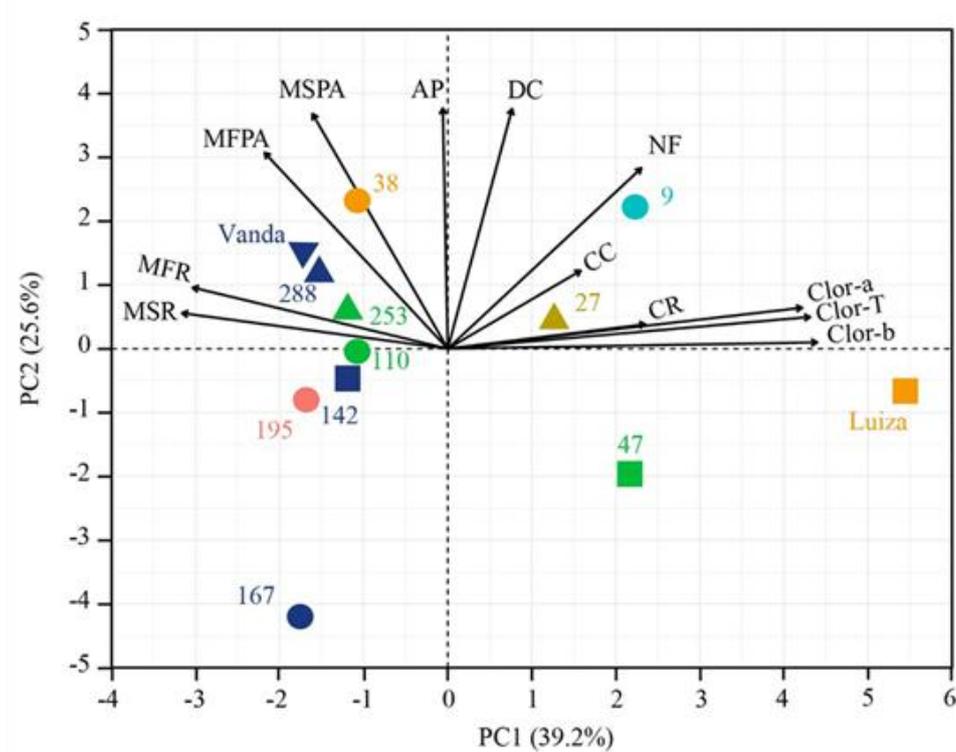


Figura 3. Análise de componentes principais (APC) da massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), altura de planta (AP), número de folhas (NF), teor de clorofila a (Clor-a), teor de clorofila b (Clor-b), teor de clorofila total (Clor-T), comprimento da raiz (CR), comprimento do caule (CC), diâmetro do caule (DC), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR) de genótipos de alface (09, 27, 38, 47, 110, 142, 167, 195, 253, 288, Luiza e Vanda) cultivada em sistema hidropônico. PC1: Componente principal 1; PC2: Componente principal 2. Nota-se correlação positiva entre as variáveis com setas paralelas, correlação negativa com setas em direções opostas e ausência de correlação com setas perpendiculares. UFSCar, Araras-SP, 2019.

Houve correlação positiva significativa a 0,1% de probabilidade entre as massas frescas e secas da raiz, com valor de 0,91 (Figura 4). A massa fresca e a massa seca da raiz apresentaram correlações negativas significativas a 5% de probabilidade com a clorofila b em -0,60 e -0,59 respectivamente.

As linhagens 09 e 288 apresentaram altura de planta 29% maior em relação aos de menor altura com 47 e 167 cm planta⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Os formatos das folhas influenciam a altura da planta, sendo assim, as variações encontradas entre as linhagens 09 e 288 com as linhagens 47 e 167 foram devido a esse fator. As linhagens 47 e 167 possuem folha do tipo circular a elíptica transversa alargada, que é um formato que confere característica de plantas de porte mais baixo; já as linhagens 09 e 288 têm folhas do tipo elíptica estreitada, conferindo porte mais alto de plantas (MAPA, 2019). Altura de plantas apresentou correlação positiva e significativa a 5% de probabilidade com a massa seca de parte aérea com valor de 0,58 (Figura 2). Esses resultados estão de acordo com Ceccherini et al., (2020) que, avaliando alface crespa Vanda em sistema hidropônico, encontraram altura de plantas próximas de 23 cm planta⁻¹.

Luiza apresentou o maior comprimento de raiz, com 52,41 cm, os demais genótipos tiveram comprimentos entre 37,03 e 45,43 cm planta⁻¹. O comprimento de raiz não apresentou nenhum tipo correlação com as demais variáveis analisadas (Figura 1, Figura 2). Luiza também apresentou o maior valor para comprimento do caule, isso é explicado por ser uma alface romana, cuja característica de porte e tamanho é diferente da alface crespa. O comprimento do caule é bastante relevante para a seleção de linhagens pelos melhoristas, pois está diretamente relacionado com o pendoamento da alface. Então quanto menor for seu comprimento, mais tolerante ao pendoamento precoce será a alface. Sendo assim, as linhagens avaliadas se mostraram com boa tolerância ao pendoamento precoce quando comparadas à cultivar Vanda. Sediya et al., (2009), ao compararem seis cultivares comerciais em sistema hidropônico no verão e no inverno, obtiveram valores de comprimento de caule no verão variando entre 6,4 e 14,6 cm e no inverno, entre 4,8 e 7,6 cm, mostrando uma relação entre temperatura e pendoamento das plantas.

As linhagens 9, 27 e a cultivar Vanda apresentaram o maior diâmetro do caule, apresentando 2,68, 2,50 e 2,43 cm, respectivamente. Quanto maior é o diâmetro do caule, mais fácil se torna o processo de destacar as folhas. Silveira (2016) avaliou oito linhagens de alface crespa e duas cultivares comerciais e obteve resultado semelhante ao do presente trabalho, onde Vanda apresentou 2,84 cm. No trabalho de Costa et al., (2014) encontraram valores aproximados, com Vanda apresentando 2,62 cm.

Tabela 2. Altura de planta (AP), comprimento da raiz (CR), comprimento do caule (CC) e diâmetro do caule (DC) de linhagens e variedades de alface conduzidas em sistema hidropônico. UFSCar, Araras-SP, 2019.

Linhagem Variedade	AP cm planta ⁻¹	CR cm planta ⁻¹	CC cm planta ⁻¹	DC mm planta ⁻¹
9	25,78 a	42,91 c	5,69 c	2,68 a
27	21,84 c	40,72 c	4,95 c	2,50 b
38	24,66 b	37,31 c	7,50 b	2,37 c
47	20,87 d	38,41 c	5,94 c	2,22 c
110	22,78 c	41,00 c	7,00 b	2,26 c
142	23,22 c	44,69 b	6,94 b	2,14 d
167	19,94 d	37,03 c	5,11 c	1,68 e
195	23,28 c	44,81 b	4,67 c	2,01 d
253	23,13 c	45,43 b	5,89 c	2,24 c
288	26,84 a	42,12 c	5,57 c	2,22 c
Vanda	25,29 b	38,53 c	7,21 b	2,43 b
Luiza	24,06 b	52,41 a	8,43 a	2,01 d
CV %	3,72	8,31	11,3	5,82

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Em relação ao teor total de clorofilas, a média dos genótipos apresentou proporção de 83% de clorofila a para 17% de clorofila b (Tabela 3). Resultados similares foram encontrados por Souza et al., (2019), onde avaliando o teor de clorofila da alface Crocantela em sistema hidropônico, 78,42% foi clorofila a e 21,57%, clorofila b. Esses resultados também estão de acordo com Gross (1991), que confirma maior teor de clorofila a em relação a clorofila b, em torno de 75%.

Tabela 3. Teor de clorofila (Índice Falker) de linhagens e variedades de alface conduzidas em sistema hidropônico. UFSCar, Araras-SP, 2019.

Linhagens/ Variedades	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila Total
9	32,03 a	7,46 b	39,50 a
27	30,11 b	5,46 c	35,57 b
38	24,05 c	4,54 c	28,58 c
47	27,31 b	7,30 b	34,61 b
110	22,75 c	4,10 c	26,85 c
142	21,15 c	3,66 c	24,81 c
167	20,12 c	3,42 c	23,55 c
195	20,72 c	3,52 c	24,25 c
253	21,43 c	3,82 c	25,26 c
288	21,26 c	3,67 c	24,93 c
Vanda	18,00 c	2,82 c	20,82 c
Luiza	34,33 a	8,97 a	43,31 a
CV %	10,91	20,34	10,92

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

O principal fotorreceptor na fotossíntese é a clorofila, onde, em plantas vasculares, as formas clorofila a e b são majoritárias e, geralmente, em ordem 3:1, respectivamente (BHATLA e MANJU 2018). A linhagem 09 e Luiza foram as de maior teor de clorofila a e Luiza a maior em clorofila b, apresentando proporção entre a e b de, aproximadamente e respectivamente, 80 e 20% (Tabela 1). Já as cultivares de menor teor de clorofila a e b (38, 110, 142, 167, 195, 253, 288, Vanda) apresentaram proporção entre clorofila a e b de, aproximadamente, 85 e 15%, respectivamente. Em relação a clorofila total, a linhagem 09 e Luiza apresentaram média 66% maior em relação aos de menor teor (38, 110, 142, 167, 195, 253, 288, Vanda). As correlações entre clorofila a, b e total foram positivas significativas a 0,1% de probabilidade, com valores variando de 0,95 a 0,99 (Figura 1, Figura 2), sendo consideradas muito fortes (HINKLE et al., 2002).

A razão entre clorofilas a e b (a:b) dos genótipos de maior massa fresca da parte aérea (38, 195, 253, e Vanda; a:b com valor de, aproximadamente, 6:1) foi maior do que os de massa fresca intermediária (9, 27, 110, 142 e 288; razão de 5:1) e, por sua vez, maior do que os de menor massa fresca (47, 167 e Luiza; razão de 4:1) (Tabela 1). Uma menor proporção a:b está relacionada à uma quantidade menor de centros de reação do fotossistema II, podendo estar associados a um declínio na capacidade máxima de transporte de elétrons deste fotossistema (EVANS 1988). Tal

declínio é uma possível explicação das diferentes razões a:b entre os acessos de maior e menor massa fresca.

A fotossíntese é dependente da clorofila a existente nas plantas, elas são responsáveis por absorver a luz vermelha e azul (JOHKAN et al., 2010). WANG et al., (2016) ao avaliarem desenvolvimento de alface com diferentes razões entre as luzes vermelha e azul, encontraram que o maior teor de clorofila pode contribuir com uma maior taxa fotossintética, contudo, a maior taxa fotossintética não foi revertida em ganho de massa seca, pois o acúmulo de massa seca da planta de alface não depende somente da taxa fotossintética, mas de outros fatores, como número de folhas e área foliar.

Resultados semelhantes ao desse trabalho foram encontrados por Rosa et al., (2014), onde alfaces mimosas verde e roxa cultivadas em sistema de cultivo hidropônico e convencional, apresentaram diferenças nos teores de clorofila, sendo que a alface mimosa verde apresentou menores teores, em torno de 50% menor que a alface Mimosa roxa, contudo, sua produção de massa fresca foi maior, sendo assim alfaces com maior teor de clorofila tendem a apresentar menor produção de massa. Corroborando com este trabalho, Cardoso et al., (2018), avaliaram alface americana, crespa e lisa em ambiente protegido, e verificaram que a alface americana apresentou maior teor de clorofila, entretanto não foi a que apresentou maior produção de massa. Sendo assim independe do tipo de alface, quando essas possuem maior teor de clorofila a sua produção de massa é prejudicada.

Neste trabalho foi avaliado somente alfaces do tipo crespa e romana, entretanto seria interessante avaliar se outros tipos de alface teriam o mesmo comportamento quando a produção de massa relacionado aos teores de clorofila. Visto que o processo de seleção se torna favorável pois pode ser realizado ainda na fase de muda.

5.2. Desempenho agrônômico de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. (2ª Etapa)

A linhagem 09 e Luiza apresentaram os maiores teores de clorofila, 27 e 47, teores intermediários e 195 e Vanda, menores (Tabela 3). Essa classificação das linhagens junto com as variedades comerciais Vanda e Luiza se fez a fim de caracterizar o consumo de água em função do teor de clorofila da planta.

A massa fresca inicial das plantas não diferiu estatisticamente entre si. Na avaliação inicial todas as mudas tinham a mesma massa, mostrando assim a uniformidade das mudas (Figura 5). Mas apresentou correlação significativa a 5% de significância com a massa seca final, com o valor de 0,67 (Figura 4) e correlação negativa de 85% com a área foliar inicial. Após 10 dias de cultivo, houve aumento na massa fresca final, onde a linhagem 195 e a cultivar Vanda apresentaram as maiores massas, com aproximadamente 2,70 g planta⁻¹. Portanto, as alfaces apresentam diferentes capacidades e velocidades de crescimento, o que se relaciona com o potencial genético de cada variedade. Variedades de maior velocidade de crescimento, como a linhagem 195 e Vanda, são interessantes em situações em que a precocidade é desejável, como por exemplo em casos de grandes produções para atender a demanda de mercado. A precocidade traz vantagem como a redução do ciclo, tornando menor o custo de produção. Lima et al., (2018) avaliando produtividade de alface Vanda cultivadas em diferentes volumes de células verificaram que as alfaces produzidas em bandejas com maiores volumes de células trazem precocidade ao ciclo e redução de custos e de mão de obra. A massa fresca final apresentou correlações positivas de 77% com a massa seca final e 82% com o consumo de água.

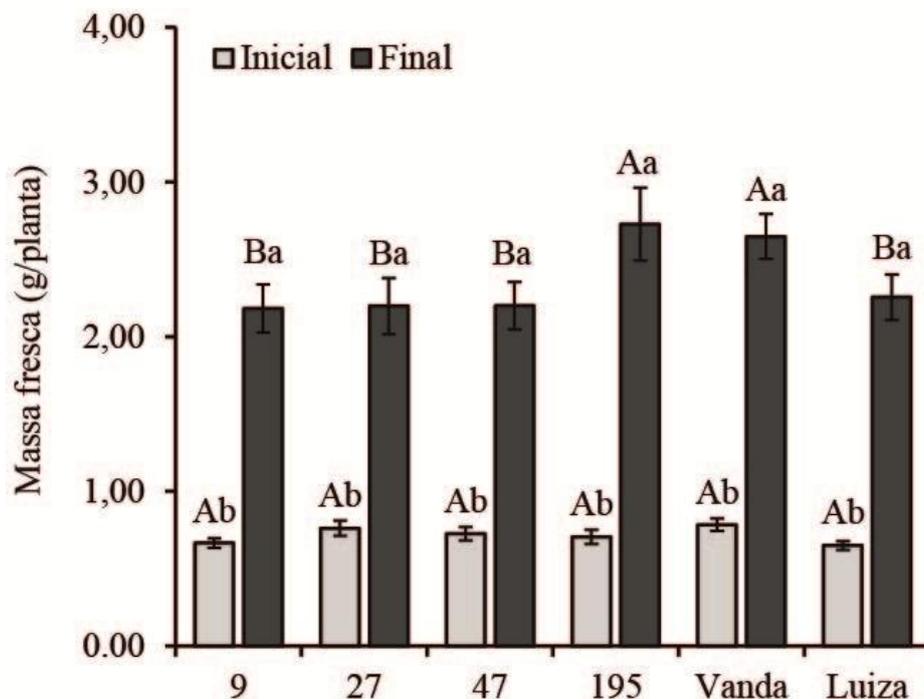


Figura 5. Massa fresca inicial e final de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e letras minúsculas indicam diferenças significativas nos valores inicial e final dentro de cada tratamento, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). CV 1: Coeficiente de variação referente a parcela; CV 2: Coeficiente de variação referente a sub-parcela; CV 1 (%) 40,92 e CV 2 (%) 12,84.

Todos os genótipos estudados não apresentaram diferenças entre si em relação a massa seca inicial, apresentando massas de aproximadamente $0,05 \text{ g planta}^{-1}$ (Figura 6). Para a massa seca final houve a mesma tendência que os resultados encontrados para a massa fresca final. A linhagem 195 e as variedades Vanda e Luiza apresentaram as maiores massas secas, com aproximadamente $0,12 \text{ g planta}^{-1}$. E as linhagens 9, 27 e 47 apresentaram as menores massas, aproximadamente $0,10 \text{ g planta}^{-1}$. Comparando os resultados de massa fresca inicial com a massa seca inicial, verifica-se que a massa seca representou 7,46%, do total da massa fresca. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza et. al (2019), que em cultivo hidropônico de alface teve 6,56% de massa seca em relação à massa fresca. Esses resultados mostram que a alface é uma planta com aproximadamente 95% de água.

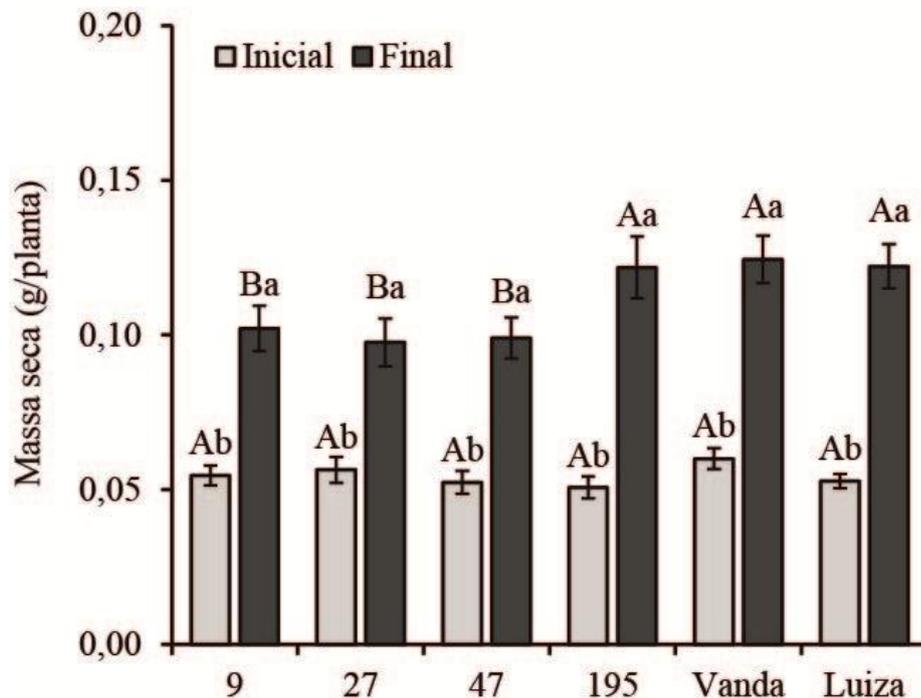


Figura 6. Massa seca inicial e final de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e letras minúsculas indicam diferenças significativas nos valores inicial e final dentro de cada tratamento, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Coeficiente de variação referente a parcela; CV 2: Coeficiente de variação referente a sub-parcela; CV 1 (%) 37,06 e CV 2 (%) 13,53.

A linhagem 195 e as variedades Vanda e Luiza tiveram os maiores ganhos de massa (Figura 7), sendo que a linhagem 195 foi numericamente maior que as demais e apresentou ganho de massa em torno de $0,075 \text{ g planta}^{-1}$. Já as linhagens 9, 27 e 47 tiveram menores ganhos de massa, com aproximadamente $0,045 \text{ g planta}^{-1}$. Ganho de massa apresentou correlação positiva de 95% com a massa seca final. Como já afirmado anteriormente, as diferenças de ganho de massa entre as variedades se deve principalmente ao potencial genético de crescimento de cada uma.

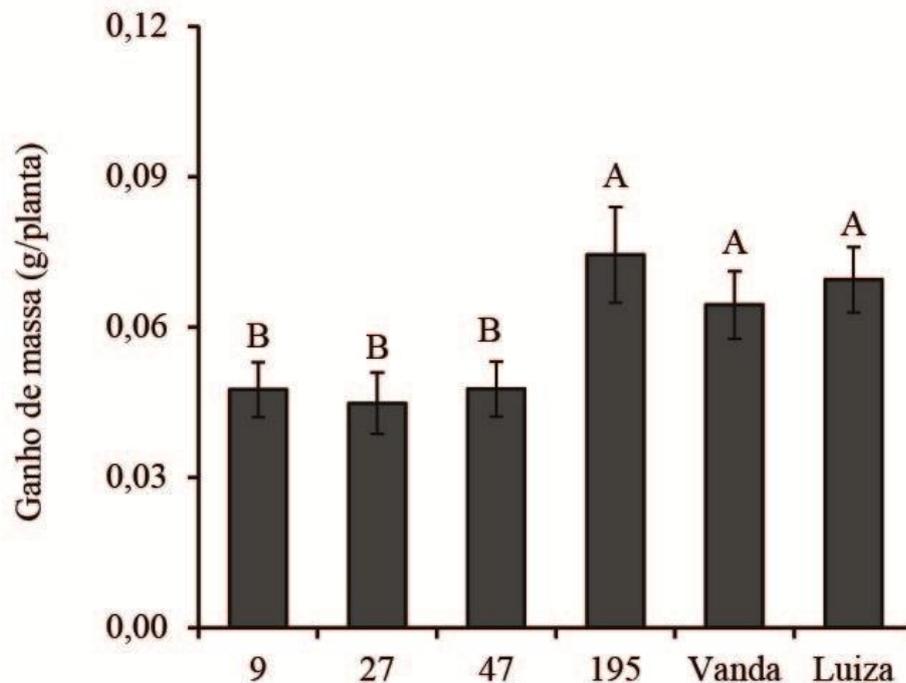


Figura 7. Ganho de massa de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Coeficiente de variação: CV (%) 35,62.

As linhagens 9 e 195 juntamente com a cultivar Vanda apresentaram as maiores alturas, com valores próximos de 8 cm (Figura 8), sendo possível observar bastante variação em relação a altura das plantas. Altura inicial e final apresentaram correlação de 86%. As linhagens 9 e 195 apresentaram as maiores alturas finais, assim como na avaliação inicial. Comparando a altura final com a inicial pode ser observado que os tratamentos apresentaram aumentos de 3,99 cm (Luiza) até 5,65 cm (linhagem 09). Como citado anteriormente, a altura da planta relaciona-se com a

sua tendência ao pendoamento, o que não é desejável quando o objetivo é a produção para o consumo da alface hortaliga (DIAMANTE et al., 2013). Sendo assim, a linhagem 09 não apresenta características que favorecem sua seleção, pois apresenta os maiores dados de altura associadas a menores valores de ganho de massa. A linhagem 195 não apresentou valores intermediários de altura do caule, no entanto, sua produção de massa foi muito elevada. Verifica-se que, para algumas variedades de alface, a maior produção de massa e maior número de folhas pode estar associado a números ligeiramente superiores de comprimento de caule (EMBRAPA, 2013).

As tipologias de alface avaliadas tinham formato de folhas diferentes, a cultivar Luiza que é uma alface romana possui suas folhas eretas e mais alongadas (elíptica estreitada), a linhagem 09 além de ter sua folha com o formato elíptica estreitada possui uma nervura foliar maior o que a torna maior em altura também se comparada com as demais. A linhagem 47 também tinha o formato de folha mais estreito (elíptica). Já as linhagens 195 e a variedade Vanda tem formato de folha mais alargada, com formato denominado de elíptica transversa alargada (MAPA, 2019). Sendo assim fica claro que os formatos das folhas influenciam na altura da planta de alface.

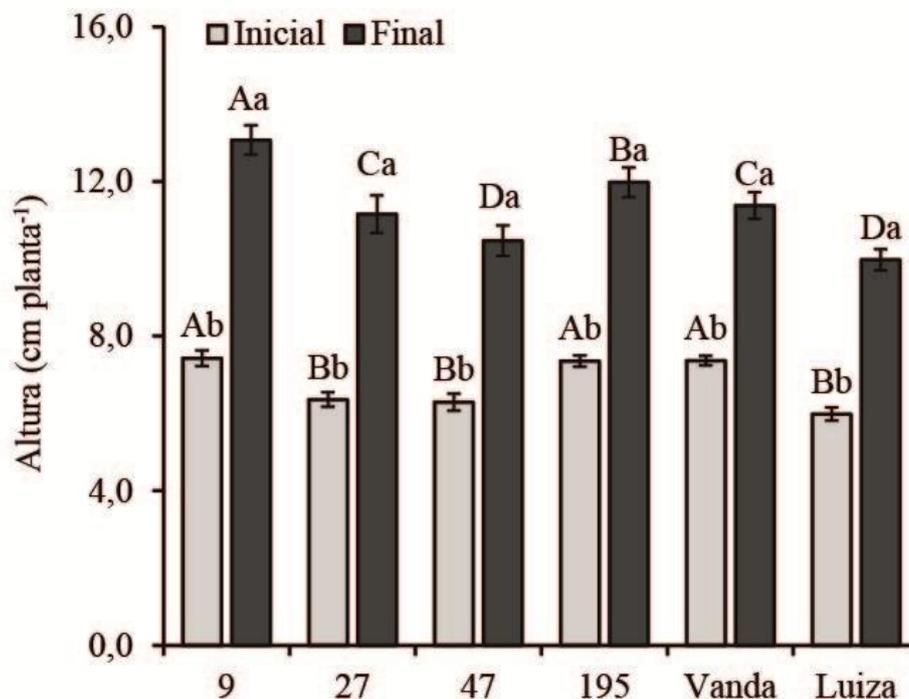


Figura 8. Altura de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e letras minúsculas indicam diferenças significativas nos valores inicial e final dentro de cada tratamento, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Coeficiente de variação referente a parcela; CV 2: Coeficiente de variação referente a sub-parcela; CV 1 (%) 37,68 e CV 2 (%) 11,53.

Luiza apresentou o maior número de folhas em relação aos demais genótipos, tanto na avaliação inicial como final (Figura 9).

O número de folhas apresentou variação entre os tratamentos e entre o período inicial e final, sendo que o aumento entre a avaliação inicial e final foi relativamente pequena, e isto se deve ao fato de que o período de cultivo (10 dias) foi relativamente curto para se ter um maior aumento no número de folhas por planta. Sendo que a variação do número de folhas entre os tratamentos foram de 3,9 a 5,7 folhas para a avaliação inicial e de 5,7 a 7,4 para a final, mostrando assim que não houve aumento expressivo para esta variável em relação ao período de cultivo. Foi verificada uma correlação negativa de 82% entre o número de folhas final e a altura final das plantas. Mas o número de folhas inicial teve correlação positiva de 94% com o número de estômatos (Figura 18).

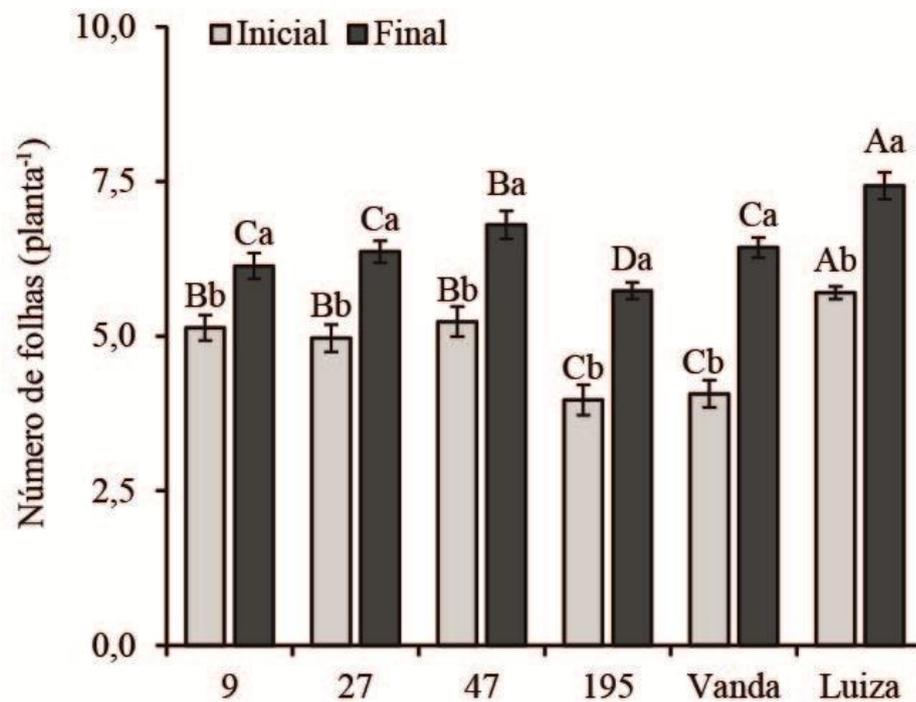


Figura 9. Número de folhas inicial e final de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e letras minúsculas indicam diferenças significativas nos valores inicial e final dentro de cada tratamento, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Coeficiente de variação referente a parcela; CV 2: Coeficiente de variação referente a sub-parcela; CV 1 (%) 28,68 e CV 2 (%) 14,72.

Os genótipos não apresentaram diferenças para área foliar inicial, confirmando assim os resultados encontrados para a massa fresca e massa seca inicial, mostrando mais uma vez a uniformidade de todas as mudas. Contudo, houve variação entre os genótipos para a área foliar final (Figura 10). Luiza aumentou aproximadamente 33 vezes sua área foliar, enquanto Vanda apenas nove vezes, semelhante a linhagem 47, que aumentou 10 vezes. Luiza apresentou superioridade em relação as demais alfaces. O aumento da área foliar está relacionado, sobretudo ao número de folhas e ao tamanho das mesmas (OLIVEIRA et al., 2011). Luiza apresentou maior número de folhas, portanto a sua área foliar também foi maior. Em sequência estão as linhagens 9, 27 e 195, que apresentaram áreas foliares próximas de 24 cm², por fim a linhagem 47 e a variedade Vanda que apresentaram as menores áreas foliares de 12 cm². Observa-se que em alguns casos, nem sempre a relação entre maior número de folhas e maior área foliar foi válida. A linhagem 47, por exemplo, apresentou o segundo maior número de folhas, mas sua área foliar foi menor que a variedade Luiza e as linhagens 27, 195 e 9. Isto provavelmente é

explicado pelo fato de que suas folhas são menores (EMBRAPA, 2013). As folhas eram de diferentes formas como já fora mencionado anteriormente, e para a leitura da área foliar, o equipamento não fazia a leitura de folhas menores que 5 cm aproximadamente, sendo assim, o número de folhas não pode ser relacionado com a área foliar. A área foliar inicial e final apresentou correlações positivas de 95% e 91% com a clorofila final (Figura 18).

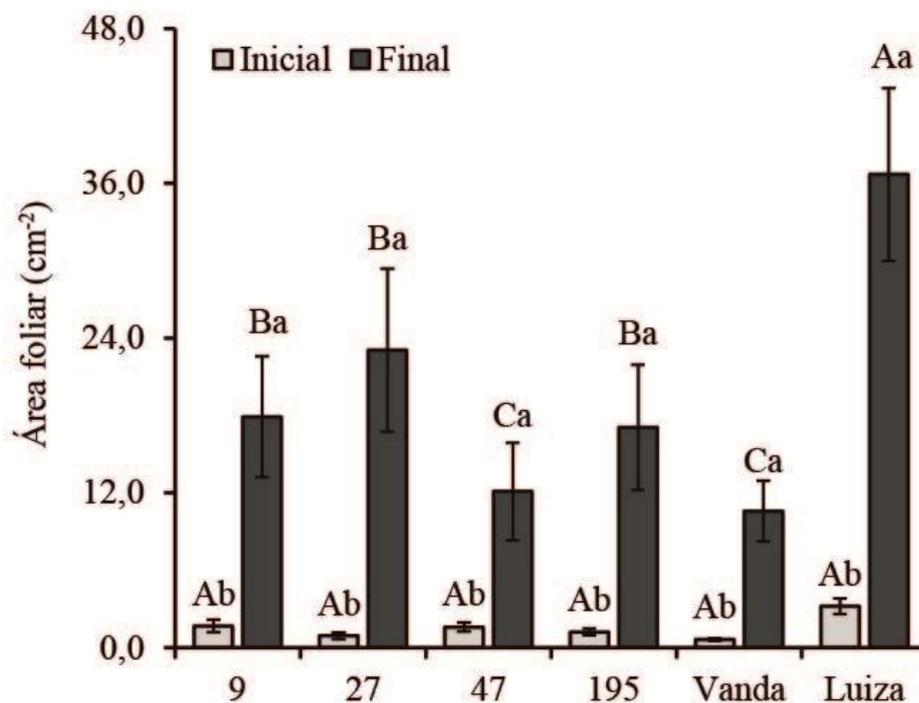


Figura 10. Área foliar inicial e final de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos e letras minúsculas indicam diferenças significativas nos valores inicial e final dentro de cada tratamento, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Coeficiente de variação referente a parcela; CV 2: Coeficiente de variação referente a sub-parcela; CV 1 (%) 41,48 e CV 2 (%) 37,16.

Na primeira etapa deste experimento, as mesmas linhagens (9, 27, 47 e 195) e cultivares (Vanda e Luiza) apresentaram maior teor de clorofila, pois o tempo de cultivo foi maior. Isso pode ser explicado porque a clorofila é formada com o desenvolvimento vegetal, ou seja, uma folha mais madura possui um maior teor de clorofila em relação às folhas ainda em formação, explicando assim os resultados encontrados nesse trabalho, pois o período de cultivo foi relativamente curto (10 dias). No entanto, as variedades apresentaram diferenças significativas entre si

quanto a esta variável. A variedade Luiza apresentou os maiores índices de clorofila a (da ordem de 35), seguida da linhagem 9 com índices da ordem de 20. Isso se manteve tanto para clorofila a e b (Figura 11), conseqüentemente para clorofila total, pois é a soma de ambas (Figura 13). Souza et al., (2019) avaliaram o teor de clorofila da variedade Crocantela para cultivo em vaso e hidroponia, e verificaram que o teor de clorofila das plantas quando cultivadas em sistema hidropônico é mais que o dobro do que as cultivadas em vaso. As folhas alteram sua morfologia e composição, adaptativamente, respondendo à luz do meio. Os pigmentos fotossintéticos presentes e a sua abundância variam de acordo com a espécie e do meio em que ela está exposta, no que diz respeito a intensidade e duração de exposição à luz (STREIT et al., 2005). Considerando que as variedades tiveram as mesmas condições luminosas no seu crescimento (controladas pela B.O.D.), as diferenças entre elas devem-se sobretudo, as suas características genéticas, que determinam diferentes respostas à condição luminosa imposta. A clorofila inicial apresentou correlações positivas de 91% com o número de folhas inicial, 97% com a clorofila final, 91% com a área foliar inicial e 86% com a área foliar final.

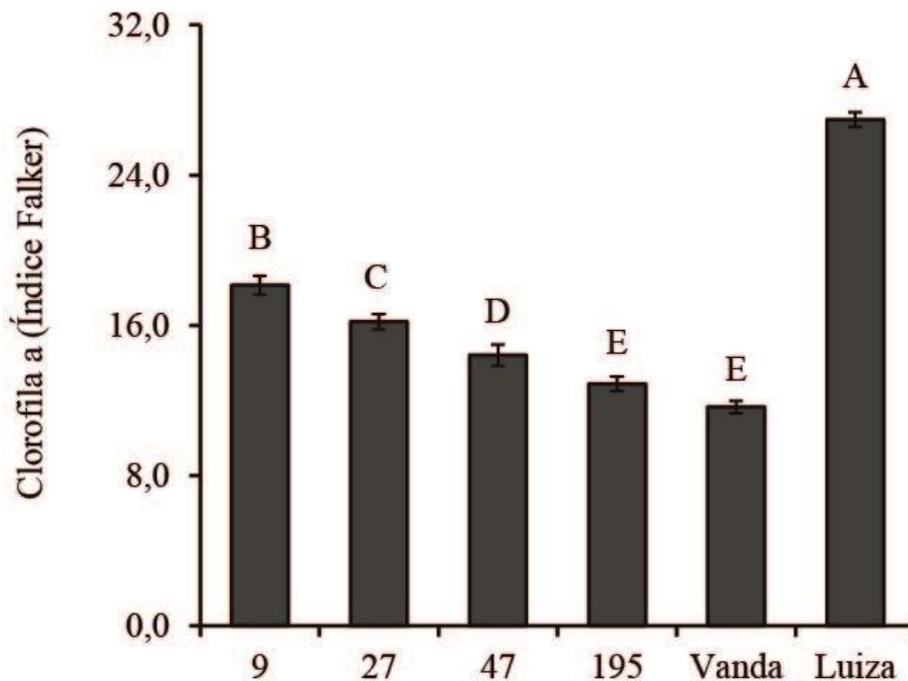


Figura 11. Teor de clorofila a de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Coeficiente de variação: CV (%) 14,39.

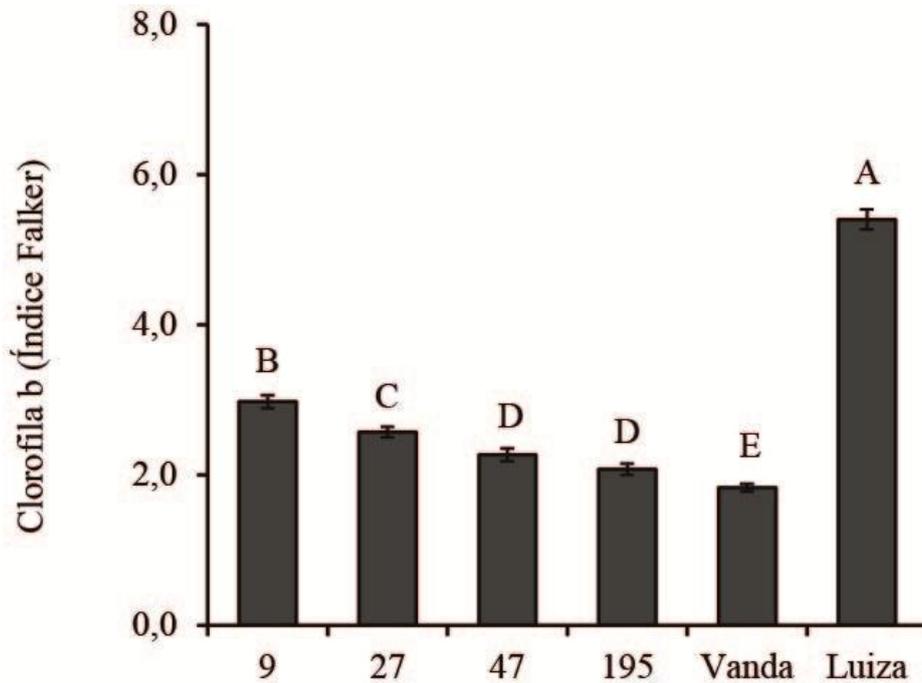


Figura 12. Teor de clorofila b de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Coeficiente de variação: CV (%) 16,76.

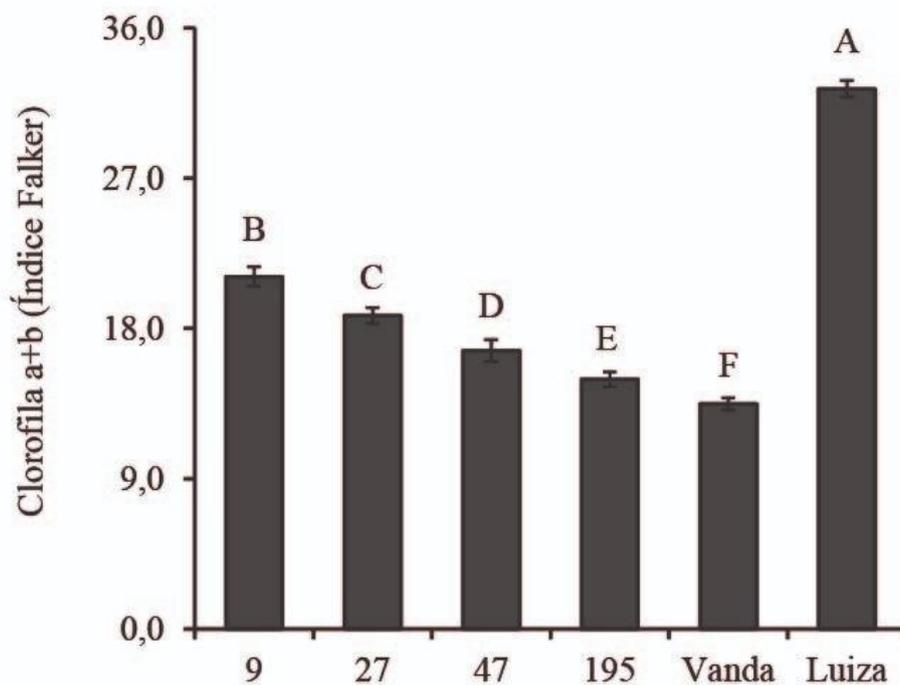


Figura 13. Teor de clorofila total (a+b) de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Coeficiente de variação: CV (%) 14,31.

A cultivar Luiza apresentou o maior número de estômatos, com 18.483 unidades por cm^2 (Figura 14). E o menor valor foi observado na linhagem 195, que apresentou 6.250 unidades por cm^2 , portanto houve uma variação de aproximadamente 34% entre o genótipo com menor e maior número de estômatos, o que permite indiretamente inferir que deve existir grande variação nas taxas de evapotranspiração entre os genótipos analisados. Luiza também apresentou o maior consumo de água. Os estômatos têm como principal função realizar as trocas gasosas e transpiração, assim tem relação direta com o consumo de água (TAIZ e ZEIGER, 2009). Assim, neste trabalho verificou-se que, o número de estômatos é fator determinante para maior transpiração e consumo de água. Corroborando com esse resultado, temos que o número de estômatos é uma função da área foliar, ou seja, quanto maior a área foliar, proporcionalmente será com o número de estômatos. Resultados semelhantes foram verificados por Conti e Tavares (2000), que encontraram uma quantidade estômatos variando entre 6.585 e 7.279 unidades por cm^2 , nas variedades de alface crespa Grand Rapids e Brisa. Segundo Souza et al., (2019) as plantas de alface podem ser caracterizadas como anfistomática, pois possuem estômatos tanto na face adaxial e abaxial, e verificaram uma média de 3.489 a 5.429 estômatos por cm^2 no cultivo em campo e hidroponia, respectivamente, enquanto este trabalho só verificou a densidade estomática na face abaxial, e encontrou uma variação na densidade estomática entre 6.250 e 18.483 por cm^2 . O número de estômatos apresentou correlação positiva de 87% com o número de folhas final e correlações negativas de 82% e 84% com a altura inicial e a massa fresca final respectivamente.

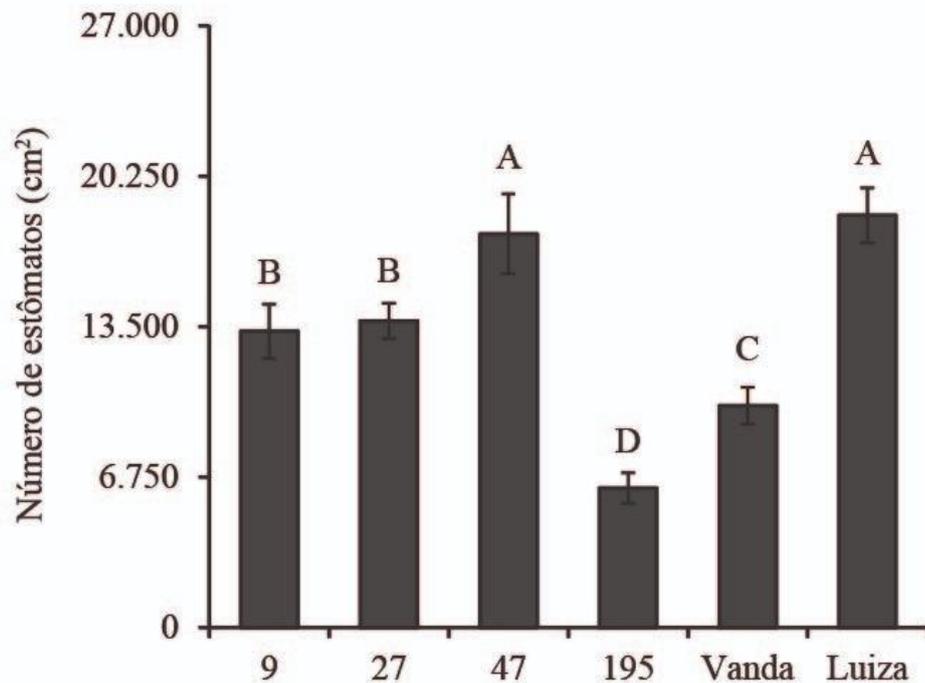


Figura 14. Número de estômatos de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Coeficiente de variação: CV (%) 24,72.

A linhagem 195 e as cultivares Vanda e Luiza foram as que consumiram mais água (Figura 15). O consumo de água apresentou correlação positiva de 91% com a massa seca fina (Figura 18). De modo geral, o consumo está relacionado com a massa da planta, e pode-se afirmar que, quanto maior é o ganho de massa, maior é o consumo de água para manutenção da planta, podendo esta relação ser comprovada pela correlação encontrada de 84% entre o consumo de água e o ganho de massa. Além disso, há alguns outros fatores, intrínsecos de cada variedade ou linhagem, que podem explicar diferenças no consumo de água como densidade estomática e variações na frequência de abertura e fechamento dos estômatos, causando maior ou menor taxa de transpiração (TAIZ e ZEIGER, 2009). A variedade Vanda, possui área foliar e número de estômatos significativamente menores do que a variedade Luiza, no entanto, o consumo de água de ambas foi igual. Embora neste trabalho essa questão não possa ser completamente elucidada, a dinâmica de abertura e fechamento de estômatos destas duas variedades podem ser diferentes, o que se traduz em diferenças na transpiração, e conseqüentemente no volume de água consumido. Assim, sugere-se que estudos posteriores sejam conduzidos para elucidar estas diferenças.

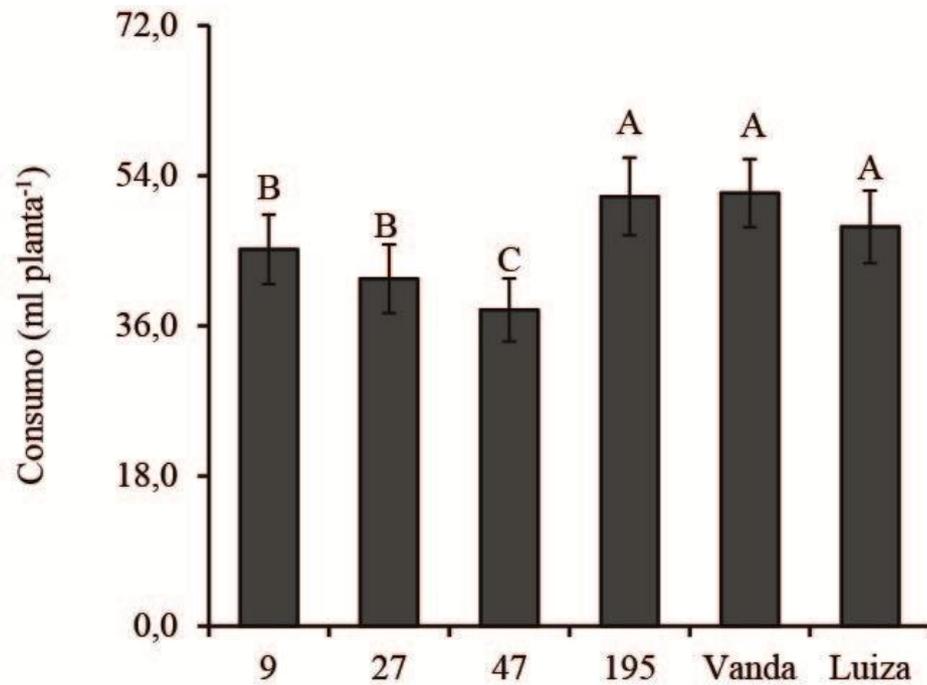


Figura 15. Consumo de água de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D por 10 dias. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Coeficiente de variação: CV (%) 19,60.

Em relação à eficiência no uso da água, a variedade Luiza foi a mais eficiente, pois consumiu cerca de 750 ml de água para produzir um grama de massa seca. Já as linhagens 9 e 27 apresentaram menor eficiência, ou seja, precisaram consumir muito mais água, cerca de 1.200 ml, para a mesma produção de massa seca (Figura 16). A eficiência está relacionada com a quantidade de água que é consumida pela planta para a produção de massa. Sendo assim, Luiza foi mais eficiente e o seu ganho de massa também foi maior. Houve correlação positiva de 83% entre a eficiência no uso da água e altura final da planta (Figura 18).

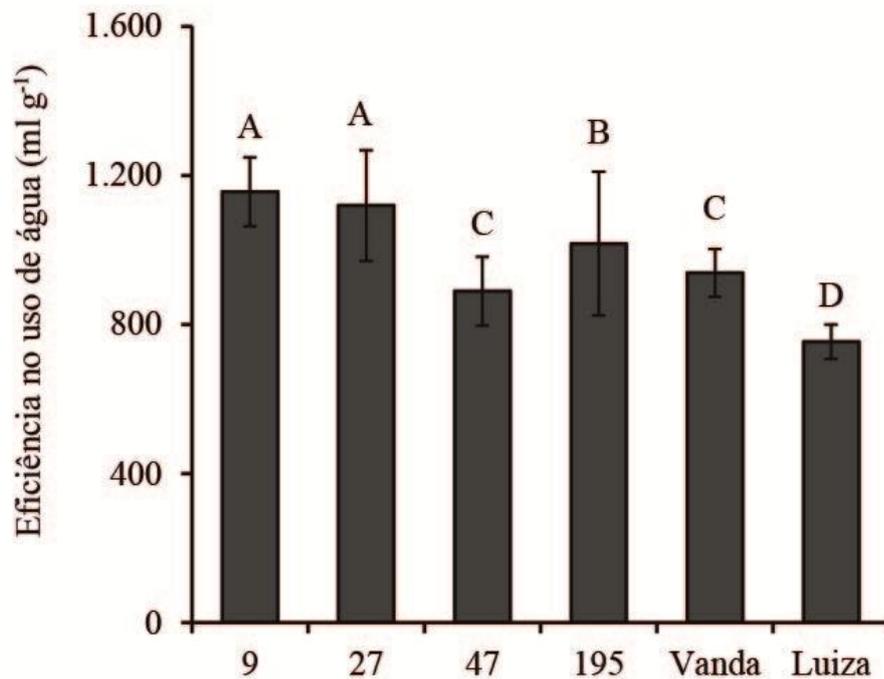


Figura 16. Eficiência no uso de água de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D. por 10 dias. UFSCar, Araras-SP, 2019. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos, de acordo com o Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para verificar a relação existente entre as variáveis analisadas neste estudo, realizou-se uma análise de componentes principais (ACP) ou Principal Component Analysis (PCA). Verificou-se que 76,7% da variação dos dados ser explicada por essa PCA (Figura 17). A direção das setas indica a correlação entre as variáveis analisadas, sendo assim quando estão paralelas possuem um indicativo de correlação positiva, quando estão em direção opostas existe então uma correlação negativa, ou seja, a medida que uma variável aumenta a outra diminui. Quando as setas fazem um ângulo de 90° não existe nenhum tipo de correlação entre as variáveis.

Vanda e a linhagem 195 relacionam-se com maiores valores de consumo de água com a massa fresca final, variáveis estas que possuem alta correlação positiva, portanto quanto mais massa fresca foi produzida maior foi o consumo de água.

Existe uma correlação negativa entre o teor de clorofila, área foliar inicial e final com a massa fresca inicial, a massa seca inicial e a altura final, isso quer dizer que a medida que uma variável aumenta a outra diminui.

O consumo de água não tem correlação com o teor de clorofila, isso é explicado pela PCA e pode ser observada na figura citada, pois o consumo de água e o teor de clorofila tanto inicial como final formam um ângulo de 90°.

As variáveis área foliar inicial e final, clorofila inicial e final e o número de folhas final são favorecidas pela variedade Luiza, ou seja, todas essas variáveis apresentam maiores valores para esta cultivar.

A linhagem 195 e a cultivar Vanda apresentaram os maiores valores de consumo de água, ganho de massa, massa fresca e seca final, e isso pode ser observado na figura abaixo também, pois todos os vetores estão próximos.

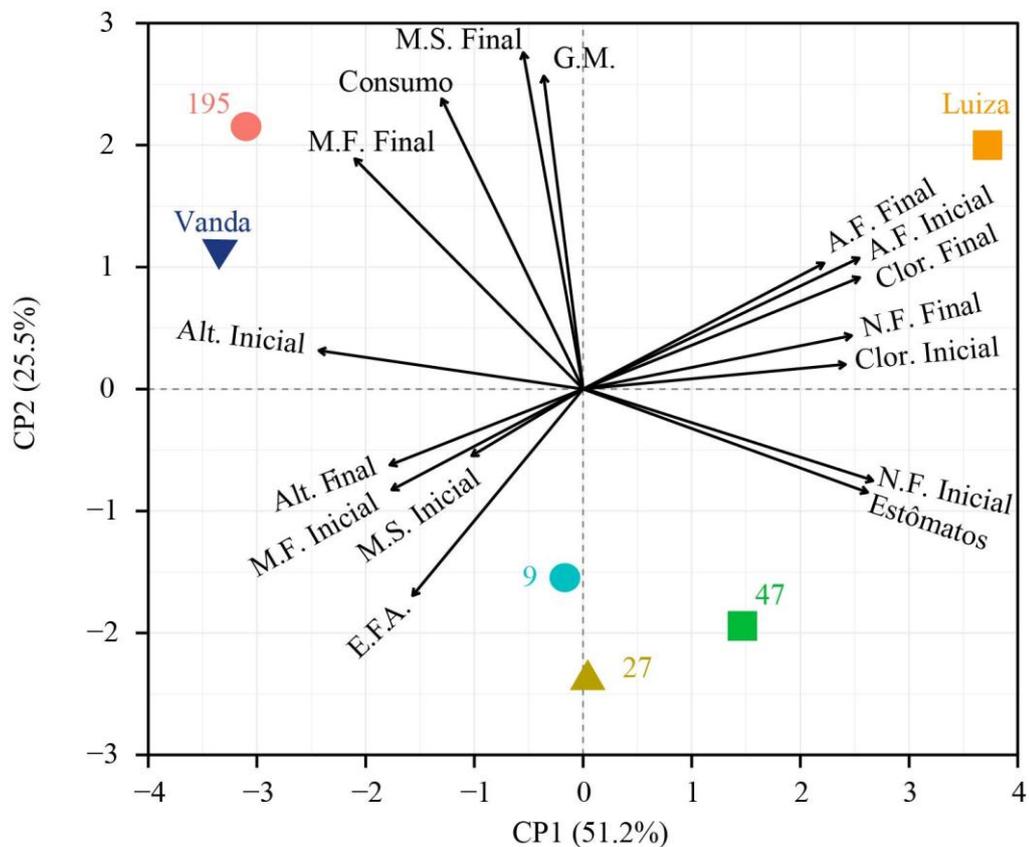


Figura 17. Análise de componentes principais (APC) de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D por 10 dias; CP1: Componente principal 1. CP2: Componente principal 2. UFSCar, Araras-SP, 2019.

No gráfico de correlação de Pearson (Figura 18) foi possível observar mais uma vez todas as correlações existentes entre as variáveis estudadas, elipses mais estreitas significam maior porcentagem de correlação e com asterisco significa que são significativas a 5% de probabilidade. Para a construção dessa análise foram utilizadas as médias de todas as variáveis.

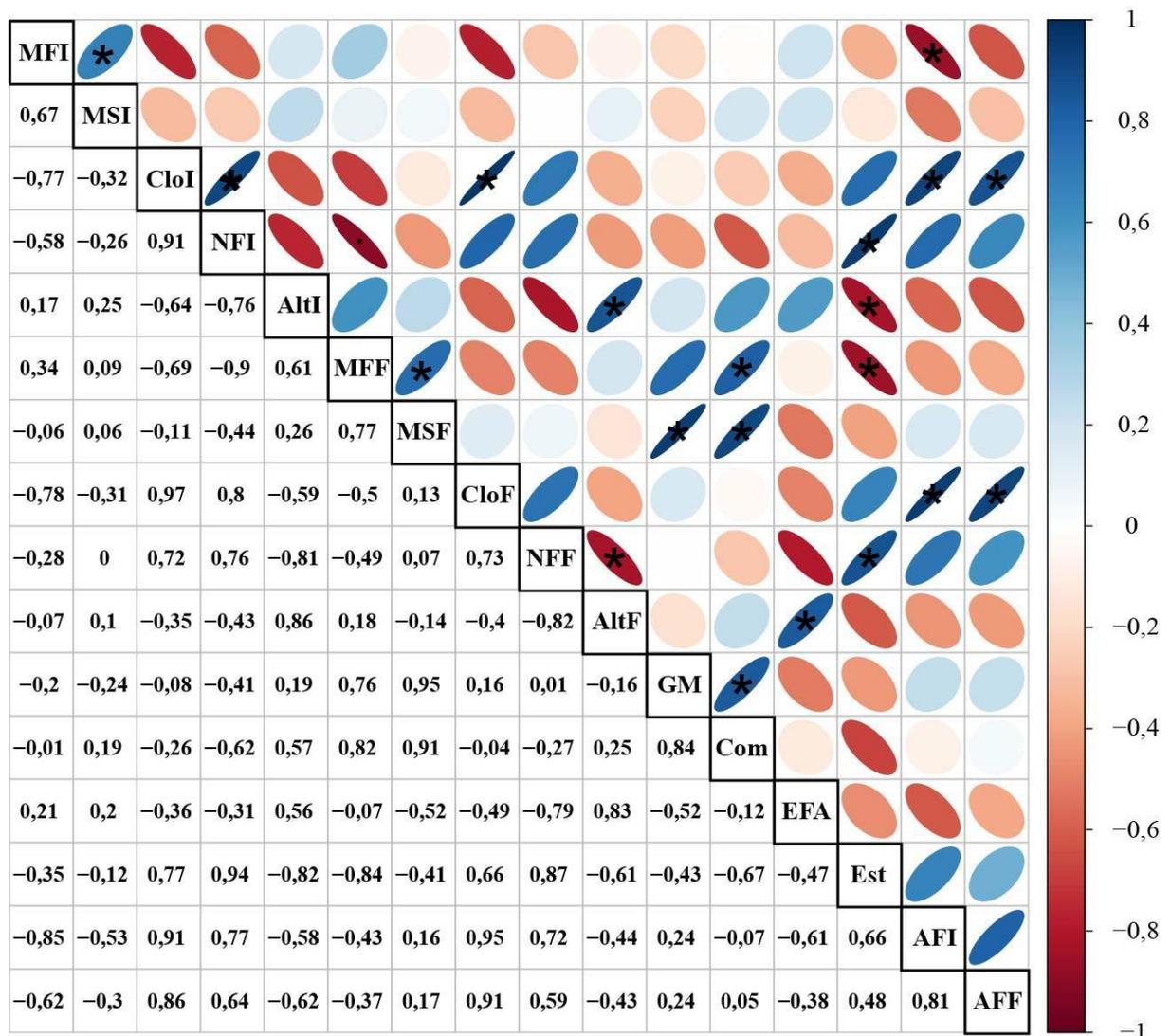


Figura 18: Gráfico de correlação de linhagens e variedades de alface cultivadas em B.O.D por 10 dias. UFSCar, Araras-SP, 2019.

5. CONCLUSÕES

- O teor de clorofila não teve relação com o consumo de água pelas plantas de alface, mas influenciou na sua produção de massa. Genótipos com maior teor de clorofila apresentaram menor produção de massa.
- O consumo de água teve uma correlação positiva com a produção de massa fresca final, massa seca final e conseqüentemente com o ganho de massa.
- Das linhagens de alface, a que mais se aproximou das variedades comerciais em termos de massa fresca e ganho de massa foi a linhagem 195, mostrando ser uma linhagem com alto potencial.
- Os maiores números de folhas foram obtidos nos genótipos 09, 27 e Luiza.
- Foi verificado uma relação entre o teor de clorofila e a produção de massa pelas plantas de alface. Sendo assim este parâmetro deveria ser utilizado nos programas de melhoramento genético, pois é um parâmetro de avaliação rápido e não destrutivo.

7. LITERATURA CITADA

BHATLA, SC; MANJU, AL. 2018. Plant physiology, development and metabolism. Singapore: Springer. 1237p.

BLOCH, D; HOFFMANN, CM; MARLANDER, B. Impact of water supply on photosynthesis, water use and carbon isotope discrimination of sugar beet genotypes. *Europ. J. Agronomy* 24 (2006) 218–225

CASSETARI, L. **Teor de clorofila e Beta caroteno em cultivares e variedades de alface.** Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Fitotecnia. Universidade Federal de Lavras, Lavras MG, 2012.

CARDOSO, SS; GUIMARÃES, MA; LEMOS NETO, HS; TELLO, JPJ; DOVALE, JC. 2018. Morphological and productive aspects of lettuce in low altitude and latitude. **Revista Ciência Agronômica** 49: 644-652.

CECCHERINI, Guilherme José; LIMA, Tiago José Leme de; SALA, Fernando César. Different tray cell volumes for lettuce grown in conventional and hydroponic system. **Cienc. Rural, Santa Maria** , v. 50, n. 1, e20190491, 2020 .

CONTI, J. H.; TAVARES, F. C..A. Alterações fenotípicas em cultivares de alface selecionadas para calor. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 159-163, Nov. 2000.

COSTA, J. B.; SALA, F. C.; CAMPOS, M. B. S.; CUBA, R. S. Efeito do tipo de perfil na produção de alface em sistema hidropônico sob telado. **Revista Hidroponia**, Araras, v. 25, n. 8, p.18-20, 2014.

COSTA C. P; SALA F. C. A evolução da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, jan 2005.

DIAMANTE, M. S.; SEABRA JÚNIOR, S.; INAGAKI, A. M.; SILVA, M. B.; DALLACORT, R. Produção e resistência ao pendoamento de alfaces tipo lisa cultivadas sob diferentes ambientes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 133-140, 2013.

DOUGLAS, James Sholto. **Hortas sem terra: como crescem as plantas**. In.: Hidroponia: cultura sem terra. 1. ed. São Paulo: Nobel, 1987. p. 9-15.

ECHER, R.; LOVATTO, P. B.; TRECHA, C. O.; SCHIEDECK, G. Alface à mesa: implicações socioeconômicas e ambientais da semente ao prato. **Revista Thema**, v. 13, n. 3, 2016.

EMBRAPA. **Desempenho produtivo de cultivares de alface crespa**. Boletim técnico de pesquisa e desenvolvimento, n. 19, 2013.

EVANS, JR. 1988. Acclimation by the thylakoid membranes to growth irradiance and the partitioning of nitrogen between soluble and thylakoid proteins. **Australian Journal of Plant Physiology** 15: 93–106.

FALKER. **Clorofilog medidor eletrônico de teor de clorofila**. Disponível em: <<http://www.falker.com.br/produto-clorofilog-medidor-clorofila.php>>. Acesso em: 18 maio 2018.

FERREIRA, E. B., CAVALCANTI, P. P., NOGUEIRA, D. A. ExpDes: Experimental Designs package. R package version 1.1.2, 2013. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=ExpDes>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

FERRUZZI, MG; BLAKESLEE, J. 2007. Digestion, absorption, and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives. **Nutrition Research** 27: 1-12.

FOX, J. e WEISBERG, S. . An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage, 2011. Disponível em: <<http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

FURLANI, P. R. Hydroponic vegetable production in Brazil. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 481, n. 2, p. 777-778, 1999.

FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 1 - Conjunto hidráulico**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/hidroponiap1/index.htm>. Acesso em: 2/8/2020

GAUTHIER-JAQUES, A; BORTLIK, K; HAU, J; FAY, LB. 2001. Improved method to track chlorophyll degradation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 49: 1117-1122.

GROSS, J. 1991. **Pigments in vegetables, chlorophylls and carotenoids**. New York: Van Nostrand Reinhold. 351p.

HINKLE, DE; WIERSMA, W; JURIS, SG. 2002. Applied statistics for the behavioral sciences. Boston: Houghton Mifflin. 288p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Senso Agropecuário Ano de 2017**. Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>> Acesso em: 10 Jul 2019.

IEA - Instituto de economia agrícola. **Estatísticas da Produção Paulista ano base 2016**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/index.php>>. Acesso em: 10 Out. 2019.

JOHKAN, M; SHOJI, K; GOTO, F; HASHIDA, S; YOSHIHARA, T. 2010. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. **HortScience** 45: 1809-1814.

KASSAMBARA, A. e MUNDT, F. Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.5, 2017. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950.

HUNG, K. T.; KAO C. H. Lipid peroxidation in relation to senescence of maize leaves. **Journal of Plant Physiology**, v. 150, n. 3, p. 283-286, 1997.

KING, G. A.; MORRIS, S. C. Early compositional changes during postharvest senescence of broccoli. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 119, n. 5, p. 1000-1005, 1994.

LANFER-MARQUEZ, U. M. O papel da clorofila na alimentação humana: uma revisão. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 39, n. 3, jul./set., 2003.

LE, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, 25(1), 1-18, 2008.

LIMA, MC; AMARANTE, L; MARIOT, MP; SERPA, R. 2011. Crescimento e produção de pigmentos fotossintéticos em *Achillea millefolium* L. cultivada sob diferentes níveis de sombreamento e doses de nitrogênio. **Ciência Rural** 41: 45-50.

LIMA, T. J. L. et al., Volume of cells on trays influences hydroponic lettuce production. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, Vitoria da Conquista, jul/set 2018.

Mapeamento e quantificação da cadeia produtiva de hortaliças, Brasília, 2017. Disponível em:

<http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/mapeamento_e_quantificacao_da_cadeia_de_hortaliças.pdf>. Acesso em: 25 jul 2018.

MAPA – Ministério da agricultura pecuária e abastecimento. 2001. Disponível em:<<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/protecao-de-cultivar/oleriolas>>. Acesso em: 07 Out. 2019.

MARTINEZ, H. E. P; SILVA, J. B. S. **Introdução ao cultivo de plantas**. Viçosa: Ufv, 1997. 52 p.

MARTINEZ, H. E. P. **Manual prático de hidroponia**. 1. ed. Brasil: Aprenda Facil, 2006. 271 p.

MELLO, S. C. **Cultivo hidropônico de hortaliças**. Piracicaba: Departamento de Produção Vegetal, Esalq/usp, 2016. 90 slides, color. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/carpen2/cultivo-hidroponico-de-hortaliças>. Acesso em: ago. 2020.

MOREIRA, S. H. **A cultura sem a terra: vade mecum da nutricao pelas hidropônicas**. 1. ed. Arte e Produção, 1985. 53 p.

OLIVEIRA, F. A.; CARRILHO, M. J. S. O.; MEDEIROS, J. F.; MARACAJÁ, P. B.; OLIVEIRA, M. K. T. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.8, p.771–777, 2011.

- PURQUERIO, L. F. V.; MORAES, C. C.; FACTOR, T. H.; CALORI, AH. 2018. **Bioeconomia: promoção da horticultura urbana do século XXI**. O Agrônomo 70: 6-19. (Boletim técnico-informativo IAC). Disponível em: <<http://www.urbanfarming.com.br/files/Bioeconomia-O-agronomico-2017--1-.pdf>> . Acesso em 30 de julho de 2020.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2018. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- ROSA, AM; SEÓ, HLS; VOLPATO, MB; FOZ NV; SILVA, TC; OLIVEIRA, JLB; PESCADOR R; OGLIARI, JB. 2014. Production and photosynthetic activity of Mimosa Verde and Mimosa Roxa lettuce in two farming systems. **Revista Ceres** 61: 494-501.
- RESH, H. M. **Hydroponic food production**. 3. ed. Santa Barbara: Woodbridge Press, 1985. 384 p.
- REY, P.; PRUVOT, G.; GILLET, B.; PELTIER, G. Molecular chracterization of two chloroplastic proteins induced by water deficit in *Solanum tuberosum* L. plants: involment in the response to oxidative stress. In: Smallwood, M.F.; Calvert, C.M.; Bowles, D.J. (eds.). **Plant responses to environmental stress**, p. 145-152. Oxford, BIOS Scientific Publishers, 1999.
- SALA, F. C; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p.187-194, jun. 2012.
- SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W.; SALGADO, L. T.; PEREIRA, P. C. Desempenho de cultivares de alface para cultivo hidropônico no verão e no inverno. **Científica**, Jaboticabal, v. 37, n. 2, p. 98-106, jan. 2009.
- SEGANFREDO, R.; FINGER, F. L.; BARROS, R. S.; MOSQUIM, P. R. Influência do momento de colheita sobre a deterioração pós-colheita em folhas de taioba. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 184-187, nov 2001.
- SHIOI, Y.; MASUDA, T.; TAKAMIYA, K.; SHIMOKAWA, K. Breakdown of chlorophylls by soluble proteins extracted from leaves of *Chenopodium album*. **J. Plant Physiology**, Jena, v.145, p.416-421, 1995.
- SILVA, E; FERREIRA, EA; FERREIRA, MR. 2016. **Desempenho da alface americana sob a aplicação de adubos químico e orgânico**. Ciencia et Praxis 9: 21-24.
- SILVA, A. P. P; MELO, B. HIDROPONIA. 2016. Disponível em: <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/hidropo.htm>>. Acesso em: 20 julho de 2020.
- SILVEIRA, F. C. G. **Desempenho de genótipos de alface-crespa em diferentes ambientes de cultivo, no município de Igarapava-SP**. 2016. 34 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Unesp, Igarapava-sp, 2016.
- SMIRNOFF, N. Metabolic flexibility in relation to the environment. In: **Environment and plant metabolism: flexibility and acclimation**. Oxford: Bios Scientific publishers, p. 1-13, 1995.
- SOUZA, Priscila F de et al. Physiological differences of 'Crocantela' lettuce cultivated in conventional and hydroponic systems. **Horticultura Brasileira**, Vitoria da Conquista , v. 37, n. 1, p. 101-105, Mar. 2019

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As Clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.748-755, mai-jun, 2005

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

TAIZ, L; ZEIGER, E; MØLLER, IM; MURPHY, A. 2017. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Porto Alegre: Artmed. 858p.

THOMPSON, JF. 2004. **Precooling and storage facilities**. Agriculture Handbook 66. Washington: USDA. 130p

VILELA, N. J.; LUENGO, R. F. A. Produção de Hortaliças Folhosas no Brasil. **Campo & Negócios, Hortifruti**, Uberlândia, ano XII, n. 146, ago 2017.

WANG, J; LU, W; TONG, Y; YANG, Q. 2016. Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light. **Frontiers in Plant Science** 7: 1-10.

Apêndice a. Resumo da análise de variância

Fatores	G.L.	Quadrado médio					
		C.P.A.	C.R.	N.F.T.	C.C.	D.C.	M.F.P.A.
Var.	11	16,120**	76,504**	93,408**	5,357**	0,271**	6607.4**
Bloco	3	6,515**	0,401 ^{ns}	29,130**	0,106 ^{ns}	0,039 ^{ns}	347.1 ^{ns}
Resíduo	33	0,763	12,235	4,714	0,497	0,017	474.0
CV (%)		3,72	8,31	7,94	11,30	5,82	9,21

Fatores	G.L.	Quadrado médio					
		Clo Total	M.F.R.	M.S.P.A.	M.S.R.	Clor. A	Clor. B
Var.	11		82,331**	7,335**	0,761**	110,163**	15,483**
Bloco	3		60,619*	3,172 ^{ns}	1,639**	6,157 ^{ns}	1,130 ^{ns}
Resíduo	33		17,763	1,479	0,203	7,112	0,992
CV (%)			8,56	10,82	12,02	10,91	20,34

Fatores: Fatores incluídos na análise de variância; G.L.: Número de graus de liberdade; Var.: Variedades estudadas; Bloco: Efeito dos blocos; Resíduo: Resíduo da análise de variância; CV: Coeficiente de variação referente a cada variável analisada; C.P.A.: Comprimento da parte aérea; C.R.: Comprimento da raiz; N.F.T.: Número de folhas totais; C.C.: Comprimento do caule; D.C.: Diâmetro do caule; M.F.P.A.: Massa fresca da parte aérea; Clo. Total: Clorofila total (somatório da clorofila a e b); M.F.R.: Massa fresca da raiz; M.S.P.A.: Massa seca da parte aérea; M.S.R.: Massa seca da raiz; Clor. A.: Clorofila A; Clor.B: Clorofila B; **: significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *: significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ^{ns}: efeito não significativo ($p > 0,05$)

Apêndice b. Resumo da análise de variância

Fatores	G.L.	Quadrado médio				
		M.F. [√]	M.S. [√]	Clor.	N.F.	Alt.
Cond.	1	40,559**	0,848**	112,00*	241,736**	1.857,31**
Resíduo 1	58	0,230	0,106	18,39	2,640	11,67
Var.	5	0,132**	0,007**	2007,08**	21,289**	43,25**
Cond.*Var.	5	0,081**	0,006**	95,79**	3,076**	6,07**
Resíduo 2	290	0,023	0,001	6,65	0,695	1,09
CV 1 (%)		40,92	37,06	22,79	28,68	37,68
CV 2 (%)		12,84	13,53	13,71	14,72	11,53

Fatores: Fatores incluídos na análise de variância; G.L.: Número de graus de liberdade; Var.: Variedades estudadas; Cond.: Condições (Inicial e Final); Cond.*Var.: Interação entre as condições e as variedades estudadas; Resíduo1: Resíduo associado a parcela (Condição); Resíduo 2: Resíduo associado entre a interação da parcela e sub-parcela; CV 1: Coeficiente de variação referente a parcela; CV 2: Coeficiente de variação referente a sub-parcela; M.F.: Massa fresca; M.S.: Massa seca; Clor.: Clorofila; N.F.: Número de folhas; Alt.: Altura das plantas; [√]: Transformação dos dados por raiz quadrada para atender as pressuposições da análise de variância; **: significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *: significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Fatores	G.L.	Quadrado médio – Área foliar [√]
Cond.	1	320,83**
Resíduo 1	28	11,71
Var.	5	12,57**
Cond.*Var.	5	4,48**
Resíduo 2	140	0,81
CV 1 (%)		41,48
CV 2 (%)		37,16

Fatores: Fatores incluídos na análise de variância; G.L.: Número de graus de liberdade; Var.: Variedades estudadas; Cond.: Condições (Inicial e Final); Cond.*Var.: Interação entre as condições e variedades estudadas; Resíduo1: Resíduo associado a parcela (Condição); Resíduo 2: Resíduo associado a interação entre a a parcela e sub-parcela; CV 1: Coeficiente de variação referente a parcela; CV 2: Coeficiente de variação referente a sub-parcela; [√]: Transformação dos dados por raiz quadrada para atender as pressuposições da análise de variância; **: significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Apêndice d. Resumo da análise de variância

Fatores	G.L.	Quadrado médio		Fatores	G.L.	Quadrado médio		
		Estômatos				G.M. [√]	Con.	E.F.A. ^{log}
Var.	5	61,644**		Var.	5	0,021**	4.914,0**	0,126*
Resíduo	42	3,850		Resíduo	174	0,006	81,3	0,045
CV (%)		24,72		CV (%)		35,62	19,60	7,08

Fatores: Fatores incluídos na análise de variância; G.L.: Número de graus de liberdade; Var.: Variedades estudadas; Resíduo: Resíduo da análise de variância; CV: Coeficiente de variação referente a cada variável analisada; Estômatos: Quantidade de estômatos; G.M.: Ganho de massa por planta; Con.: Consumo de água por planta; E.F.A.: Eficiência no uso de água pelas plantas; [√]: Transformação dos dados por raiz quadrada para atender as pressuposições da análise de variância; ^{log}: Transformação dos dados por logaritmo na base 10 para atender as pressuposições da análise de variância **; significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *: significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).