

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Sávio Duarte Lopes Cavalcanti

Termografia por infravermelho para determinação da temperatura de bandejas
na produção de alface

RECIFE - PE
FEVEREIRO - 2016

**TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO PARA DETERMINAÇÃO DA
TEMPERATURA DE BANDEJAS NA PRODUÇÃO DE ALFACE**

SÁVIO DUARTE LOPES CAVALCANTI

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **Héilton Pandorfi**

Coorientador: Prof. Dr. **Roberto de Albuquerque Melo**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em engenharia de água e solo, como requisito para obtenção do título de Mestre.

RECIFE
Estado de Pernambuco - Brasil
Fevereiro - 2016

Ficha catalográfica

C376t Cavalcanti, Sávio Duarte Lopes
Termografia por infravermelho para determinação da
temperatura de bandejas na produção de alface / Sávio Duarte
Lopes Cavalcanti. – Recife, 2016.
81 f. : il.

Orientador: Héilton Pandorfi.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia
Agrícola, Recife, 2016.

Inclui referências, anexo(s) e apêndice(s).

1. *Lactuca sativa* L. 2. Ambiente 3. Cultivo protegido
I. Pandorfi, Héilton, orientador II. Título

CDD 631

**TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO PARA DETERMINAÇÃO DA
TEMPERATURA DE BANDEJAS NA PRODUÇÃO DE ALFACE**

Sávio Duarte Lopes Cavalcanti

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora em:

____/____/____

Orientador:

Dr. Héilton Pandorfi
Departamento de Engenharia Agrícola - UFRPE

Examinadores:

Dr^a. Cristiane Guiselini
Departamento Engenharia Agrícola - UFRPE

Dr. Dimas Menezes
Departamento de Agronomia - UFRPE

Dr. Roberto de Albuquerque Melo
Departamento de Agronomia - UFRPE

RECIFE-PE
FEVEREIRO, 2016

A minha família, avó, irmãs, tios e tias, primos e primas, pelo apoio, estímulo, amor e dedicação para que eu chegasse até aqui.

Dedico

Aos meus pais Silvio e Marilene, Epitácio e Silvia pelo referencial de ética, pela paciência, confiança e amor, dedicados durante minha vida.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me concedido todas as oportunidades de crescimento profissional e pessoal na minha vida, por ter me dado forças para nunca desistir de lutar pelo que busco e sonho.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pelo acolhimento em toda minha trajetória, fundamental ao meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao orientador professor Dr. Héilton Pandorfi, pessoa que passei a admirar. Agradeço pela qualidade na orientação, imprescindível ao trabalho, por acreditar em mim e em nosso trabalho em todas as horas e pelos ensinamentos que me servirão para o resto da vida.

À professora Dra. Cristiane Guiselini pela amizade, paciência, ensinamentos, críticas e sugestões, por ter me apoiado e acreditado em meu potencial desde o início da minha trajetória acadêmica.

Ao amigo e coorientador Professor Dr. Roberto Melo de Albuquerque pela colaboração e conselhos.

Ao professor Dr. Dimas Menezes pelo apoio e ensinamentos e por ter sempre cedido seu espaço para que nós pudéssemos realizar nossas pesquisas.

À Rochele Sheila Vasconcelos, pelo amor, paciência, carinho, compreensão e dedicação, por estar nos momentos difíceis ao meu lado me apoiando e incentivando.

Aos estagiários Andrey, Dávilla, Gilvan e Vitória e amigos Luiz e Jairo pela valiosa ajuda e contribuição na execução deste trabalho.

Aos amigos Fabian e Fernando pela disponibilidade, sempre que precisei, auxiliando na execução deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos do curso, pelo companheirismo e lealdade no decorrer do curso, em especial, Miguel, Luiz, Jairo, Aline, Breno, José Eduardo.

Ao Professor Dr. Ênio Farias França e Silva e Raquele Mendes pela concessão dos dados da estação meteorológica.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pelos ensinamentos transmitidos com seriedade e compromisso.

Meu grande agradecimento à toda equipe que compõe o Grupo de Pesquisa em Ambiência (GPESA) pelo convívio, críticas, apoio, amizade e pelos momentos de descontração.

Aos professores, pela disponibilidade para participação na banca examinadora.

À minha família serei eternamente grato por todo o carinho, amor e paciência que sempre nutriram por mim e o demonstrando a cada segundo. Leais, corajosos, amorosos, amo vocês e sem seu apoio eu jamais completaria este trabalho.

Finalmente, a todos que, direta ou indiretamente participaram de todos os momentos vividos nessa jornada, minha eterna gratidão.

Muito Obrigado!

“Seu trabalho vai preencher uma grande parte da sua vida, e a única maneira de ficar realmente satisfeito é fazer o que você acredita ser um ótimo trabalho. E a única maneira de fazer um excelente trabalho é amar o que você faz.”

Steve Jobs

TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE BANDEJAS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE

Autor: SÁVIO DUARTE LOPES CAVALCANTI

Orientador: Prof. Dr. HÉLITON PANDORFI

Coorientador: Prof. Dr. ROBERTO DE ALBUQUERQUE MELO

RESUMO

Esta pesquisa foi realizada em Recife – PE, em ambiente protegido, com o objetivo de avaliar a variação da temperatura de bandejas na produção de mudas de alface e sua influência na qualidade das mudas e no produto final. Foram utilizadas duas cultivares de alface: Solaris e Vanda. As bandejas empregadas foram constituídas por poliestireno expandido, polipropileno convencional (preto), polipropileno pintado de branco e polipropileno pintado de cinza. Para o monitoramento micrometeorológico interno e externo ao ambiente protegido foram utilizadas duas dataloggers equipadas com sensores que permitiram o registro dos dados de temperatura do ar (T_{ar} , °C), umidade relativa do ar (UR, %) e radiação solar global (R_g , MJ m⁻² dia⁻¹). O registro da temperatura das bandejas e da superfície do substrato foi obtido por meio de imagens térmicas, a partir de um termovisor por infravermelho. O monitoramento da temperatura do substrato foi realizado por um mini datalogger, com termistores inseridos nas células das bandejas. A avaliação biométrica e da qualidade das plantas foi realizada em duas etapas. A primeira etapa aos 24 dias após a semeadura, com aferição da altura da muda, diâmetro do coleto, número de folhas, comprimento da raiz, matéria seca da parte aérea, matéria seca da raiz, matéria seca total e índice de qualidade de Dickson. Na segunda etapa, do transplante até a obtenção do produto final (22 dias), foi considerado número de folhas, diâmetro da planta, massa fresca comercial, comprimento do caule, diâmetro do caule e classificação comercial. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2, com três repetições. A bandeja de polipropileno de coloração preta foi a que apresentou a maior temperatura superficial (31,1 °C), seguida pela cinza (30,4 °C), branca (30,0

°C) e isopor (29,3 °C). A temperatura do substrato na bandeja de isopor (27,2 °C) foi maior que as demais, seguido pela bandeja preta (26,8 °C) cinza (26,6 °C) e branca (26,5 °C), respectivamente. A qualidade das mudas e os caracteres agronômicos mais importantes para a comercialização da alface foi proveniente da bandeja branca, sendo o seu emprego, a melhor alternativa para o cultivo da alface. A cultivar Vanda apresentou as melhores respostas produtivas na condição da pesquisa.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L.; ambiência; cultivo protegido

INFRARED THERMOGRAPHY FOR DETERMINING THE TEMPERATURE OF SEEDLING TRAYS OF LETTUCE

Author: SÁVIO DUARTE LOPES CAVALCANTI

Advisor: Prof. Dr. HÉLITON PANDORFI

Joint Supervisor: Prof. Dr. ROBERTO DE ALBUQUERQUE MELO

ABSTRACT

This study was conducted in Recife – PE, under greenhouse conditions, with the aim to evaluate the variation of seedling trays' temperature throughout the production of lettuce seedlings and its influence on the seedlings quality and on the final product. Two lettuce cultivars were used: Solaris and Vanda. The trays are made of expanded polystyrene, conventional polypropylene (black), polypropylene painted white and polypropylene painted gray. In order to perform a micrometeorological monitoring of the internal and external environment to the greenhouse, it was used two dataloggers equipped with sensors which allowed records of air temperature (T_{ar} , °C), relative air humidity (UR, %) and global solar radiation (R_g , $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$). Trays' and substrate surface's temperature were measured by thermal images, using an infrared thermal imager. Substrate temperature monitoring was performed by a mini datalogger, with thermistor sensors inserted into the tray cells. Biometric evaluation and plant quality was performed in two steps. The first one at 24 days after seeding, measuring seedling height, plant collar, number of leaves, root length, aerial part dry matter, root dry matter, total dry matter and Dickson's quality index. On the second step, from transplanting to final product phase (22 days), it was considered the following variables: number of leaves, plant diameter, commercial fresh matter, stalk diameter and commercial classification. It was used a completely randomized design under a factorial scheme of 4 x 2, with three replications. The black-painted polypropylene tray was the one who showed the highest surface temperature (31.1 °C), followed by the gray (30.4 °C), white (30.0 °C) and polystyrene (29.3 °C). The temperature of the substrate in the polystyrene tray (27.2 °C) was higher than the other trays, followed

by the black (26.8 °C), gray (26.6 °C) and white ones (26.5 °C), respectively. Seedlings quality and the most important agronomical characters for lettuce commercialization were derived from the white tray, being its use the best alternative for lettuce cultivation. The cultivar Vanda showed the best production responses under the experiment conditions.

Keywords: *Lactuca sativa* L.; ambience; greenhouse

Sumário

RESUMO.....	viii
ABSTRACT	x
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABELAS	xvi
1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVO GERAL	19
2.1. Objetivos Específicos.....	19
3. REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1. Aspectos da cultura da alface.....	20
3.1.1. Classificação botânica.....	20
3.1.2. Origem e domesticação.....	20
3.1.3. Importância socioeconômica	21
3.2. Efeito da temperatura do ar na cultura da alface	22
3.3. Cultivares de alface adaptadas a regiões quentes	23
3.4. Produção de mudas de alface em ambiente protegido.....	25
3.5. Sistema de cultivo de mudas	26
3.5.1. Variação da temperatura do substrato no cultivo de mudas.....	27
3.6. Termografia por infravermelho.....	29
4. MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1. Localização	31
4.2. Etapa I	32
4.2.1. Descrição do ambiente protegido I	32
4.2.2. Cultivares e produção de mudas em bandejas	33
4.2.3. Instalação e condução da produção de mudas	34
4.2.4. Sistema e manejo da irrigação	35
4.2.5. Variáveis meteorológicas	36
4.2.6. Temperatura superficial da bandeja	37
4.2.7. Temperatura superficial do substrato	38
4.2.8. Temperatura do substrato	39
4.2.9. Avaliação das mudas	40
4.3. Etapa II	41
4.3.1. Descrição do ambiente protegido II	41

4.3.2. Instalação e condução das plantas	42
4.3.3. Sistema e manejo da irrigação	43
4.3.4. Variáveis meteorológicas	43
4.3.5. Avaliação das plantas.....	44
4.4. Delineamento experimental e análise de dados	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5.1. Caracterização micrometeorológica do ambiente protegido (Etapa I)	47
5.2. Temperatura superficial das bandejas.....	50
5.2.1. Temperatura superficial do substrato	52
5.2.2. Temperatura do substrato	53
5.3. Biometria e qualidade das mudas.....	59
5.4. Caracterização micrometeorológica do ambiente protegido (Etapa II)	62
5.5. Biometria e classificação comercial da alface.....	65
6. CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica da área experimental.....	32
Figura 2 - Ambiente protegido utilizado na primeira etapa experimental.....	33
Figura 3 - Esquema de distribuição dos tratamentos na plataforma de cultivo.	33
Figura 4 - Bandejas de cultivo de mudas avaliadas: bandeja de polipropileno branca (1); bandeja de polipropileno preta (2); bandeja de poliestireno (3) e bandeja de polipropileno cinza (4).	34
Figura 5 - Bancada de cultivo equipada com o sistema de sub-irrigação.	36
Figura 6 - Imagem térmica com a indicação da área selecionada na lateral da bandeja e os parâmetros de entrada para ajuste da temperatura superficial.....	38
Figura 7 - Imagem térmica com a indicação das áreas selecionadas da superfície do substrato e os parâmetros de entrada para ajuste da temperatura superficial.....	39
Figura 8 - Termistores inseridos no substrato das células de cultivo.	40
Figura 9 - Ambiente protegido utilizado na segunda etapa experimental.....	42
Figura 10 - Esquema da distribuição dos tratamentos no cultivo em sistema hidropônico.	43
Figura 11 - Variação média horária da temperatura do ar (A) e relação funcional entre temperatura média diária no interior do ambiente protegido e no ambiente externo (B).....	48
Figura 12 - Limite trófico para mudas de alface e variação da radiação solar global (Rg) no ambiente protegido e no ambiente externo.	49
Figura 13 - Médias diárias da umidade relativa do ar (%) no ambiente protegido, no ambiente externo e precipitação (mm), etapa I.....	50
Figura 14 - Valores médios diários da temperatura superficial das bandejas.	51
Figura 15 - Variação horária da temperatura superficial das bandejas.	52
Figura 16 - Variação horária da temperatura superficial do substrato.....	53
Figura 17 - Variação média diária da temperatura do ar e do substrato nas bandejas de cultivo.....	54
Figura 18 - Variação média diária da temperatura máxima do ar e do substrato nas bandejas de cultivo.	55
Figura 19 - Variação da temperatura do substrato nas bandejas de cultivo para quatro dias de maior temperatura. A - 06/06, B - 11/06, C - 13/06, e D - 19/06.	56
Figura 20 - Variação da temperatura do substrato nas bandejas de cultivo para os quatro dias de menor temperatura. A - 18/06, B - 22/06, C - 24/06, e D - 25/06.	58

Figura 21 - Relação funcional entre a temperatura do ar (T_{ar}) e a temperatura do substrato na bandeja de isopor (A), na bandeja preta (B), na bandeja cinza (C) e na bandeja branca (D).	59
Figura 22 - Variação média horária da temperatura do ar (A) e relação funcional entre temperatura média diária no interior do ambiente protegido e no ambiente externo (B), na etapa II.....	62
Figura 23 - Limite trófico da alface e variação da radiação solar global (R_g) no interior do ambiente protegido e no ambiente externo.	64
Figura 24 - Médias diárias da umidade relativa do ar (%) no ambiente protegido, no ambiente externo e precipitação (mm), etapa II.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de fertilizantes para preparo de 200 L de solução	35
Tabela 2 - Classificação da alface obtida a partir da massa fresca (g)	45
Tabela 3 - Análise de variância	46
Tabela 4 - Variáveis biométricas e qualidade das mudas para as cultivares de alface	59
Tabela 5 - Variáveis biométricas e qualidade das mudas provenientes das bandejas de cultivo	61
Tabela 6 - Variáveis biométricas da alface para as cultivares.....	66
Tabela 7 - Classificação comercial das cultivares de alface seguindo o Programa Brasileiro de Normas de Classificação	66
Tabela 8 - Variáveis biométricas da alface proveniente das bandejas.....	67
Tabela 9 - Classificação comercial das alfaces provenientes das bandejas seguindo o Programa Brasileiro de Normas de Classificação.	68

1. INTRODUÇÃO

A cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) possui um sistema produtivo consolidado, entretanto, ainda existe uma série de empecilhos ao seu cultivo nas condições brasileiras. O clima tropical é o principal desses entraves, pois a cultura em evidência possui baixa tolerância à elevada temperatura do ar, associada à alta disponibilidade de radiação solar (SALA; COSTA, 2012).

A alface consiste na hortaliça folhosa mais consumida e plantada no Brasil e no mundo, considerada a primeira na classificação das dez mais importantes hortaliças folhosas em termos de valor econômico, isso tanto pela alta característica nutritiva, sabor agradável ao paladar, quanto pelo baixo valor de aquisição (HENRIQUE et al., 2012). Por este motivo, o entendimento dos aspectos de sua produção é extremamente importante. É uma planta originária de clima temperado, tendo a estação de inverno como a melhor época de cultivo nas regiões tropicais, que alcança neste período a maior produtividade e melhores características comerciais (RYDER, 2002).

Praticamente todas as cultivares de alface desenvolvem-se bem em regiões com temperatura do ar baixa (20 a 25 °C), principalmente no período de crescimento vegetativo da planta. As elevadas temperaturas do ar ocasionam a antecipação do ciclo vegetativo da cultura, resultando em plantas menores com pendoamento precoce, o que estimula a produção de látex, tornando o sabor das plantas adstringente, inviabilizando a sua comercialização (SUINAGA, 2014).

A alta disponibilidade de radiação solar promove o aumento da temperatura do solo, que causa estresse à planta, acelera o metabolismo, dificulta a absorção de nutrientes e retarda o desenvolvimento radicular (SANTOS et al., 2010). Todavia, devido ao crescente aumento na demanda por essa hortaliça, faz-se necessário a atenuação dos elementos meteorológicos e o emprego de recursos que minimizam a ação dos agentes estressores, como o cultivo protegido, que promove o aumento na quantidade e qualidade do produto final (COSTA et al., 2012).

A qualidade final de um produto agrícola é resultado de diversos fatores, entre eles o desenvolvimento de mudas mais vigorosas, por se tratar de uma das etapas de maior importância na produção, com efeito direto no ciclo e na produtividade da

cultura. Nesse contexto, o cuidado com o recipiente de cultivo é essencial para obtenção de plantas de alta qualidade, pois afeta diretamente o crescimento e a arquitetura do sistema radicular, que por sua vez influencia a capacidade de absorção de nutrientes, o tempo de colheita e o número de ciclos possíveis por ano (CARMELLO, 2010).

Os recipientes mais utilizados na produção de mudas de alface são bandejas multicelulares com diferentes tamanhos. Para maximização da produção de mudas no viveiro utilizam-se células com o menor volume possível, acarretando em restrição ao desenvolvimento radicular, o que interfere diretamente no crescimento, fotossíntese, absorção de nutrientes e água, florescimento, bem como na produtividade final (MINAMI, 2010).

Nas últimas décadas novas ferramentas e técnicas têm sido introduzidas na agropecuária, uma dessas ferramentas é a termografia por infravermelho que tem sido largamente utilizada para identificação de várias anormalidades nos sistemas de produção (PANDORFI et al., 2012). Alguns autores como Guiselini et al. (2012) e Cavalcanti et al. (2011), utilizaram a termografia por infravermelho para mapear a distribuição da temperatura na superfície de bandejas de produção de mudas e a ferramenta forneceu descrição detalhada da temperatura, o que auxiliou na identificação da melhor bandeja para as condições climáticas de Recife, PE.

A termografia por infravermelho, aliada aos conhecimentos de propriedades físicas dos materiais, microclima local e índices de produtividade são informações úteis para a readequação dos materiais utilizados nas bandejas de produção de mudas de alface.

Na produção de mudas de alface tem-se utilizado bandejas de poliestireno expandido, todavia, observa-se a preferência de alguns produtores pela utilização de bandejas de polipropileno, por apresentar melhor custo benefício. Em algumas regiões do país, o emprego dessas bandejas, tem apresentado mudas de baixa qualidade, devido à alta susceptibilidade da cultura às altas temperaturas, que chega a casos extremos de não germinação e/ou morte das plântulas. Não obstante, existem poucos trabalhos que avaliam os tipos de bandejas na produção agrícola, principalmente no que diz respeito às propriedades térmicas dos materiais e sua influência na temperatura do substrato e na superfície das bandejas (TRANI, 2004).

2. OBJETIVO GERAL

Essa pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar a variação da temperatura de bandejas na produção de mudas de alface e sua influência na qualidade das mudas e no produto final.

2.1. Objetivos Específicos

Por outro lado, os objetivos específicos são:

Determinar o efeito da variação da temperatura do substrato em bandejas de diferentes cores e sua influência na qualidade da alface;

Verificar se as cultivares de alface apresentam boa adaptação as condições de cultivo;

Identificar se a bandejas de polipropileno pode substituir a de isopor sem comprometimento no desenvolvimento de mudas de alface.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Aspectos da cultura da Alface

3.1.1. Classificação Botânica

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça folhosa pertencente a família Asteraceae, considerado um grupo bastante heterogêneo, este gênero está representado por diversos tipos de plantas, incluindo anuais, bienais ou perenes; glabras ou pubescentes, com abundante látex; raramente arbustiva rizomatosa; algumas com estolões no subsolo ou com raízes fusiformes e, ou tuberosas (VRIES, 1997; LEBEDA et al., 2004).

É uma planta herbácea, de ciclo anual, delicada, com caule diminuto, ao qual se prendem as folhas, que crescem em roseta, podendo ser lisas ou crespas, podendo ou não formar cabeça, com colorações de verde a roxa, conforme a cultivar. O florescimento desta planta ocorre sob dias longos e temperaturas elevadas (FILGUEIRA, 2008).

3.1.2. Origem e domesticação

A alface cultivada hoje teve com centro de origem a região do Mediterrâneo, onde ainda é encontrada a espécie silvestre que originou as cultivares comerciais, a *Lactuca serriola* (RYDER, 1985).

Os primeiros indícios do cultivo da alface foram encontrados nas tumbas e pinturas egípcias, com a sua introdução na Europa Ocidental no início do século XV, alguns tipos de alface tais como lisa, batávia e romana já tinham sido descritas. Com as expedições de Cristóvão Colombo para o Novo Mundo, a alface, possivelmente, foi introduzida na América. No Brasil, sua disseminação foi feita pelos portugueses no século XVI (AGUIAR et al., 2014).

É a hortaliças mais cultivadas em todo mundo e consiste na folhosa de maior consumo na mesa do brasileiro, apresenta-se como a primeira na lista das dez mais importantes hortaliças em termos de valor econômico. Por este motivo, o

entendimento dos aspectos de sua produção apresenta grande impacto social, nutricional e econômico (HENRIQUE et al., 2012).

3.1.3. Importância socioeconômica

No Brasil tem-se registrado atualmente uma onda de obesidade, o que põe em alerta os organismos de saúde pública e a população, por isso vem-se acendendo com amplitude a busca por hábitos alimentares mais saudáveis, diante disso especialistas assinalam para uma tendência de acréscimo na demanda nacional de hortaliças, favorecendo principalmente as hortaliças folhosas, como a alface. O setor anseia um aumento gradual do consumo, no entanto, a concentração de oferta em determinadas épocas do ano e o clima interferem a sua disponibilidade no mercado (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTALIÇAS, 2014).

A alface é a hortaliças folhosa mais importante economicamente para o Brasil, sendo consumida fresca, na forma de salada ou na ornamentação de pratos. A evolução de cultivares e sistemas de manejo, tratos culturais, irrigação, espaçamentos, técnicas de colheita e conservação pós-colheita impulsionaram o seu cultivo, que tornou a alface a hortaliça folhosa mais consumida no mundo (SUINAGA, 2014).

No Brasil as áreas de produção da alface são geralmente pequenas e devido à alta demanda no país, os produtores são levados a inovar suas técnicas de cultivo para promover o aumento da produtividade e redução dos custos, com segurança de melhor qualidade e menor preço, o que tornam os produtores rurais mais competitivos na busca por um retorno econômico mais satisfatório (SILVA et al., 2013).

Devido a sua alta perecibilidade e pouca resistência a colheita e transporte, sua vida de pós-colheita é pequena, o que faz com que as zonas produtoras desta cultura se concentrem nas áreas metropolitanas, nos chamados cinturões-verdes. Praticamente em todas as regiões do Brasil predominam as alfaces de verão que apresentam atributos de qualidade inferior, como número menor de folhas e cabeças menos compactas (COSTA; SALA, 2012; SIMKO et al., 2015).

O Brasil possui uma área de aproximadamente 35.000 ha plantados com alface e um total de 1,27 milhão de toneladas produzidas e mais de 14 milhões de pés em 2014, caracterizados pela produção intensiva, pelo cultivo em pequenas áreas e por produtores familiares, gerando cerca de cinco empregos diretos por hectare. O principal produtor de alface é o estado de São Paulo que é responsável por 207.060 toneladas em 10.508 ha plantados (CARVALHO et al., 2013; ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTALIÇAS, 2014; DE CARVALHO; SABBAG, 2015).

No Estado de Pernambuco, o cultivo da alface ocorre durante todo ano e sua produção se concentra nos municípios de Vitória de Santo Antão e Chã Grande (CEASA, 2016), no ano de 2012 foram comercializadas no estado cerca de 130 t.mês⁻¹ desta folhosa. Porém, quantidades significativas da produção são negociadas diretamente com cadeias de supermercados, restaurantes, feiras livres, hospitais e lanchonetes, sem passar pela central de abastecimento (SOUZA et al., 2008).

3.2. Efeito da temperatura do ar na cultura da alface

A temperatura do ar caracteriza-se como um fator bioclimático importante, que têm influência direta sobre o ambiente físico que a planta se localiza, operando no funcionamento de processos fisiológicos e produtivos das culturas (ROBERTO; DE SOUZA, 2014).

O ambiente, juntamente com o componente genético são os grandes responsáveis pelas mudanças fisiológicas e morfológicas que acontecem nas plantas, como crescimento, floração e senescência. A ação conjunta do fotoperíodo e da temperatura do ar são os fatores que determinam as mudanças dos estádios de desenvolvimento das plantas, sendo que para diversas espécies de interesse agrícola, a temperatura é o principal elemento meteorológico condicionante do desenvolvimento, interferindo tanto na emissão de folhas quanto na mudança do estágio fenológico (SOUZA et al., 2008; ARAÚJO et al., 2010).

A alface é bastante sensível a condições adversas de temperatura do ar, produzindo melhor nas épocas mais frias do ano (BLAT et al., 2011). Os dias curtos e as temperaturas amenas favorecem a vegetação. Já os dias longos e

temperaturas altas favorecem o florescimento, sendo esse um dos grandes problemas dos produtores de alface no verão ou em regiões de temperatura elevada, que favorecem o pendoamento precoce (SALA; COSTA, 2012).

As temperaturas ideais para produção de folhas e cabeças com qualidade se situam entre 20 e 25 °C (MALDONADE et al., 2014), sendo que temperaturas superiores a 25 °C favorecem o florescimento precoce, antecipando a colheita. O pendoamento precoce provoca o alongamento do caule, reduz o número de folhas, afeta a formação da cabeça e estimula a produção de látex, o que torna o sabor da folha amargo, resultando na colheita de plantas ainda pequenas, com menor peso e número de folhas, depreciando a qualidade do produto final (OKUDA et al., 2014).

As altas temperaturas também dificultam a absorção de alguns nutrientes, como o cálcio; essa baixa absorção de cálcio pela planta pode acarretar no surgimento de necrose nas extremidades das folhas, conhecidas como queima de bordas. Esta deficiência se manifesta tanto em cultivos no campo quanto em ambiente protegido, porém, existe cultivares melhoradas que foram desenvolvidos para regiões de clima quente, mais adaptada a elevada temperatura do ar (BENINNI et al., 2003).

3.3. Cultivares de alface adaptadas a regiões quentes

Para o melhoramento genético desta cultura é de extrema importância o estudo dos efeitos do ambiente, sobretudo da temperatura sobre os caracteres agrônômicos e a forma como esses afetam a qualidade do produto final. A estimação dos efeitos genéticos e ambientais sobre determinado caráter, bem como da herdabilidade e das correlações genéticas são de fundamental importância para o melhoramento de plantas (CRUZ, 2005).

O melhoramento genético moderno da alface concentra-se principalmente no cultivo em condições adversas, especialmente na tolerância a altas temperaturas, na redução do período de cultivo, na baixa necessidade de energia e na redução do conteúdo de nitrato (SOUZA et al., 2008).

No mercado brasileiro de sementes está disponível um número expressivo de cultivares de alface, muitas importadas. O Brasil tem produzido várias cultivares,

principalmente por instituições de ensino e de pesquisa, eventualmente, em associação com empresas de sementes para ofertar aos produtores cultivares de alface “tropicalizadas”, adaptadas às condições prevalentes na maior parte do território nacional, incluindo genótipos com tolerância ou resistência a doenças (BLIND; SILVA FILHO, 2014).

As principais cultivares de alface são classificadas de acordo com as diferenças no formato e tamanho das folhas, no grau de sobreposição e na formação ou não da cabeça (RYDER, 1999). Por outro lado, a cor, o tipo de caule e outros possíveis caracteres possuem pouca influência nesta categorização.

Assim, obtêm-se seis grupos ou tipos de alface, a seguir apresentados (FILGUEIRA, 2008):

Repolhuda-manteiga - apresentam folhas lisas, muito delicadas, formando uma típica cabeça repolhuda, bem compacta. A cultivar típica é a tradicional White Boston, que já foi considerada padrão de excelência em alface, porém com a diversificação nos hábitos de consumo dos brasileiros ela foi substituída por outras cultivares;

Solta-lisa - possui folhas lisas e soltas, mais ou menos delicadas, não formando uma cabeça compacta. A cultivar tradicional é a Verdinha de Vitoria de Santo Antônio;

Repolhuda-crespa (Americana) - as folhas são caracteristicamente crespas, bem consistentes, com nervuras destacadas, formando uma cabeça compacta. É uma alface altamente resistente ao transporte e adequada para o preparo de sanduíches. A cultivar típica é a tradicional Tainá, porém, outras cultivares têm sido desenvolvidas ou introduzidas como a Angelina que é tolerante a altas temperaturas e ao florescimento precoce;

Romana - as folhas são alongadas e consistentes, com nervuras protuberantes, formando cabeças fofas. Alguns exemplos são as cultivares Romana Branca de Paris e Romana Balão;

Mimosa - as folhas são delicadas e com aspecto arrepiado. Alguns exemplos são as cultivares Salad Bowl e Greenbowl;

Solta-crespa - as folhas são bem consistentes, crespas e soltas, não formando cabeça. A cultivar tradicional é a Grand Rapids. Entretanto, das cultivares

modernas destacam-se Mônica, Solaris, Veneranda e Vanda. Pela rusticidade, tolerância a altas temperaturas e florescimento precoce.

3.4. Produção de mudas de alface em ambiente protegido

Proteger as culturas de condições meteorológicas adversas, para melhorar a produção e a qualidade é uma estratégia cada vez mais comum entre os produtores de hortaliças. Os produtores estão usando estruturas de proteção como plásticos agrícolas, que tornam os custos de produção menores e o cultivo mais especializado. Estruturas de proteção para as plantas têm sido utilizadas há séculos por todo o mundo, na tentativa de melhorar a produção (WELLS; LOY, 1985; MINAMI, 2010).

O cultivo em ambiente protegido consiste em uma técnica de produção agrícola que permite a utilização de estruturas que possibilitam o controle micrometeorológico das variáveis temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e vento; esse controle se traduz em ganho de eficiência produtiva, além de reduzir o efeito da sazonalidade (GUISELINI, 2013). Segundo Rebouças et al. (2014) adversidades climáticas prejudicam o rendimento e a qualidade da produção de mudas, reduzindo a rentabilidade, por isso o cultivo em ambiente protegido surge como alternativa para minimização dos prejuízos.

Nas últimas décadas, o cultivo em ambiente protegido trouxe a possibilidade de ajustar o ambiente às plantas e, conseqüentemente, estender o período de produção para outras épocas do ano, mesmo em regiões antes inaptas à agricultura, mas as alterações meteorológicas também podem ser desfavoráveis, causando aquecimento excessivo e ou redução acentuada na luminosidade, o que pode levar à redução da produtividade e da qualidade das plantas (GUISELINI et al., 2010; SAITO, 2013).

A produção de mudas em ambiente protegido apresenta inúmeras vantagens, em relação ao sistema tradicional, como maior precocidade, menor possibilidade de contaminação fitopatogênica, maior relação percentual entre sementes plantadas e mudas obtidas, melhor aproveitamento da área destinada à produção de mudas, maior facilidade na execução de tratamentos culturais, como desbaste, irrigação,

adubação, tratamento fitossanitário, menor estresse por ocasião do transplante e redução do ciclo da cultura no campo (PELIZZA, 2013).

3.5. Sistema de cultivo de mudas

A primeira prática a ser observada no cultivo da alface é a formação de mudas de qualidade, sendo fundamental a escolha do recipiente adequado e do substrato com características físico-químicas que favoreçam o pleno desenvolvimento das raízes em função da adequada retenção de água, boa aeração, alta disponibilidade de nutrientes, ausência de fitopatógenos, baixo custo e longa durabilidade (SILVA; QUEIROZ, 2014).

A escolha do recipiente deve atender aos itens que envolvam o custo, material, tamanho, forma, facilidade de manuseio e peso (MINAMI, 2010). O tamanho do recipiente e o tipo do substrato são os primeiros aspectos a serem investigados para que seja garantida a produção de mudas de boa qualidade. O primeiro afeta diretamente o volume disponível para o desenvolvimento das raízes e o segundo, exerce influência marcante na arquitetura do sistema radicular e no estado nutricional das plantas (CARNEIRO, 1983; MENEGAZZO et al., 2013).

A maior massa de raízes em recipientes pequenos contribui para a redução do espaço poroso gerando maior competição por oxigênio. As mudas com sistema radicular restringido, quando transplantadas, são frequentemente incapazes de compensar a evapotranspiração, mesmo se bem irrigadas após o transplante (PEREIRA; MARTINEZ, 1999).

Os recipientes mais utilizados na produção de mudas de alface são bandejas multicelulares, com células de vários tamanhos, para maximizar a produção de mudas no viveiro utilizam-se células com o menor volume possível. Porém, a redução de volume pode prejudicar a qualidade da muda e, conseqüentemente, a produtividade e qualidade do produto. A restrição radicular, observada em pequenos volumes de célula, pode afetar o crescimento, a fotossíntese, o teor de clorofila nas folhas, a absorção de nutrientes e água, a respiração, o florescimento, bem como a produção (NESMITH; DUVAL, 1998).

O sistema de bandejas proporciona maior cuidado na fase de germinação e emergência da plântula, fazendo com que, muitas vezes, cada semente origine uma planta, além de proporcionar alto índice de pegamento no posterior o transplântio (MINAMI, 2010). Tessarioli Neto (2010) cita também como vantagens desse método a economia de substrato, melhor utilização da área de viveiro, maior precocidade, menor possibilidade de contaminação fitopatogênica, maior relação percentual entre sementes plantadas e mudas obtidas, maior facilidade na execução de tratamentos culturais e, diminuição no ciclo da cultura no campo.

No mercado atual existem diversos modelos de bandejas de poliestireno expandido (isopor) com 34 x 68 cm, ou de polietileno de alta densidade (PVC), com número de células que podem variar desde 72 até 800 células por bandeja, com formas e volumes de células diferentes, podendo ser redondas, piramidais ou cilíndricas. A profundidade também pode ser variável, sendo encontradas bandejas de 47, 60 e 120 mm de altura, entretanto as mais utilizadas para produção de mudas de hortaliças são as piramidais de poliestireno expandido, com 128, 200 e 288 células e 47 mm de altura (BLANK et al., 2014).

3.5.1. Variação da temperatura do substrato no cultivo de mudas

Medições de temperatura do substrato em bandejas de produção de mudas não é uma atividade rotineira, em geral, a não utilização de tal acervo de dados deve-se ao fato de não se considerar o fator térmico como limitante na produção agrícola. Porém, a temperatura do substrato é uma propriedade de natureza física que influi diretamente uma série de processos relacionados às plantas. Além disso, a temperatura do substrato comanda a evaporação e arejamento, bem como o tipo e a taxa das reações químicas que ali ocorrem (DINIZ et al., 2014).

As magnitudes das temperaturas do substrato estão em constantes alterações visto que este é continuamente modificado por fatores ambientais, sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios diferentes, ocorre necessariamente transferência de calor. Existem basicamente três formas sensíveis de transferência de calor entre o substrato e o ambiente, estas são condução, convecção e radiação (CARNEIRO et al., 2013).

A condução pode ser definida como o processo pelo qual a energia é transferida de uma região de alta temperatura para outra de temperatura mais baixa dentro de um meio ou entre meios diferentes em contato direto. Essa transferência ocorre por meio do contato entre as paredes das bandejas e do substrato, quando a temperatura entre eles é diferente origina-se um fluxo de calor pelo perfil do substrato (SOARES, 2013).

Nessa transferência é importante conhecer a condutividade térmica de cada material, pois quando uma mesma quantidade de energia está disponível para materiais distintos o processo de aquecimento e resfriamento pode ser bastante variável. Segundo Nascimento et al. (2014) e Contemp (2016) a condutividade térmica do polipropileno e do poliestireno expandido é de $0,17 \text{ W m K}^{-1}$ e $0,035 \text{ W m K}^{-1}$, respectivamente.

A radiação é o processo pelo qual o calor é transferido de uma superfície de alta temperatura para uma de baixa, quando estas estão separadas no espaço, através de ondas eletromagnéticas. A radiação solar é a de maior importância nessa transferência, pois incide diretamente sobre a superfície do substrato provocando aumento da temperatura do mesmo. Variações diurnas e sazonais na incidência de radiação solar fazem com que as condições de temperatura no substrato nunca sejam uniformes (MARINS, 2012).

A convecção é o processo pelo qual energia é transferida das porções quentes para as porções frias de um fluido por meio da ação combinada de condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura, convecção é um fenômeno que só pode ocorrer nos fluidos (líquidos e gases). Nesse processo o ar em contato com uma superfície aquecida é também aquecido, ocorrendo redução de sua densidade, o que causa movimentação deste ar próximo a superfície, em razão dessa movimentação há remoção de calor do corpo aquecido (BAÊTA; SOUZA, 2010).

Outra forma de transferência de calor que interfere na temperatura do substrato são as trocas latentes, grandeza física que informa a quantidade de energia térmica que uma substância deve perder ou receber para que esta mude de estado físico. Isso acontece quando a água presente no substrato evapora, com conseqüente redução da temperatura do substrato (ROBOCK et al., 2015; DA SILVA et al., 2015).

3.6. Termografia por infravermelho

A termografia por infravermelho é uma técnica segura, não invasiva e não destrutiva de alta acurácia para detecção remota do padrão de distribuição de temperatura sobre a superfície de um determinado componente (CILULKO et al., 2012).

A técnica da termografia por infravermelho tem sido aplicada com sucesso há quase 30 anos, sendo útil para vários princípios como na medicina para identificação de anormalidades, na construção civil para detecção de problemas nas construções, em instalações rurais na área de ambiência e no estudo térmico dos materiais. No procedimento para a aquisição das imagens a câmera apresenta um dispositivo sensível aos comprimentos de onda na faixa do infravermelho do espectro eletromagnético, que são invisíveis ao olho humano nu (PANDORFI et al., 2012; SILVA, 2013).

Conforme a lei de Stefan-Boltzmann, todo objeto com temperatura acima do zero grau absoluto (0 K) emite radiação infravermelho. O físico Max Planck em 1900 provou que existe uma correlação entre a temperatura de um corpo e a intensidade da radiação infravermelha que este emite. Uma câmera termográfica mede uma onda longa de radiação infravermelha recebida dentro do seu campo de visão. A partir disto se calcula a temperatura do objeto a ser medido. O cálculo dessa temperatura leva em consideração os fatores de emissividade da superfície do componente avaliado e a compensação da temperatura refletida e da umidade relativa do ar (MCMANUS, 2016).

A inspeção termográfica por infravermelho é realizada utilizando câmeras termográficas, que é um aparelho que detecta a energia infravermelha e a converte em sinal elétrico, efetua cálculos de temperatura e produz imagens térmicas ou termográficas (GODYN et al., 2013). Ela tem uma variedade de aplicações práticas na indústria, construção civil, polícia, as operações de salvamento, patrulha fronteiriça, medicina humana e veterinária, zootecnia, biologia e ecologia e ciências naturais (MCCAFFERTY, 2013).

Os resultados obtidos são apresentados instantaneamente, com o auxílio de um software apropriado à técnica. Os termogramas representam as temperaturas

dos corpos na forma de cores, e como a imagem obtida com o termovisor é provida de uma escala de cores com tons avermelhados e azulados que se correlaciona com a temperatura, com estas imagens, também é possível obter-se a temperatura em um ponto ou área do objeto analisado (RUEDIGER et al., 2015).

Na literatura científica, existem vários trabalhos que utilizaram a termografia por infravermelho na agropecuária. Os trabalhos realizados por Abrantes et al. (2014), Lima et al. (2014), Barnabé et al. (2015), Carneiro et al. (2015), trazem alguns exemplos práticos da aplicação e eficiência do uso da técnica nas ciências agrárias.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi dividida em duas etapas, a primeira conduzida por um período de 24 dias, do plantio até a obtenção das mudas com quatro folhas definitivas, sob ambiente protegido. A segunda etapa foi realizada por 22 dias, a partir do transplante das mudas até a colheita do produto final, conduzida em ambiente protegido hidropônico, sistema com fluxo laminar de nutrientes (NFT), totalizando 46 dias de acompanhamento experimental.

4.1. Localização

A pesquisa foi realizada junto à área experimental de Fitotecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, Zona da Mata do estado de Pernambuco, Brasil (latitude 8° 04' 03" S, longitude 34° 55' 00" O e altitude média de 4 m), no período de junho a julho de 2015 (Figura 1).

O clima da região é Am, tropical úmido com precipitações de inverno e verão seco, segundo classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). A temperatura média anual no Recife é de 25,8 °C. As temperaturas mais elevadas na região são registradas no mês de janeiro, com máxima de 32 °C e mínima de 20,5 °C. No mês de julho registram-se as menores temperaturas na capital pernambucana, com temperatura máxima de 29,4 °C e mínima de 19,5 °C (CLIMATEMPO, 2016; INMET, 2016).

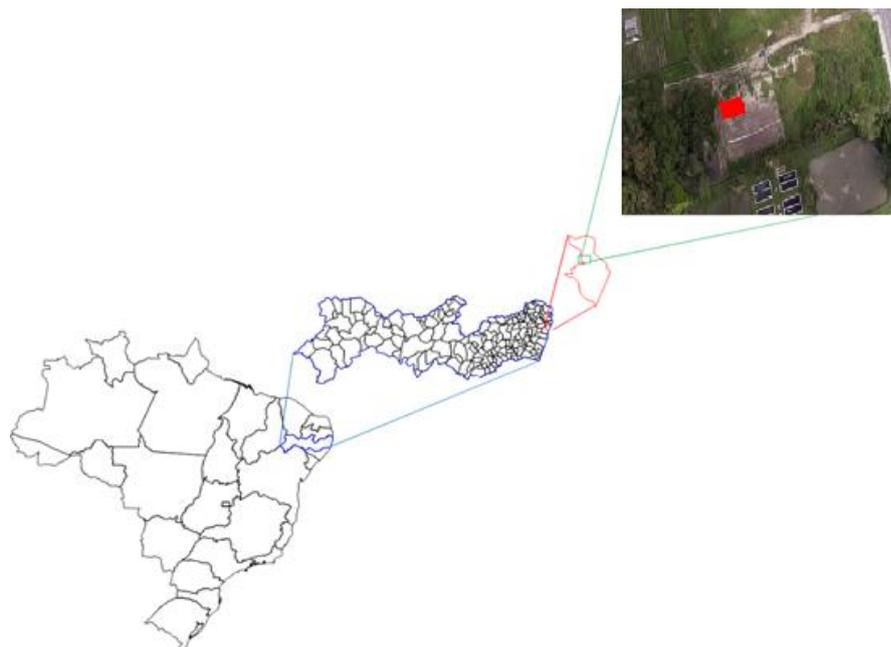


Figura 1 - Localização geográfica da área experimental.

4.2. Etapa I

4.2.1. Descrição do ambiente protegido I

A condução do experimento na primeira etapa foi realizada sob um ambiente protegido tipo arco, com as seguintes dimensões e características construtivas: 7,0 m de largura, 21,0 m de comprimento, área total de 147,0 m², 3,0 m de pé-direito e 4,5 m de altura total, orientado no sentido Leste-Oeste, coberto por filme de polietileno de baixa densidade com 150 µm de espessura e aditivo anti-uv. Os fechamentos transversais e longitudinais contaram com tela de sombreamento preta de 30% (Figura 2).



Figura 2 - Ambiente protegido utilizado na primeira etapa experimental.

4.2.2. Cultivares e produção de mudas em bandejas

Foram utilizadas sementes peletizadas de duas cultivares de alface, Solaris e Vanda. As cultivares apresentam folhas soltas, crespa com ondulações, coloração verde, pouco tenra e relativamente espessa, adaptadas a altas temperaturas e florescimento precoce. A produção de mudas foi conduzida em bandejas de cultivo com características distintas, compondo assim um dos fatores de variação avaliados. O esquema de distribuição das bandejas na bancada de cultivo foi aleatório, admitindo-se quatro tipos de bandejas (branca, isopor, preta e cinza) e as duas cultivares, Solaris (Semis) e Vanda (Sakata), (Figura 3).

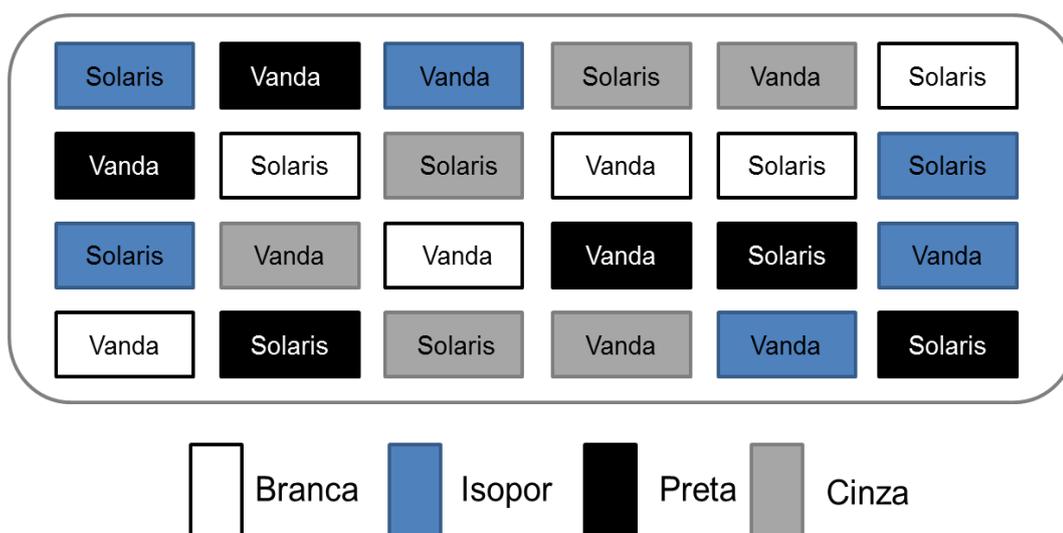


Figura 3 - Esquema de distribuição dos tratamentos na plataforma de cultivo.

Foram utilizadas as seguintes bandejas de cultivo (Figura 4): poliestireno expandido de coloração branca (isopor) com 200 células de formato trapezoidal, comprimento total 670 mm, largura 340 mm, altura 53 mm, capacidade de 12 cm³. As medidas das células são de 28x28 mm superior, 5x5 mm inferior e altura de 53 mm. A espessura das paredes é de 4 mm, possui condutividade térmica de 0,035 W m K⁻¹ e emissividade de 0,6 (CONTEMP, 2016); polipropileno convencional (preta) com 200 células e capacidade de 18 cm³, formato trapezoidal com guia para o sistema radicular, comprimento de 664 mm, largura de 335 mm e altura de 43 mm, com medidas superiores de 31x31 mm, a espessura das paredes da bandeja é de 2 mm. O material possui condutividade térmica de 0,17 W m K⁻¹ e emissividade de 0,97 (NASCIMENTO et al., 2014).

As outras bandejas de cultivo utilizadas (branca e cinza) também eram de polipropileno, com as mesmas características da bandeja preta. As bandejas foram preenchidas com areia de rio seca e posteriormente pintadas com tinta óleo branca e cinza, para que as superfícies internas das células de cultivo não fossem alteradas, a emissividade da tinta branca utilizada foi de 0,90 e da tinta cinza 0,91 (CARVALHO, 2013).

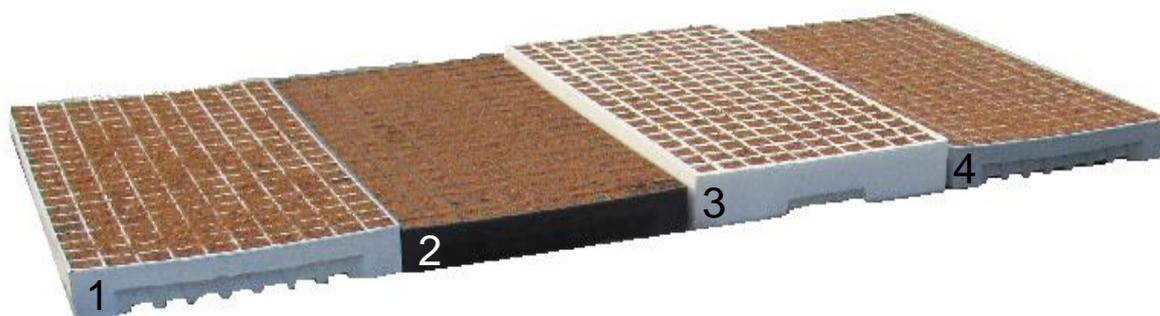


Figura 4 - Bandejas de cultivo de mudas avaliadas: bandeja de polipropileno branca (1); bandeja de polipropileno preta (2); bandeja de isopor (3) e bandeja de polipropileno cinza (4).

4.2.3. Instalação e condução da produção de mudas

A primeira etapa da pesquisa se iniciou com a semeadura no dia 05/06/2015 e foi encerrada com a avaliação das mudas e transplante no dia 29/06/2015. No momento do semeio foi utilizada apenas uma semente peletizada por célula, a uma

profundidade de 0,50 cm com um furador mecânico. O substrato utilizado foi pó de coco, material inerte, resíduo da agroindústria encontrado com facilidade na região. As mudas foram fertirrigadas com solução nutritiva adaptada de Castellane & Araújo (1995), sua aplicação foi iniciada ao 1º dia após a emergência até o 21º dia de cultivo.

Para o preparo da solução nutritiva, foram utilizados os fertilizantes descritos na Tabela 1. Todos os reagentes foram dissolvidos separadamente em um recipiente, antes de serem adicionados ao reservatório de 200 L. Esse cuidado foi tomado para evitar reação prévia entre os sais, que poderia ocasionar a formação de precipitados. Posteriormente foi ajustada a condutividade elétrica (CE) e o potencial hidrogeno iônico (pH) da solução. O manejo da solução nutritiva foi realizado diariamente pela reposição da água consumida e do acompanhamento da condutividade elétrica, que foi mantida em uma faixa de 1,6 a 2,0 mS cm⁻¹ e da correção do pH, mantendo-o entre 5,5 e 6,5.

Tabela 1 - Quantidade de fertilizantes para preparo de 200 L de solução

Sais ou Fertilizantes	g/200 L
Nitrato de cálcio	180
Nitrato de potássio	110
MKP	45
Sulfato de magnésio	90
Quelatec AZ	5
Ultraferro	5
Ácido bórico	0,4

Composição da solução nutritiva proposta por Castellane & Araújo (1995) e adaptada para as condições locais.

4.2.4. Sistema e manejo da irrigação

As bandejas foram acondicionadas sobre uma bancada de alvenaria com dimensões de 5,0 m de comprimento por 1,6 m de largura, 1,15 m de altura do nível do solo (cota superior), 0,80 m de altura do nível do solo (cota inferior) com

inclinação de 7,2% e bordas de 3 cm, submetida ao sistema de sub-irrigação (Figura 5).

O sistema de irrigação consistiu em uma plataforma de cultivo, com um reservatório de água, uma bomba submersa e um timer analógico. O timer foi programado para acionamento da bomba dez vezes ao dia as 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16h, que bombeava a solução nutritiva por 15 minutos até a parte mais alta da plataforma de cultivo, a solução descia por gravidade em forma de lâmina até a cota inferior, então a solução retornava ao reservatório. As bandejas preenchidas com o substrato que se encontravam sobre a bancada absorviam a solução nutritiva por capilaridade permitindo sua distribuição no meio poroso devido ao gradiente hidráulico, permanecendo sempre na capacidade de campo (ANDRIOLO et al., 2006; DE MELO JÚNIOR et al., 2013).

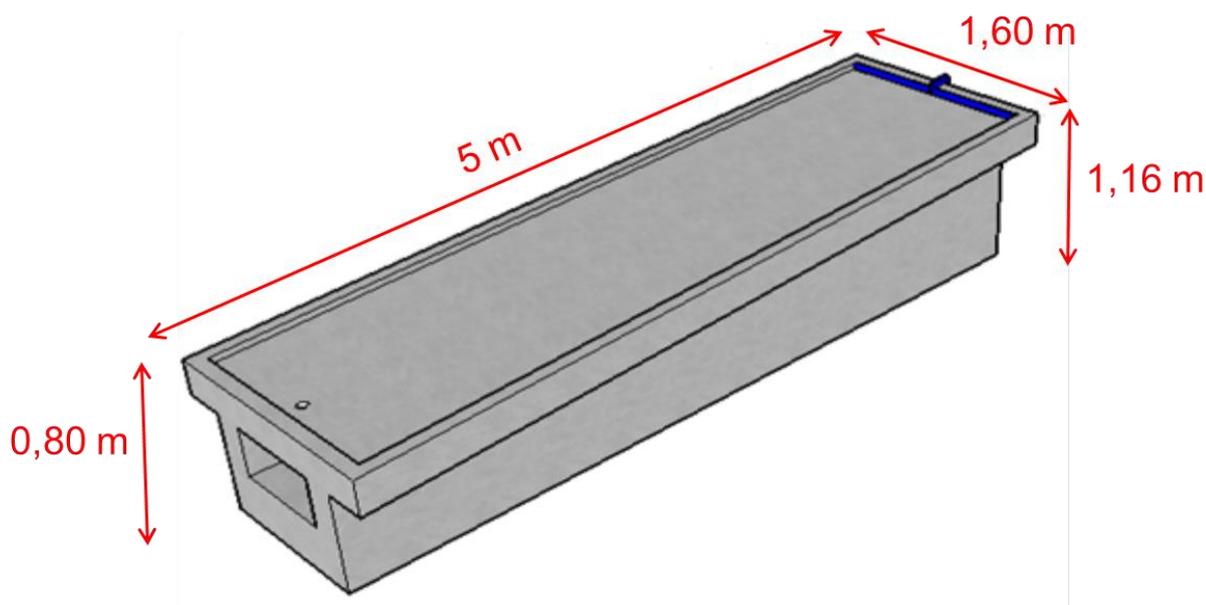


Figura 5 - Bancada de cultivo equipada com o sistema de sub-irrigação.

4.2.5. Variáveis meteorológicas

Para o monitoramento micrometeorológico do ambiente protegido foi utilizada uma plataforma automática de registro de dados meteorológicos, equipada com sensores que permitiram registros contínuos de dados da temperatura do ar (T_{ar} , °C), da umidade relativa do ar (UR, %) e da radiação solar global (R_g , $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$).

Os dados foram aferidos a cada segundo e registrados em intervalos de 15 min, até a obtenção das mudas para o transplântio.

Simultaneamente ao registro de dados no interior do ambiente protegido foram registrados os dados externos, por meio de uma estação meteorológica automática, considerando-se as mesmas variáveis registradas no interior do ambiente protegido, com exceção de um pluviômetro instalado nesta estação em um local livre com a área de captação da precipitação (mm) posicionada em plano horizontal a uma altura de 1,5 m do solo. Os sensores foram instalados no centro geométrico do ambiente protegido, ou seja, metade do comprimento e metade da largura, a uma altura de 1,5 m do solo.

4.2.6. Temperatura superficial da bandeja

A determinação da variabilidade térmica da superfície das bandejas utilizadas na pesquisa foi obtida por meio de imagens térmicas das superfícies alvo, com auxílio de um termovisor. Foram obtidos registros contínuos das imagens térmicas de cada amostra consecutivamente, três dias por semana a cada duas horas, das 08h00min até as 16h00min, no decorrer do período de produção das mudas.

As bandejas foram inseridas dentro de uma câmara de papelão para padronização da temperatura refletida. Posteriormente foram registradas imagens térmicas das laterais das bandejas a 1 m de distância, com a câmera posicionada a 90° da superfície alvo. No momento da obtenção das imagens foram registradas as variáveis termo-higrométricas para as correções no momento da análise. As emissividades dos materiais que compõem as bandejas foram de 0,6 para a bandeja de isopor, 0,97 para a bandeja preta, 0,90 para a bandeja branca e 0,91 para a cinza.

Para se comprovar o efeito da temperatura das bandejas foi selecionado o dia 11/05/2015. Os valores médios registrados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e posteriormente comparada pelo teste de TUKEY ($P < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no programa SISVAR (FERREIRA, 2014).

Para análise das imagens térmicas foi utilizado software dedicado, em que se selecionou a área da superfície de interesse, desprezando 1 cm de bordadura para minimizar a interferência do efeito oásis. Após a seleção da área foi considerado o valor médio da temperatura superficial (Figura 6).

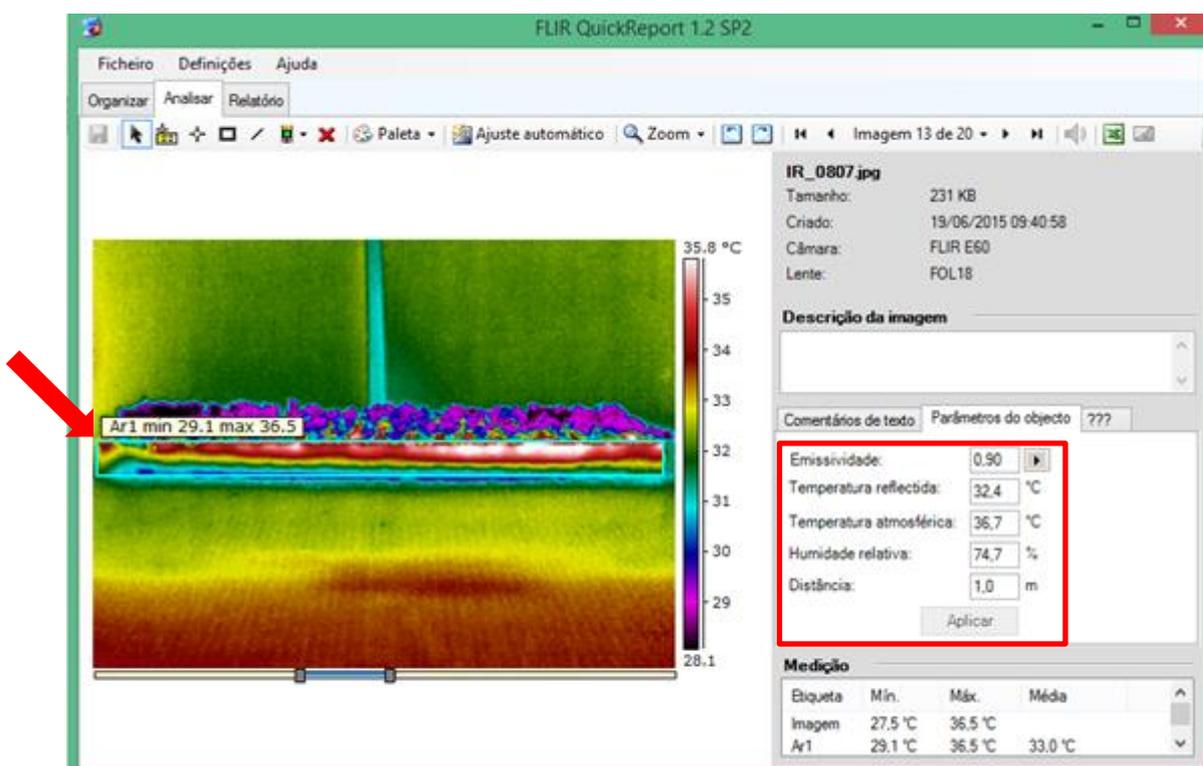


Figura 6 - Imagem térmica com a indicação da área selecionada na lateral da bandeja e os parâmetros de entrada para ajuste da temperatura superficial.

Foram determinadas as temperaturas médias das superfícies das bandejas, assim como foi estabelecida análise de regressão entre a temperatura do ar e da superfície das bandejas, tendo como destaque os dias com temperatura do ar mais elevada, no decorrer da primeira etapa experimental.

4.2.7. Temperatura superficial do substrato

A determinação da variabilidade térmica da superfície do substrato das bandejas foi realizada por meio de imagens térmicas com auxílio do termovisor, adotando-se a mesma metodologia utilizada no registro da temperatura das

bandejas, porém, a temperatura utilizada foi à média de seis pequenas áreas obtidas na diagonal das bandejas, para que não entrassem nas médias as bordas e a temperatura das plântulas (Figura 7). A imagem foi registrada a uma distância de 1 m do alvo, com as lentes da câmera posicionada paralelamente a superfície do substrato. A emissividade do substrato utilizado foi de 0,95 (QUICKREPORT, 2016).

Para destacar as diferenças na temperatura superficial do substrato foi escolhido o dia 11/05/2015. Os valores médios registrados nesse dia foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$) e posteriormente comparada pelo teste de TUKEY ($P < 0,05$).

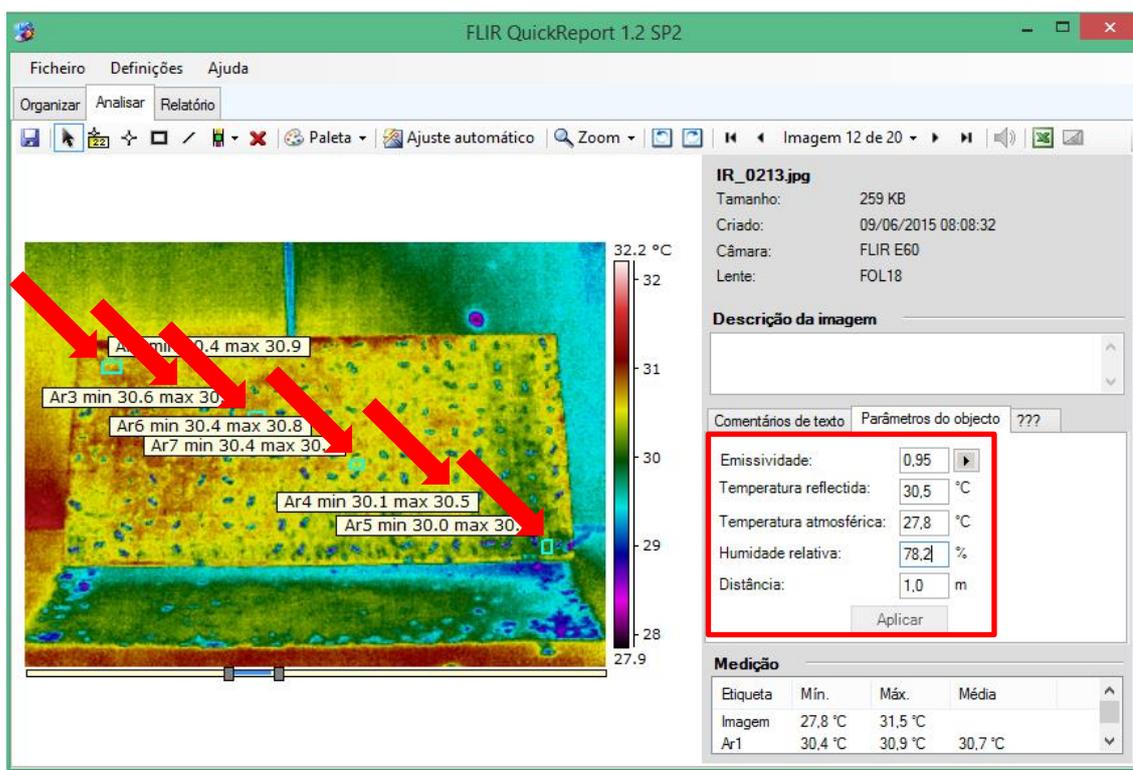


Figura 7 - Imagem térmica com a indicação das áreas seleccionadas da superfície do substrato e os parâmetros de entrada para ajuste da temperatura superficial.

4.2.8. Temperatura do substrato

O monitoramento da temperatura do substrato (T_{sub}) foi realizado por um mini datalogger, com os termistores inseridos no substrato da célula de cultivo das bandejas (Figura 8). Para evidenciar o efeito das bandejas na temperatura do substrato foram seleccionados quatro dias críticos, sendo aqueles que apresentaram

os maiores valores de temperatura de substrato e, os quatro dias para os menores valores de temperatura do substrato. Os valores registrados da T_{sub} foram submetidos à análise de regressão, a cada 15 min, estabelecendo-se a relação funcional entre a T_{sub} e a temperatura do ar (T_{ar}) no interior do ambiente protegido.



Figura 8 - Termistores inseridos no substrato das células de cultivo.

4.2.9. Avaliação das mudas

No final da primeira etapa experimental, 23 dias após a semeadura, foi realizada a avaliação do desenvolvimento das mudas, em que foram coletadas 15 plantas por bandeja para o registro de altura da muda (H), aferida com o auxílio de uma régua graduada do nível do substrato nas bandejas até a extremidade da folha mais alta; diâmetro do coleto (D_c) medido por meio de um paquímetro digital, em seguida foi realizada a contagem do número de folhas definitivas (NF_m).

Posteriormente, as mudas foram removidas das bandejas e lavadas, para remoção do substrato das raízes, depois foram seccionadas separando-se a parte aérea do sistema radicular. O comprimento da raiz (CR) foi determinado pelo tamanho medido com auxílio de uma régua graduada.

Para obtenção da matéria seca da parte aérea ($MSPA$) e radicular (MSR), as amostras foram colocadas em estufa de ventilação forçada (65 ± 2 °C), até que apresentassem massa constante e levadas para pesagem em uma balança de precisão, posteriormente foi calculada a matéria seca total das mudas (MST).

Para avaliação do aspecto qualitativo das mudas adotou-se o índice de qualidade de Dickson (IQD), por meio da equação 1 (DICKSON et al., 1960). O IQD considera a robustez e o equilíbrio de distribuição de fitomassa da muda, portanto, quanto maior o índice encontrado, melhor será o padrão de qualidade.

$$IQD = \frac{MST}{(H/Dc)+(MSPA/MSR)} \quad \text{Eq. (1)}$$

em que:

MST - matéria seca total (g);

H – altura da muda (cm);

Dc - diâmetro do coleto (mm);

MSPA - matéria seca da parte aérea (g);

MSR - matéria seca da raiz (g).

Para a análise estatística das variáveis biométricas das mudas os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e posteriormente comparados pelo teste de SCOTT-KNOTT (1974). As análises estatísticas dos dados foram realizadas no programa SISVAR (FERREIRA, 2014).

4.3. Etapa II

4.3.1. Descrição do ambiente protegido II

A condução do experimento na segunda etapa foi realizada sob um ambiente protegido com lanternim zenital, com as seguintes dimensões e características construtivas: 7,0 m de largura, 30,0 m de comprimento, área total de 210,0 m², 3,0 m de pé-direito e 4,5 m de altura total, orientado no sentido Leste-Oeste, coberto por filme de polietileno azul (150 μm) confeccionado em cinco camadas com alto desempenho em selecionar o tipo de luz que chega a planta, beneficiando o processo fotossintético. Os fechamentos transversais e longitudinais contaram com tela antiafídeo (Figura 9).



Figura 9 - Ambiente protegido utilizado na segunda etapa experimental.

4.3.2. Instalação e condução das plantas

A segunda etapa do experimento ocorreu desde o transplante (29/06/2015) até a obtenção do produto final (23/07/2015).

Para esta etapa, foram transplantadas 16 plantas de cada bandeja, oito plantas na horizontal e duas na vertical, com espaçamento de 25 cm entre plantas e 25 cm entre as fileiras, sendo assim cada bancada de cultivo hidropônico (8 perfis) contou com 6 bandejas, os demais espaços vazios foram preenchidos com plantas não identificadas. A distribuição estatística seguiu a mesma ordem da primeira etapa (Figura 3). Os demais tratamentos culturais foram realizados conforme as recomendações para o cultivo na região (Figura 10).

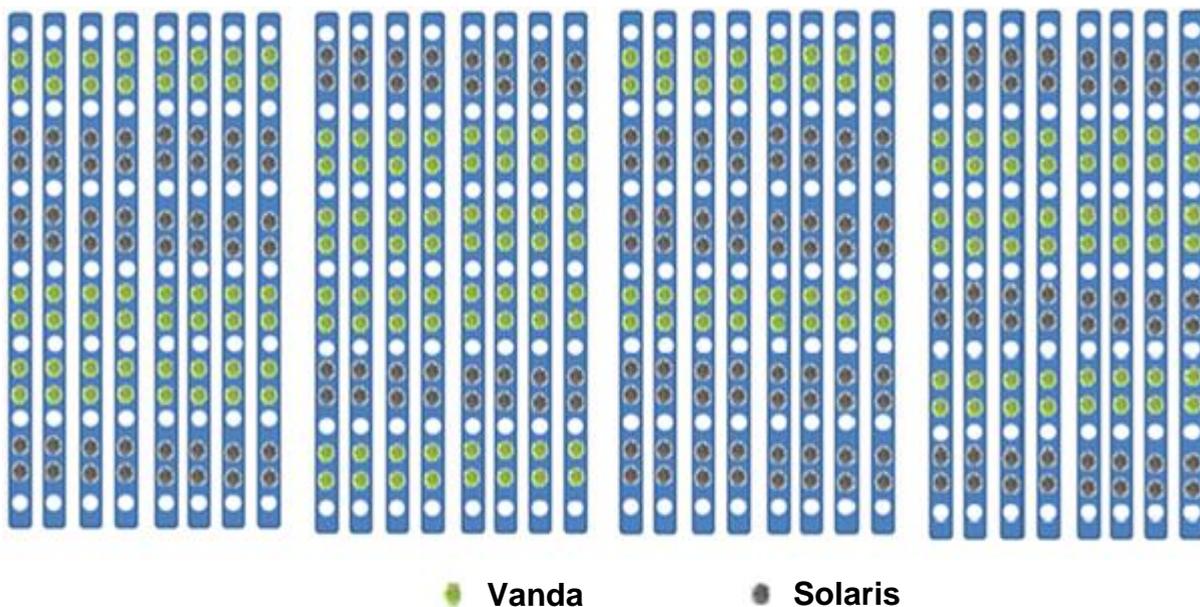


Figura 10 - Esquema da distribuição dos tratamentos no cultivo em sistema hidropônico.

4.3.3. Sistema e manejo da irrigação

As mudas foram transferidas para os perfis de cultivo e submetidas à irrigação com a mesma formulação de solução nutritiva utilizada na etapa I, a circulação da solução nutritiva nos perfis foi controlada por um temporizador programado durante o dia, das 5h00min às 18h00min, em que o sistema permanecia ligado por 15 min e desligado por 15 min; durante a noite, das 18h01min às 04h59min, o sistema permanecia ligado por 15 min a cada duas horas, com um fluxo de solução de 1 L min⁻¹ (FURLANI et al., 1999; ALBERONI, 2004).

4.3.4. Variáveis meteorológicas

Para o monitoramento micrometeorológico do ambiente protegido foi utilizada uma plataforma automática de registro de dados meteorológicos, equipada com sensores que permitiram registros contínuos de dados da temperatura do ar (Tar, °C), da umidade relativa do ar (UR, %) e da radiação solar global (Rg, MJ m⁻² dia⁻¹). Os dados foram aferidos a cada segundo e registrados em intervalos de 15 min, até a obtenção das plantas comerciais.

Simultaneamente ao registro de dados no interior do ambiente protegido foram registrados os dados externos, por meio de uma estação meteorológica automática, considerando-se as mesmas variáveis registradas no interior do ambiente protegido, com exceção de um pluviômetro instalado em um local livre com a área de captação da precipitação (mm) posicionada em plano horizontal a uma altura de 1,5 m do solo.

4.3.5. Avaliação das plantas

Ao final do ciclo de produção foram utilizadas para os registros biométricos seis plantas aleatórias, por parcela, caracterizada pela amostra de uma bandeja, para avaliação do número de folhas comerciais por planta (NF) - contagem do número de folhas maiores que 3 cm, partindo das folhas basais; diâmetro da planta (DP) - distâncias entre as margens opostas da planta, expressas em centímetros; altura da planta (HP), aferida com o auxílio de uma régua graduada da base do caule até a inflexão da folha mais alta (cm); massa fresca comercial (MFC) - aferido após o corte rente das raízes ao caule no ato da colheita, com posterior descarte de folhas impróprias para a comercialização; diâmetro do caule (DC) - medido por meio de um paquímetro digital; comprimento do caule (CC) - medido em centímetros, após retirada das folhas.

Para a realização da avaliação qualitativa das plantas, adotou-se classificação comercial da alface proposto pelo Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura (Tabela 2), que sugere que a principal classificação nacional deva ser de acordo com os limites inferior e superior de massa fresca em gramas por planta (HORTIBRASIL, 2016).

Tabela 2 - Classificação da alface obtida a partir da massa fresca (g)

Limite De Massa Inferior (g)	CLASSE	Limite De Massa Superior (g)
> 0	5	< 100
> 100	10	< 150
> 150	15	< 200
> 200	20	< 250
> 250	25	< 300
> 300	30	< 350
> 350	35	< 400
> 400	40	< 450
> 450	45	< 500
> 500	50	< 550
> 550	55	< 600
> 600	60	< 650
> 650	65	< 700
> 700	70	< 750
> 750	75	< 800
> 800	80	< 850
> 850	85	< 900
> 900	90	< 950
> 950	95	< 1000
> 1000	100	

Fonte: HORTIBRASIL (2016)

4.4. Delineamento experimental e análise de dados

O delineamento experimental para análise das variáveis biométricas foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 4 x 2, com três repetições (Tabela 3). Para a análise estatística das variáveis biométricas das mudas os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$) e posteriormente comparados pelo teste de SCOTT-KNOTT (1974). Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa SISVAR (FERREIRA, 2014).

Tabela 3 - Análise de variância

Causas de Variação	GL
Bandeja	3
Cultivar	1
Bandeja X Cultivar	3
Tratamento	7
Resíduo	29
Total	36

Os dados foram analisados por meio do seguinte modelo estatístico (Eq. 2):

$$\hat{Y}_{ijk} = \mu + l_i + S_j + (I \times S)_{ij} + e_{ijk} \quad (2)$$

em que:

\hat{Y}_{ijk} - é a i-ésima observação de uma das variáveis;

μ - é a média geral;

l_i - é o efeito fixo da bandeja;

S_j - é o efeito fixo da cultivar;

$(A \times S)_{ij}$ - é o efeito da interação entre bandeja e cultivar;

e_{ijk} - é o erro aleatório.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização micrometeorológica do ambiente protegido (Etapa I)

Na primeira etapa experimental, verificou-se que a temperatura média diária no ambiente protegido foi de 27,24 °C, as temperaturas máximas variaram de 32,8 a 40,3 °C, com média máxima de 37,3 °C e as mínimas de 20,5 a 23,4 °C, com média mínima de 22,2 °C (Figura 11). Tais resultados de temperatura do ar são desfavoráveis a germinação e formação de plântulas de alface, pois segundo Gray (1975) a temperatura ideal para esta fase da cultura situa entre 15 e 22 °C; temperaturas acima deste valor induzem a baixa germinação e desenvolvimento de plântulas.

A temperatura do ar (Tar) no ambiente protegido foi maior que no ambiente externo, principalmente nos horários mais quentes do dia, já que o balanço de energia no interior do ambiente protegido é menor que no ambiente externo e a cobertura atua como uma barreira física, retendo energia no ambiente (GUISELINI et al., 2013). Este fenômeno é decorrente da interação da radiação solar com o filme plástico (período diurno) que atenua a radiação incidente, no entanto, a cobertura e os fechamentos laterais contribuem para a retenção da massa de ar quente, dificultando as trocas por convecção (GUISELINI, 2013). No período noturno, as temperaturas internas e externas ficam mais próximas, porque o balanço de energia não é suficiente para promover temperaturas superiores no ambiente protegido em comparação com o externo (Figura 11A).

A relação funcional entre a Tar interna e externa ao ambiente protegido resultou em um coeficiente de determinação elevado ($R^2 > 0,83$), o que indica boa associação linear entre as variáveis pesquisadas. Nota-se pelo coeficiente angular da equação, que o valor da temperatura no ambiente protegido foi 7,5% superior ao ambiente externo (Figura 11B).

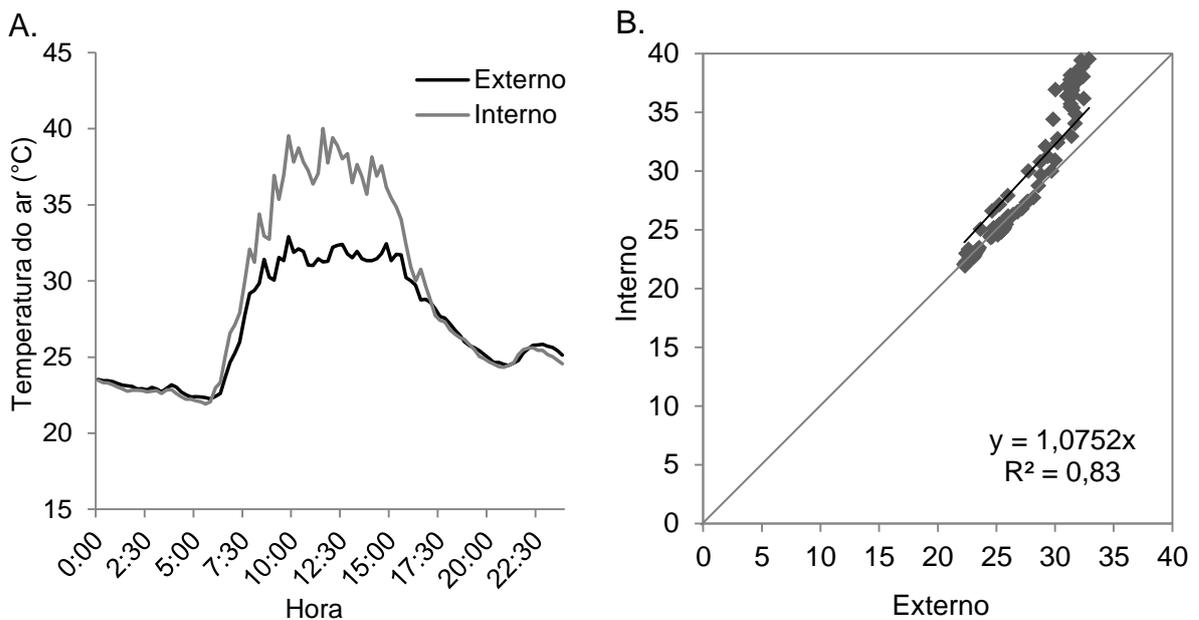


Figura 11 - Variação média horária da temperatura do ar (A) e relação funcional entre temperatura média diária no interior do ambiente protegido e no ambiente externo (B).

A Figura 12 mostra que a radiação solar global (R_g) registrada no interior do ambiente protegido foi menor que no ambiente externo, isso se deve a reflexão e absorção promovidas pela cobertura plástica, que diminuem a transmissão da radiação solar no interior do ambiente protegido (GUISELINI, 2013; PEREIRA et al., 2012;).

A média da transmitância do material de cobertura foi de 66%, o que fez com que a radiação solar em alguns dias ficasse abaixo do limite trófico requerido pelas mudas de alface, que é de $8,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (FAO, 1990). Segundo Tullio et al. (2013) esse valor considera o nível em que a planta produz o mínimo de fotoassimilados necessários à sua manutenção, porém quando se avalia a R_g média que chega no interior do ambiente protegido o valor superou o limite trófico ($8,65 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), não apresentando assim consequência no desenvolvimento das plantas, pois as mudas produzida nesta pesquisa apresentaram excelente qualidade, para os padrões locais. A céu aberto a média da radiação solar global foi de $12,83 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Alguns autores encontraram valores de transmitância de 82 a 55% (GUISELINI et al., 2013; HOLCMAN et al., 2015) para filmes de polietileno de baixa densidade. A redução da transmitância se deve a inúmeros fatores entre eles a idade e deposição de poeira e algas no filme plástico (FERRARI; LEAL, 2015).

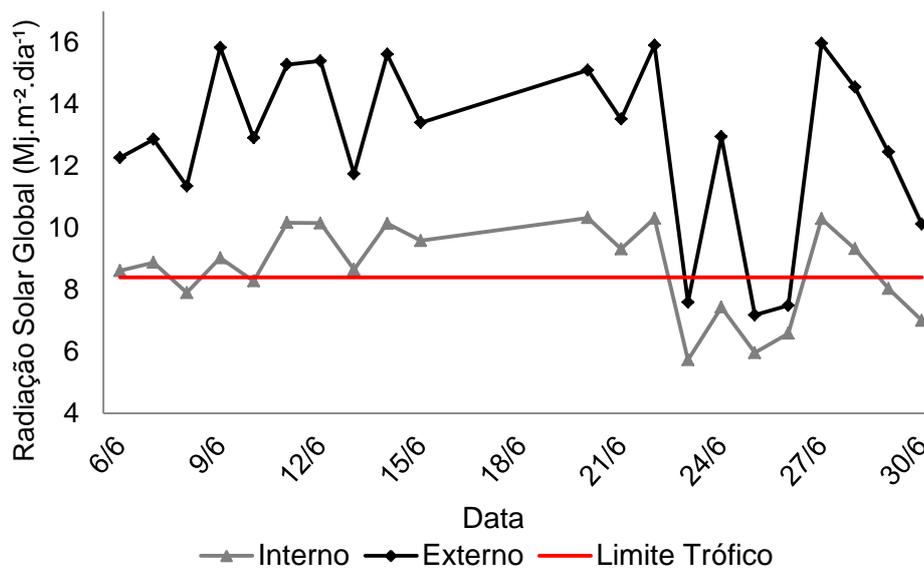


Figura 12 - Limite trófico para mudas de alface e variação da radiação solar global (Rg) no ambiente protegido e no ambiente externo.

Os valores médios diários da umidade relativa do ar no ambiente protegido foram menores que no ambiente externo, isso ocorreu devido à estação do ano, ou seja, período chuvoso na região, o que influenciou a variação da umidade relativa do ar no ambiente externo. A umidade relativa no interior do ambiente protegido, em todos os dias de cultivo apresentou-se dentro dos limites adequados a produção de alface, que segundo LIMA JUNIOR (2011) deve permanecer entre 60 a 80%. A precipitação acumulada no período foi de 297,2 mm (Figura 13).

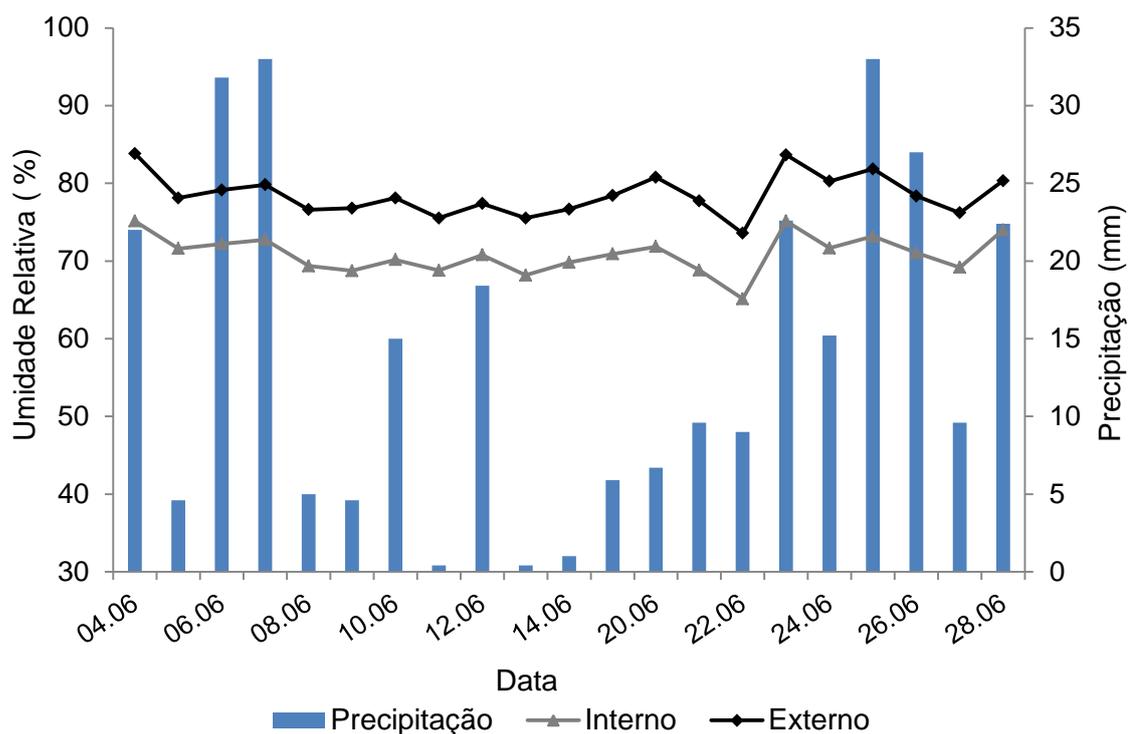


Figura 13 – Médias diárias da umidade relativa do ar (%) no ambiente protegido, no ambiente externo e precipitação (mm).

5.2. Temperatura superficial das bandejas

A bandeja de polipropileno de coloração preta foi a que apresentou maior temperatura (31,13 °C), seguida pela cinza (30,44 °C), branca (30,08 °C) e isopor (29,38 °C), resultados semelhantes foram encontrados por Cavalcanti et al. (2011). O processo de absorção e emissão de energia térmica tem relação com a cor do corpo, cores escuras absorvem grande parcela de radiação e emite uma pequena parcela, a cor preta absorve maior parte da radiação incidente, enquanto as outras cores de bandejas absorvem menos e refletem mais radiação (VAREJÃO-SILVA, 2005; VIANELLO; ALVES, 2012). A bandeja de isopor apresentou em média, temperatura de superfície 1,9 °C menor que a bandeja preta (Figura 14).

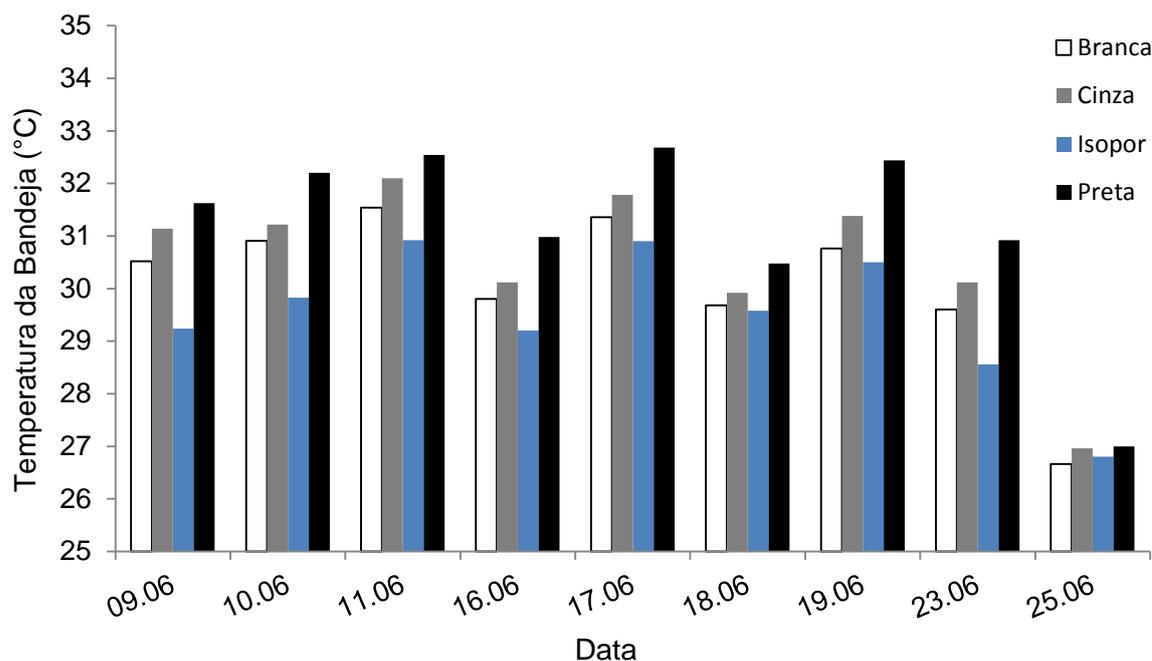


Figura 14 - Valores médios diários da temperatura superficial das bandejas.

A variação da temperatura superficial das bandejas no decorrer do dia de maior temperatura do ar (11/05/2015) indica que a bandeja preta apresentou temperatura superior às demais ($P < 0,05$), o que confirma os resultados obtidos na Figura 14. As bandejas branca e cinza não apresentaram diferença significativa para temperatura superficial nos horários das 10h00min, 12h00min, 14h00min e 16h00min, apenas se diferenciaram às 8h00min da manhã, em que a bandeja branca apresentou o menor valor. A bandeja de isopor apresentou menor temperatura superficial ($P < 0,05$), devido ao maior calor específico do material (Figura 15).

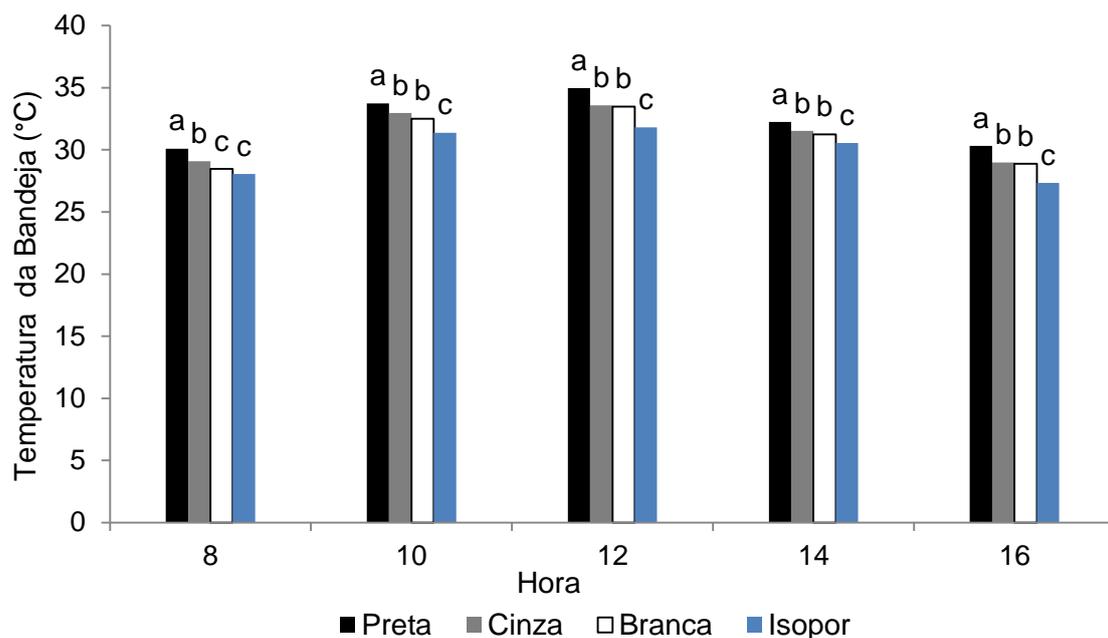


Figura 15 – Variação horária da temperatura superficial das bandejas.

Médias seguidas da mesma letra em cada horário de avaliação não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

5.2.1. Temperatura superficial do substrato

Nota-se na Figura 16, que nos horários com maior disponibilidade de radiação a maior temperatura superficial do substrato foi na bandeja de isopor ($P < 0,05$), pois nestes horários o processo de transferência de energia que mais influencia a temperatura superficial do substrato é a radiação solar, além do fato do material conservar a energia absorvida pelo substrato (JENSEN; JEROME, 2015).

Nos horários das 8h00min e 14h00min não houve diferenças ($P > 0,05$) entre as bandejas pesquisadas, no entanto, as 10h00min e 12h00min as bandejas de isopor e preta apresentaram maior temperatura superficial do substrato (Figura 16). As bandejas que apresentaram os menores valores foram as bandejas cinza e branca, no entanto, sem efeito significativo ($P > 0,05$) para a bandeja preta. As 16h00min o substrato na bandeja de isopor apresentou a menor temperatura ($P < 0,05$), ocasionado pela conservação de energia ao longo do dia e consequente perda de calor latente, que reduziu a temperatura de superfície do substrato.

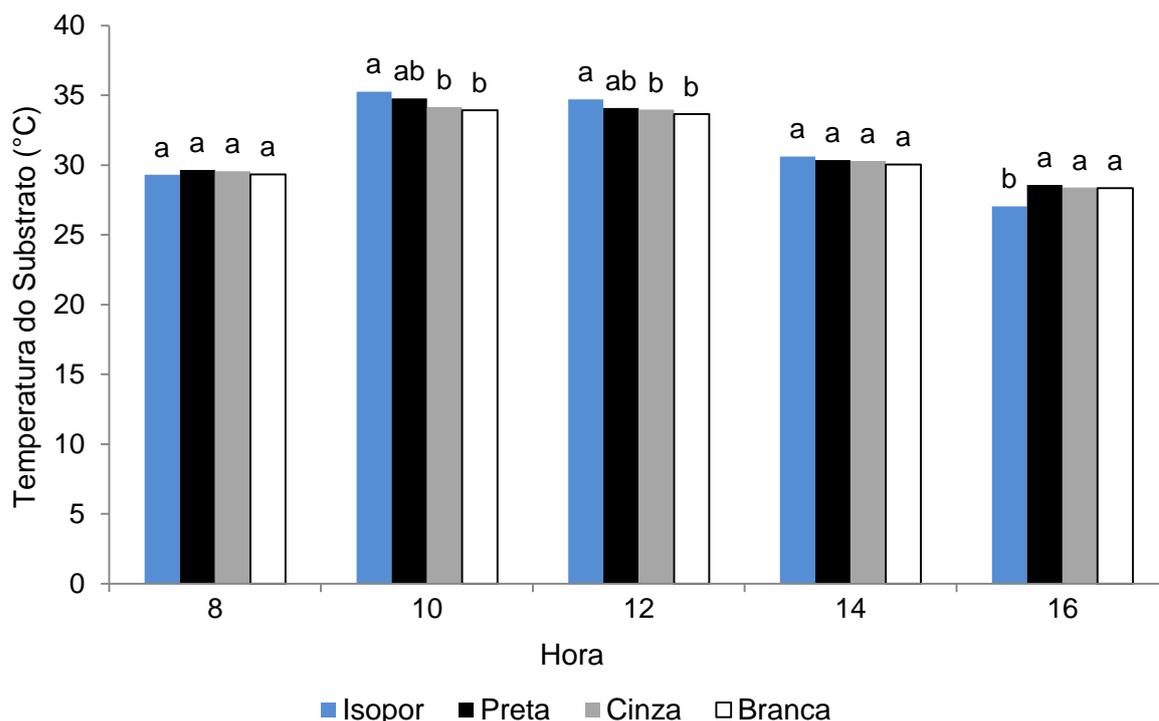


Figura 16 – Variação horária da temperatura superficial do substrato.

Médias seguidas da mesma letra em cada horário de avaliação não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

5.2.2. Temperatura do substrato

A temperatura do ar ultrapassou a temperatura do substrato em todas as bandejas (Figura 17). Segundo Almeida et al. (2015) a água no substrato atenua o aumento da temperatura, sendo que grande parte da radiação que chega ao substrato é utilizada para a evaporação da água (perda de calor latente), tais resultados corroboram os encontrados por Huang et al. (2014).

A temperatura do substrato na bandeja de isopor foi maior que nas demais, seguido da bandeja preta. As bandejas cinza e branca apresentaram os menores valores com pequenas variações entre elas, cabe ressaltar que a bandeja de isopor apresenta menor volume de substrato, por isso quando submetidas a mesma quantidade de energia térmica o substrato absorve e conserva mais energia que o das outras bandejas.

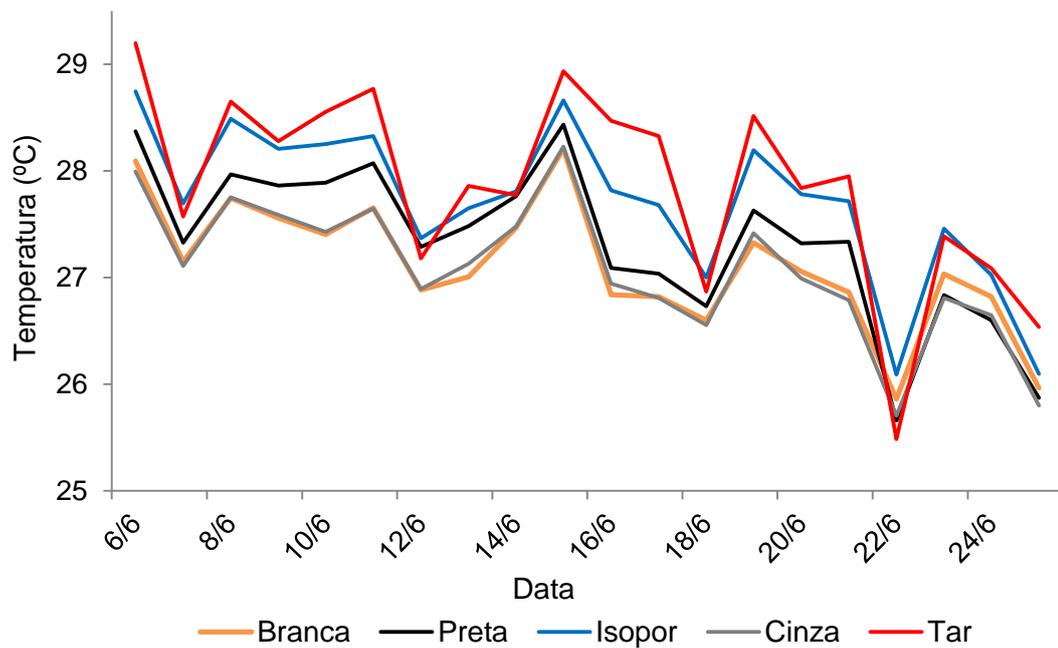


Figura 17 - Variação média diária da temperatura do ar e do substrato nas bandejas de cultivo.

A Figura 18 ilustra a variação média diária da temperatura máxima do ar e do substrato nas bandejas de cultivo, em que se verifica que a temperatura máxima do ar excedeu a temperatura do substrato em todas as bandejas, de acordo com De Freitas et al., (2013) isso acontece devido a presença de água nos macro e micro poros presentes no substrato.

A temperatura do substrato na bandeja de isopor foi superior, pois se trata de um material poroso de alta inércia térmica, que conserva mais energia proveniente da radiação solar, seguida pela preta, cinza e branca, respectivamente. A variação média entre a temperatura do substrato na bandeja de isopor e a branca foi de 2,61 °C, o que pode ocasionar alteração no desenvolvimento do sistema radicular e na qualidade final das mudas (NASCIMENTO et al., 2012).

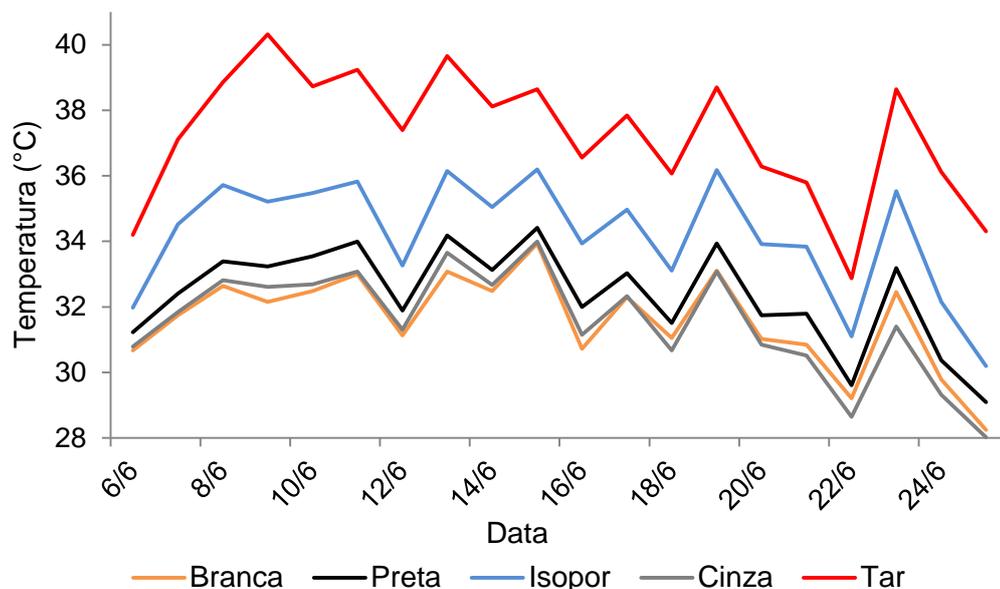


Figura 18 - Variação média diária da temperatura máxima do ar e do substrato nas bandejas de cultivo.

Nota-se na Figura 19 o mesmo padrão de variação da temperatura do substrato para os quatro dias de maior temperatura do ar (06, 11, 13 e 19/06).

No intervalo das 00h00min às 06h00min, a transferência de energia preponderante que altera a temperatura do substrato é latente, com consequente redução da temperatura do substrato (DE FREITAS et al., 2013). A bandeja de isopor apresenta menor condutividade térmica que as outras, conservando mais energia, o que explica a inversão térmica da temperatura do substrato no período noturno. Nas bandejas de polipropileno (branca, cinza e preta) a temperatura do substrato é maior, pois a energia disponível para as perdas latentes é inferior, quando comparado ao isopor (Figura 19).

Entre às 08h00min e 17h00min o incremento térmico na temperatura do substrato é proveniente da radiação solar. A bandeja de isopor conserva essa energia, que promove maior temperatura do substrato, comparativamente às bandejas de polipropileno. O isopor possui baixa condutividade térmica, sendo assim, trata-se de um material que apresenta efeito termoisolante (Nascimento et al., 2014), que dificulta a transferência de energia do substrato para o ambiente.

No intervalo das 17h00min às 24h00min, novamente observou-se que as perdas latentes com redução da temperatura do substrato, de forma mais intensa na bandeja de isopor, processo de inversão térmica (BAÊTA; SOUZA, 2010). Nesse

intervalo horário, as bandejas de polipropileno (branca, cinza e preta) apresentaram temperatura de substrato superior à de isopor (Figura 19).

Destaca-se que das 9h30min às 17h30min, em todas as bandejas para os quatro dias críticos, os valores da temperatura do substrato ultrapassaram os valores máximos tolerados pela cultura. Para germinação e formação das mudas de alface a temperatura ótima do substrato é de 20 a 29 °C (MARCOS FILHO, 1987).

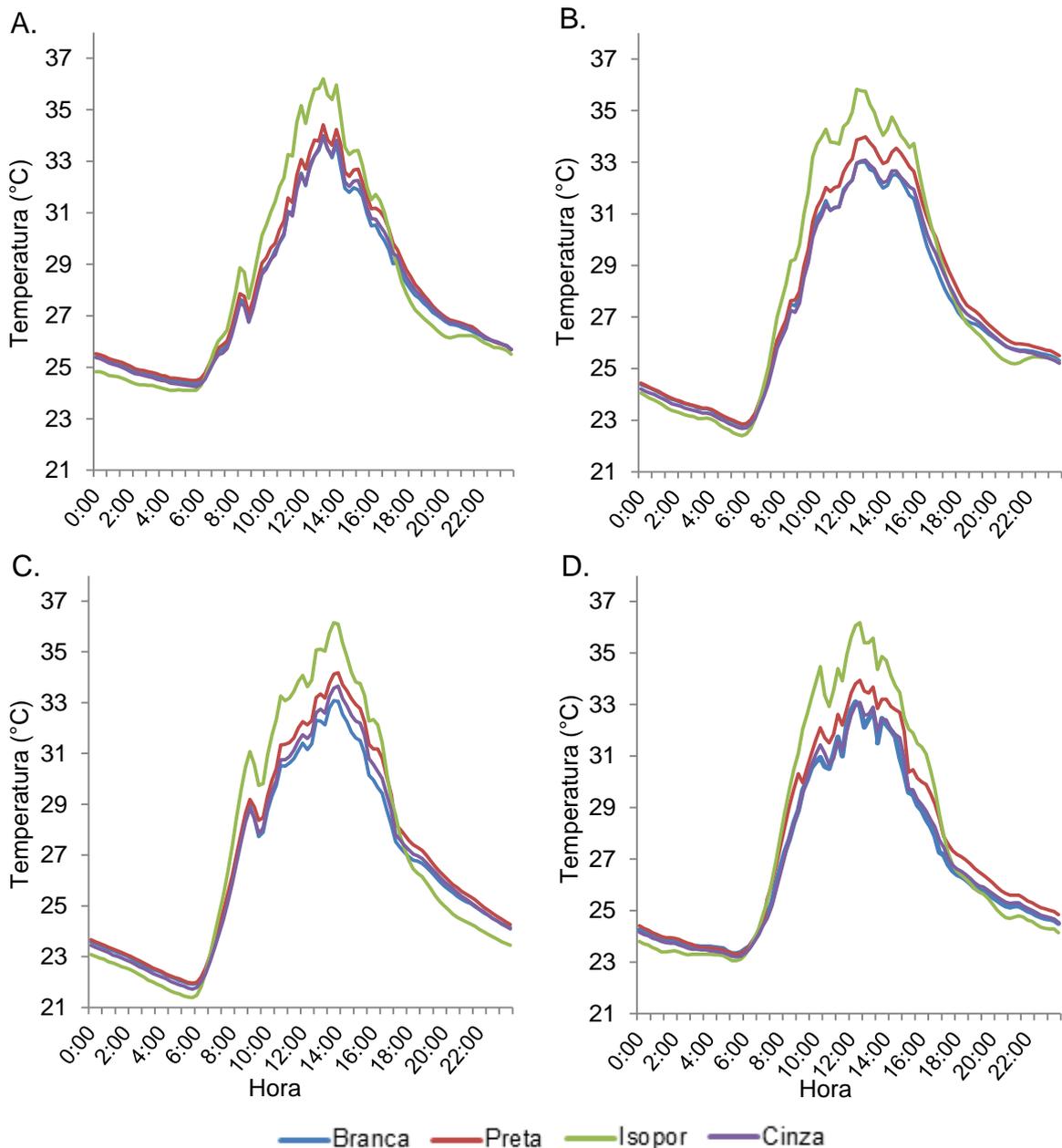


Figura 19 - Variação da temperatura do substrato nas bandejas de cultivo para quatro dias de maior temperatura. A - 06/06, B - 11/06, C - 13/06 e D - 19/06.

A variação da temperatura do substrato nos quatro dias de menor temperatura do ar (Figura 20) apresentou os mesmos padrões de variação observados na Figura 19. Os menores valores de temperatura do substrato nas bandejas de isopor no período noturno e maiores valores no período diurno, comparativamente às bandejas de polipropileno (branco, cinza e preto). No entanto, mesmo nos dias com menor temperatura do ar a temperatura do substrato ultrapassou o limite crítico (29 °C) entre as 10h00min e 16h00min (Figura 20A), 13h30min e 14h30min (Figura 20B) 10h30min e 12h30min (Figuras 20C) e 12h30min e 14h30min (Figura 20D).

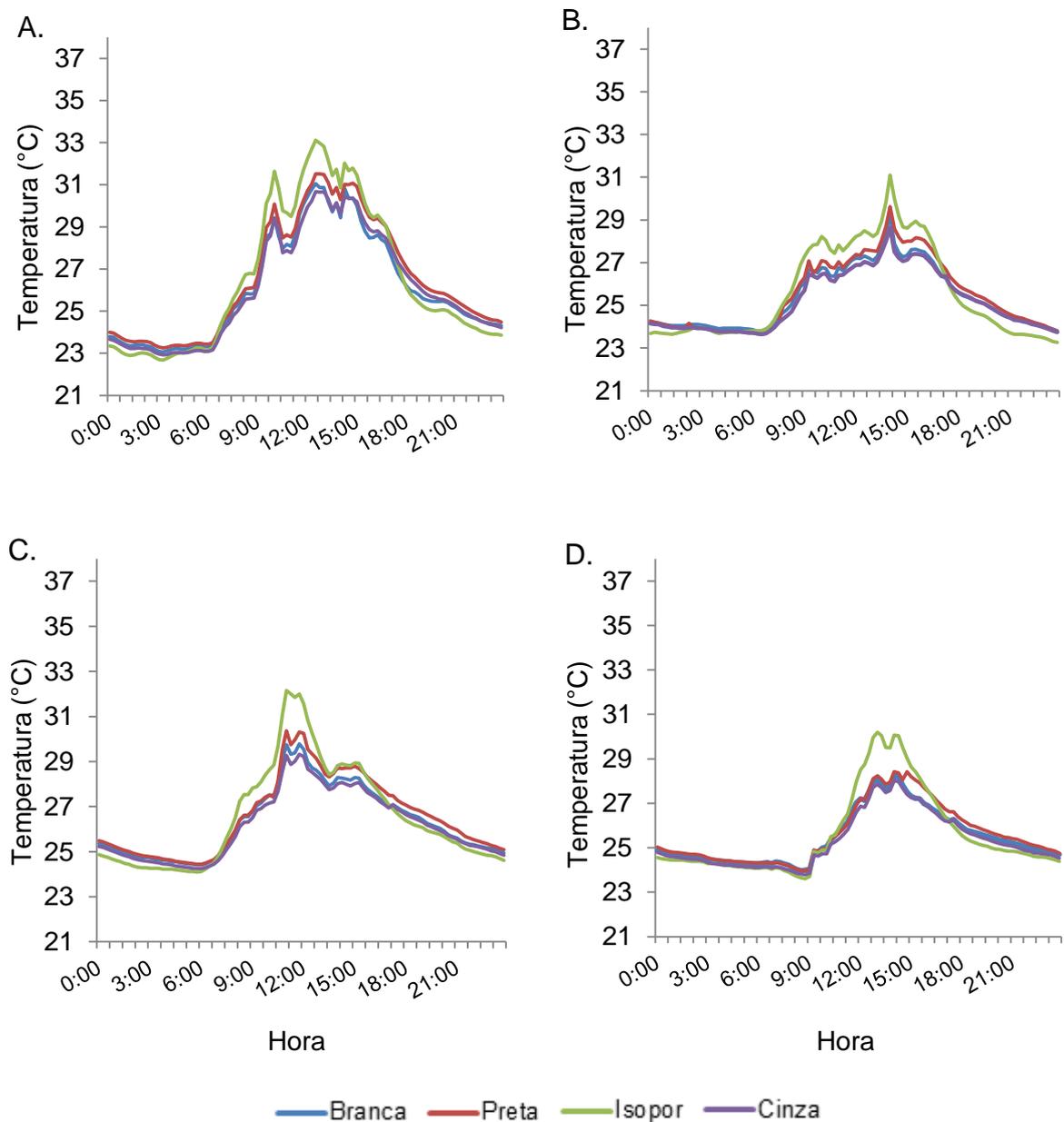


Figura 20 - Variação da temperatura do substrato nas bandejas de cultivo para os quatro dias de menor temperatura, A - 18/06, B - 22/06, C - 24/06 e D - 25/06.

A Figura 21 apresenta a relação funcional entre a temperatura do ar no ambiente protegido e a temperatura do substrato das bandejas de produção de mudas. Os coeficientes de determinação foram elevados ($R^2 \geq 0,93$), o que indica boa associação linear entre as variáveis pesquisadas.

Os coeficientes angulares das equações denotam valores da temperatura do ar superiores aos das bandejas em 0,006, 1,86, 2,7 e 2,79%, para as bandejas de isopor (Figura 21A), preta (Figura 21B), cinza (Figura 21C) e branca (Figura 21D), respectivamente.

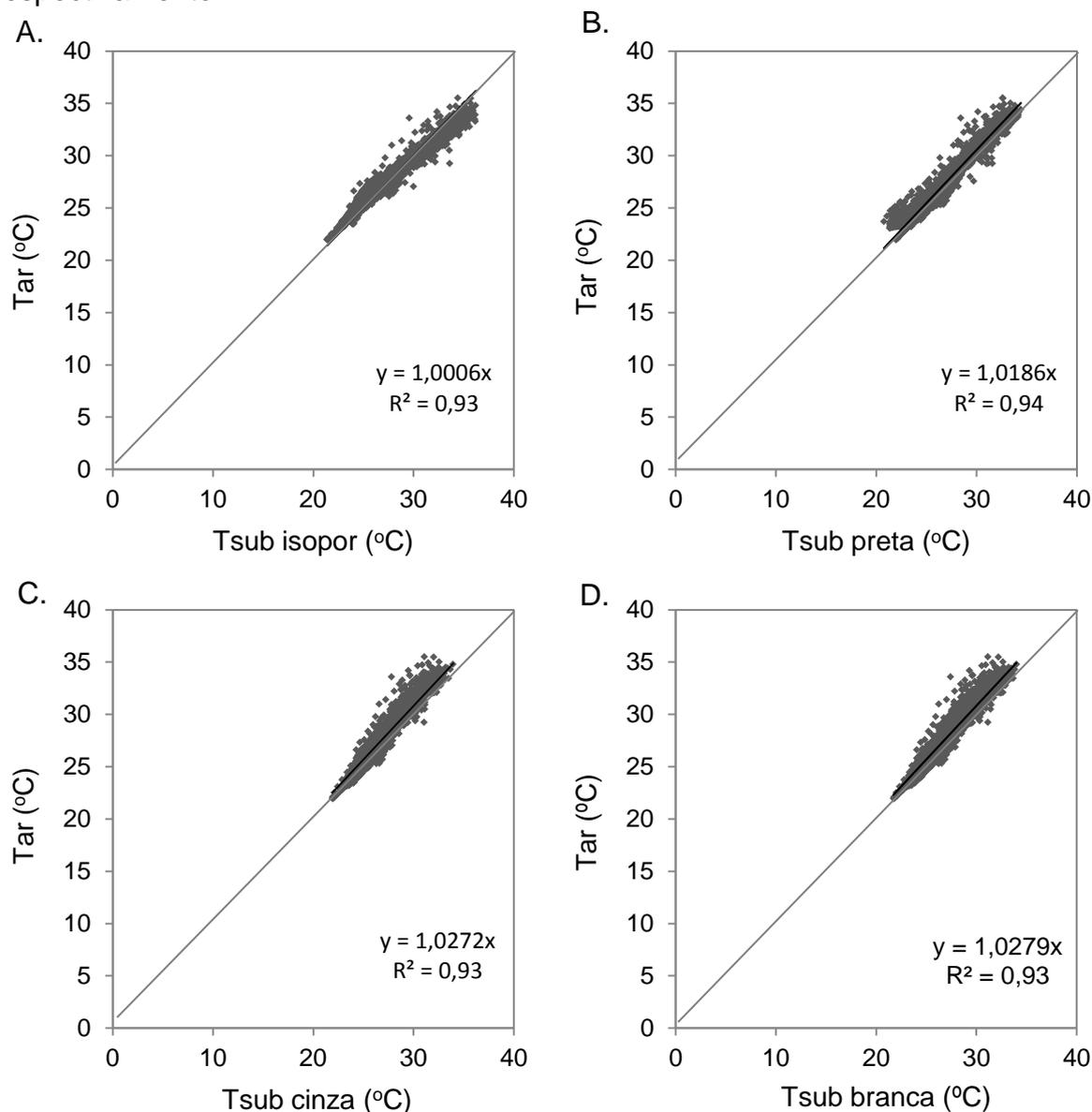


Figura 21 - Relação funcional entre a temperatura do ar (Tar) e a temperatura do substrato na bandeja de isopor (A), na bandeja preta (B), na bandeja cinza (C) e na bandeja branca (D).

5.3. Biometria e qualidade das mudas

O número de folhas (NFm) não apresentou diferença significativa entre as cultivares (Tabela 4), porém, para altura da muda (H), comprimento da raiz (CR), diâmetro do coleto (Dc), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST) a cultivar Vanda apresentou valores maiores que a cultivar Solaris ($P < 0,05$), o que denota mudas mais vigorosas para o transplântio. Para o índice de qualidade de mudas de Dickson (IQD) a cultivar Vanda apresentou proporções mais adequadas que a Solaris ($P < 0,05$), ou seja, coleto grosso e mais raiz (DE FREITAS, 2013).

As variáveis diâmetro do coleto e altura da planta utilizadas no cálculo do IQD são de extrema importância, pois revelam se houve estiolamento. A equação que determina o IQD é balanceada e inclui além da relação da H e Dc, as biomassas secas de raiz e da parte aérea, o que caracteriza maior acurácia na determinação da qualidade da muda (COSTA et al., 2011; SIMÕES et al., 2015).

Tabela 4 - Variáveis biométricas e qualidade das mudas para as cultivares

Cultivar	NFm	H (cm)	CR (cm)	Dc (mm)	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	IQD
Vanda	3,9 a	14,7 a	12,9 a	2,6 a	77,7 a	48,5 a	126,2 a	17,3 a
Solaris	4,0 a	13,7 b	9,04 b	2,4 b	68,2 b	37,8 b	106,0 b	14,4 b
CV (%)	4,34	7,01	18,05	7,25	13,59	11,32	11,93	12,40

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$)

NFm - número de folhas, H - altura, CR - comprimento da raiz, Dc - diâmetro do coleto, MSPA - matéria seca da parte aérea, MSR - matéria seca da raiz, MST - matéria seca total e IQD - índice de qualidade de Dickson.

O fator de variação bandejas não evidenciou efeito significativo ($p > 0,05$) para número de folhas (NFm) e diâmetro do coleto (Dc) das mudas pesquisadas, porém, para altura das mudas (H), comprimento da raiz (CR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST) apresentaram diferenças significativas entre as mudas das suas respectivas bandejas de cultivo (Tabela 5).

As mudas provenientes das bandejas branca e cinza apresentaram mais de quatro folhas definitivas, 4,10 e 4,02, respectivamente. Aquelas obtidas a partir da bandeja preta (3,95) e isopor (3,93) não atingiram, em média, quatro folhas definitivas. Recomenda-se que as mudas de alface apresentem (NFm) entre quatro e seis folhas definitivas para estarem aptas a serem transplantadas (FILGUEIRA, 2008). Entretanto, admitiu-se que as mudas apresentaram condição razoável para o transplântio, independente das bandejas de cultivo (Tabela 5).

Com relação à altura das mudas (H) os melhores resultados foram encontrados nas bandejas branca (14,89 cm), cinza (14,69 cm) e preta (14,04 cm), tendo esta última não diferindo da bandeja de isopor (13,38 cm), tais resultados foram semelhantes ao observado por Freitas et al. (2008) e Guiselini et al. (2012). Segundo Filgueira (2008) mudas com altura maior que 5,41 cm estão aptas ao transplântio; ressalta-se ainda, que a altura das mudas em todas as bandejas avaliadas, superou o valor recomendado.

O comprimento da raiz (CR) apresentou melhor resultado nas mudas provenientes das bandejas brancas, cinzas e pretas, no entanto, com efeito significativo ($p < 0,05$) somente entre o comprimento da raiz das mudas das bandejas branca e isopor, que apresentou os menores valores. As mudas apresentaram valores semelhantes para diâmetro do coleto (Dc) ($p > 0,05$). Segundo Taiz e Zeiger (2013) muda com maior diâmetro do coleto proporciona maior probabilidade de sobrevivência, maior capacidade de constituição e desenvolvimento de raízes novas.

A quantificação de massa seca da parte aérea das mudas (MSPA) é de extrema importância, pois indica que os nutrientes foram assimilados e convertidos em massa seca. Observou-se que as mudas que atingiram maior MSPA foram das bandejas branca, cinza e preta, com efeito significativo ($p < 0,05$) entre as mudas provenientes da bandeja de isopor que apresentou a menor MSPA (Tabela 6).

A matéria seca da raiz (MSR) foi mais expressiva nas mudas das bandejas branca (46,80 g), cinza (43,30 g) e preta (43,62 g), com efeito significativo ($p < 0,05$) somente entre as mudas da bandeja branca e de isopor (38,81 g) que apresentou menor MSR (Tabela 5).

A matéria seca total (MST) das mudas das bandejas branca, cinza e preta apresentaram os melhores resultados e, diferenciaram-se estatisticamente ($p < 0,05$)

da MST das mudas da bandeja de isopor, que apresentaram menor fixação de assimilados e redução no valor da MST, comparativamente as mudas provenientes das bandejas de polipropileno (Tabela 5), isso se deve a maior temperatura do substrato encontrado nesta bandeja, destaca-se ainda, que o menor volume da célula na bandeja de isopor pode ter contribuído para a obtenção dessas diferenças (ZIZAS et al., 2002).

O índice de qualidade de mudas de Dickson (IQD) apresentou valores da ordem de 16,69 a 14,30, a bandeja branca apresentou o maior índice, o que indica que as mudas foram mais vigorosas para o transplante, entretanto, sem efeito significativo para bandeja cinza, mas superior as mudas provenientes da bandeja preta ($p < 0,05$). As mudas da bandeja de isopor apresentaram menor IQD, diferenciando-se estatisticamente das demais, provavelmente devido a maior temperatura do substrato e menor capacidade da célula das bandejas (Tabela 5). Simões et al. (2015) trabalhando com diferentes substratos, encontrou valores de IQD entre 11 e 15, valores inferiores ao observados nesta pesquisa, demonstra a boa qualidade das mudas produzidas.

Tabela 5 - Variáveis biométricas e qualidade das mudas provenientes das bandejas de cultivo

Bandeja	NFm	H (cm)	CR (cm)	Dc (mm)	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	IQD
Branca	4,1 a	14,9 a	12,7 a	2,5 a	76,4 a	46,8 a	123,2 a	16,7 a
Cinza	4,0 a	14,6 a	11,5 ab	2,6 a	78,8 a	43,3 ab	122,1 a	16,4 ab
Preta	3,9 a	14,0 ab	10,9 ab	2,4 a	75,7 a	43,6 ab	119,3 a	16,0 b
Isopor	3,9 a	13,3 b	9,4 b	2,4 a	60,6 b	38,8 b	99,5 b	14,3 c
CV (%)	4,34	7,01	18,05	7,25	13,59	11,32	11,93	12,40

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$)
 NFm - número de folhas, H - altura, CR - comprimento da raiz, Dc - diâmetro do coleto, MSPA - matéria seca da parte aérea, MSR - matéria seca da raiz, MST - matéria seca total e IQD - índice de qualidade de Dickson.

Não foram encontradas interações significativas entre bandejas e cultivares pesquisadas.

5.4. Caracterização micrometeorológica do ambiente protegido (Etapa II)

Na segunda etapa experimental, a temperatura média diária no ambiente protegido foi de 26,92 °C, as temperaturas máximas variaram de 28,51 a 39,57 °C, com média máxima de 36,22 °C, e as mínimas de 20,81 a 23,78 °C, com média mínima de 22,29 °C (Figura 22A). Essas temperaturas são desfavoráveis ao cultivo da alface, já que a temperatura ótima para esta cultura se situa entre 15 e 20 °C; temperaturas acima de 20 °C induzem o florescimento precoce, o que confere sabor adstringente, tornando-a imprópria para consumo (SUINAGA et al., 2013; FERREIRA et al., 2015).

A temperatura do ar no ambiente protegido foi maior que no ambiente externo, já que o balanço de energia no interior do ambiente protegido é menor que no ambiente externo (GUISELINI et al., 2013).

A relação funcional entre a temperatura do ar no interior e exterior do ambiente protegido resultou em um coeficiente de determinação elevado ($R^2 > 0,90$), o que comprova a boa associação linear entre as variáveis pesquisadas. Nota-se pelo coeficiente angular da equação que o valor da temperatura no ambiente protegido foi 2,5% superior ao ambiente externo (Figura 22B).

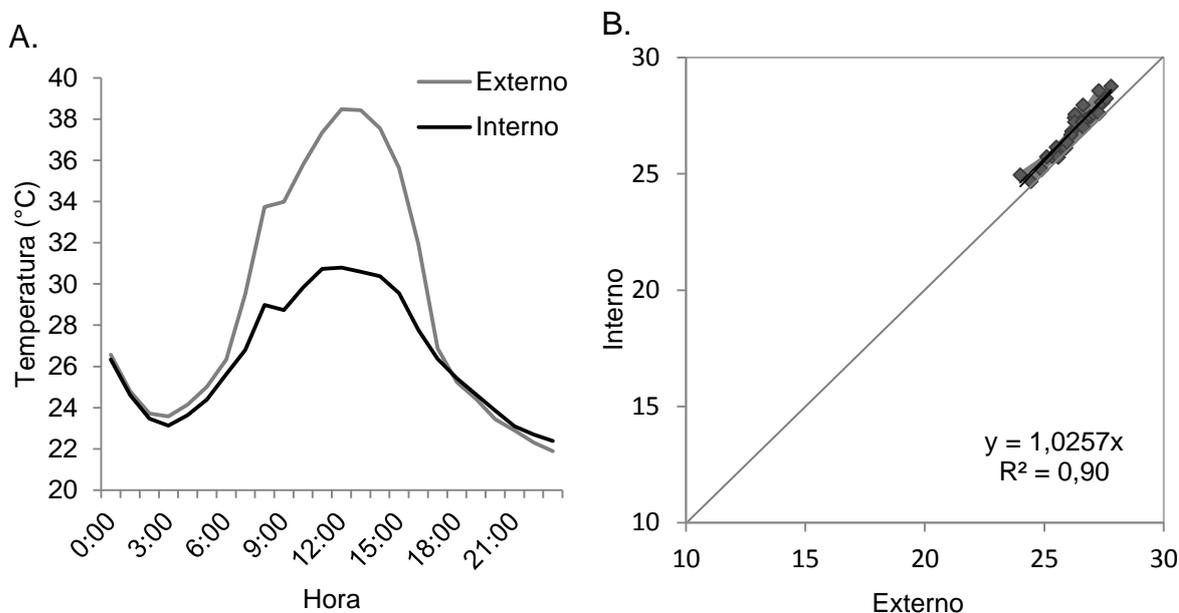


Figura 22 - Variação média horária da temperatura do ar (A) e relação funcional entre temperatura média diária no interior do ambiente protegido e no ambiente externo (B), na etapa II.

No ambiente protegido, ao longo de todo o monitoramento da segunda etapa, a radiação solar global (Rg) foi menor do que no ambiente externo, totalizando 232,56 MJ m⁻² período⁻¹ e 302,03 MJ m⁻² período⁻¹, respectivamente (Figura 23). Essa redução se deve a cobertura plástica que reflete e absorve a radiação, diminuindo a transmissão da Rg para o interior do ambiente protegido (GUISELINI, 2013).

A variação da Rg diária interna e externa apresentou valor da ordem de 9,30 MJ m⁻² dia⁻¹ no ambiente protegido e 12,08 MJ m⁻² dia⁻¹ no ambiente externo, ou seja, acima do limite trófico para a cultura da alface (8,4 MJ m⁻²).

Por outro lado, quando a radiação solar situa-se acima do limite trófico superior poderá não haver aumento no acúmulo de fitomassa, pois as folhas podem atingir o ponto de saturação luminosa e diminuir a conversão de energia solar em energia química (COSTA; LEAL, 2009). Outros autores (TULLIO et al., 2013) citam também que quando o ponto de saturação luminosa da planta é atingido, o que limita a produção não é mais a fotossíntese e sim as reações enzimáticas e a velocidade de absorção do CO². Plantas cultivadas C3, como a alface apresentam ponto de saturação entre 1.000 a 1.500 μmol fótons m⁻² s⁻¹ (LARCHER; DE ASSIS PRADO, 2000), mas para a maioria das hortaliças, esse ponto situa-se ao redor de 1.200 μmol m⁻² s⁻¹ (SÁ; REGHIN 2008).

A média da transmitância do filme plástico de cobertura foi de 76%, o que fez com que a radiação solar em alguns dias permanecesse abaixo do limite trófico. Isso foi ocasionado pela alta nebulosidade, por se tratar da estação de inverno na região, período chuvoso.

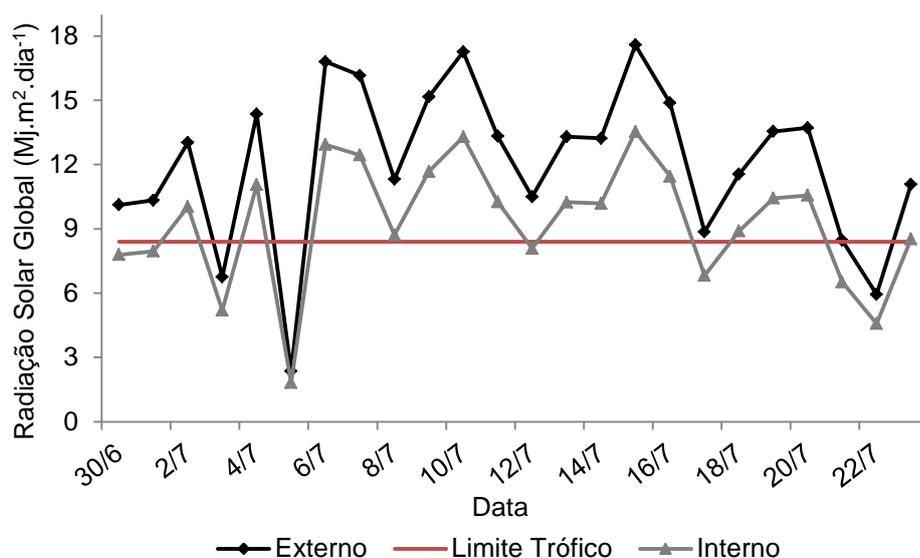


Figura 23 - Limite trófico da alface e variação da radiação solar global (Rg) no interior do ambiente protegido e no ambiente externo.

Os valores médios diários da umidade relativa do ar no ambiente protegido (Figura 24) foram menores que no ambiente externo, isso se deu por conta do período chuvoso na região, que influenciou a umidade relativa do ar; além disso, a umidade relativa do ar é inversamente proporcional a temperatura do ar, desta forma, o aumento da temperatura do ar no ambiente protegido promoveu a redução da umidade relativa no seu interior. A precipitação acumulada para esse período foi de 425,0 mm (GUISELINI et al., 2013; HOLCMAN et al., 2015).

A umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido, na maior parte dos dias apresentou-se dentro dos limites adequados a produção de alface (60 a 80%), segundo Lima Junior (2011). Com o aumento da umidade relativa do ar acima deste limite pode ocorrer perdas de até 60% da produção em decorrência do ataque de fungos e bactérias, refletindo diretamente no preço e oferta do produto no mercado (SALA; COSTA, 2012).

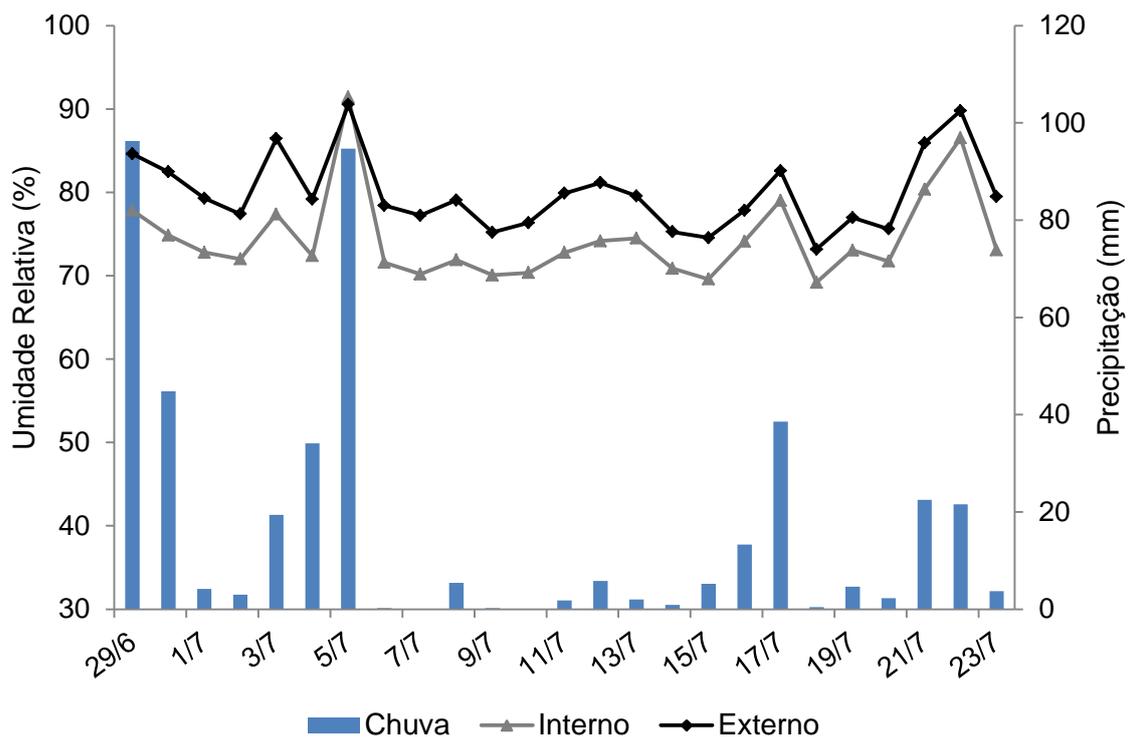


Figura 24 - Médias diárias da umidade relativa do ar (%) no ambiente protegido, no ambiente externo e precipitação (mm).

5.5. Biometria e classificação comercial da alface

Não foi encontrada interação entre o tipo de bandeja e as cultivares pesquisadas. O maior valor do coeficiente de variação foi constatado para o comprimento do caule (18,56%), característica muito influenciada pelo ambiente e o menor valor do coeficiente de variação foi no diâmetro do caule 5,12%, o que indica baixa dispersão entre os dados (Tabela 6).

A avaliação biométrica entre as cultivares não apresentaram diferenças significativas para a maioria das características avaliadas (Tabela 6), no entanto, houve diferença quanto ao número de folhas (NF), em que a cultivar Vanda apresentou maior número de folhas que a Solaris ($p > 0,05$). A tolerância ao pendoamento precoce, identificado pelo comprimento do caule (CC), mostrou que as cultivares apresentaram alta resistência, não diferindo estatisticamente entre si, tais resultados corroboram os encontrados por Suinaga et al. (2013).

Tabela 6 - Variáveis biométricas da alface para as cultivares

Cultivar	MFC (g)	Hp (cm)	DP (cm)	NF	CC (cm)	DC (mm)
Vanda	0,236 a	16,41 a	38,78 a	19,42 a	5,13 a	22,99 a
Solaris	0,225 a	17,24 a	39,71 a	17,67 b	5,72 a	20,26 a
CV%	11,13	9,6	8,82	9,48	18,56	5,12

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$)

MFC - massa fresca comercial, Hp - altura da planta, DP - diâmetro da planta, NF - Número de folhas comerciais, CC - comprimento do caule, DC - diâmetro do caule.

A classificação da alface segundo o Programa Brasileiro de Normas de Classificação (2016), caracterizado pela massa fresca comercial (MFC), aponta que as cultivares alcançaram média entre 200 e 250 g, classe 20. Nas condições de temperaturas elevadas e altas precipitações pluviométricas de Recife, Magalhães et al. (2010) colheram plantas de alface em sistema hidropônico NFT com MFC entre 192 e 136 g. Duarte et al. (2012) obtiveram MFC de no máximo 96 g, essas massas foram inferiores as obtidas nesta pesquisa, que variaram de 206 a 253 g (Tabela 7).

Tabela 7 - Classificação comercial das cultivares de alface seguindo o Programa Brasileiro de Normas de Classificação

Cultivar	CLASSE
Vanda	20
Solaris	20

As plantas produzidas a partir das bandejas de polipropileno (branca, cinza e preta) apresentaram maior massa fresca comercial (MFC), sem efeito significativo entre elas. As plantas provenientes da bandeja branca e isopor apresentaram diferença significativa, sendo que aquelas obtidas a partir da bandeja de isopor apresentou o menor MFC (Tabela 8). De um modo geral, as plantas produzidas apresentaram bom desempenho nas condições climáticas de Recife, com as médias de MFC adequadas à produção comercial (COSTA; SALA, 2012).

Na Tabela 8, nota-se que a altura das plantas (HP) provenientes da bandeja cinza apresentou maior valor, com efeito significativo ($p < 0,05$) apenas entre as plantas da bandeja de isopor. As plantas das bandejas preta e branca não se diferenciaram da bandeja de isopor ($p > 0,05$). Quanto ao diâmetro da planta (DP) os valores ficaram próximos ($p > 0,05$). Essas características fornecem importantes informações, pois a principal forma de acondicionamento das plantas para o transporte ocorre em caixas plásticas (MILHOMENS et al., 2015); plantas com DP

acima de 40 cm podem ser danificadas no transporte, diminuindo a qualidade do produto comercial (SALA; COSTA, 2012).

As plantas das bandejas branca e preta apresentaram o maior número de folhas (NF), com efeito significativo para bandeja de isopor (Tabela 8). As plantas da bandeja cinza não diferenciaram significativamente das de isopor. O número de folhas é uma variável importante, pois, existe tendência mundial de se consumir as folhas de alface processadas e embaladas (SALA; COSTA, 2012).

O comprimento do caule (CC) é uma característica que indica tolerância ao pendoamento precoce, ocasionado em condições climáticas limitantes (JENNI et al., 2013). As plantas provenientes da bandeja preta (6,14 cm) e cinza (5,86 cm) apresentaram CC com indício de pendoamento precoce; as plantas da bandeja branca (5,41 cm) mostraram o menor CC entre as bandejas de polipropileno, porém, sem efeito significativo entre elas. A bandeja de isopor (4,29 cm) foi a que obteve o menor CC, no entanto, sem diferença significativa entre as plantas da bandeja branca. As plantas da bandeja de isopor ainda não tinham se desenvolvido como as demais. Segundo Blind e Silva Filho (2015) o comprimento do caule de até 6 cm são os mais adequados para alface.

As plantas provenientes da bandeja branca foram as que apresentaram o maior diâmetro de caule (DC), 22,67 mm, seguida pela preta (21,57), cinza (21,22) e isopor (21,03), cabe ressaltar que não houve diferença significativa entre as plantas da bandeja branca e preta e entre preta, cinza e isopor (Tabela 8).

Tabela 8 - Variáveis biométricas da alface proveniente das bandejas

Bandeja	MFC (kg)	HP (cm)	DP (cm)	NF	CC (cm)	DC (mm)
Branca	0,253 a	16,90 ab	40,17 a	19,58 a	5,41 ab	22,67 a
Cinza	0,233 ab	17,53 a	39,17 a	18,56 ab	5,86 a	21,22 b
Preta	0,230 ab	17,39 ab	39,14 a	19,25 a	6,14 a	21,57 ab
Isopor	0,206 b	15,48 b	38,50 a	16,78 b	4,29 b	21,03 b
CV (%)	11,13	9,6	8,82	9,48	18,56	5,12

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (P<0,05)
MFC - massa fresca comercial, Hp - altura da planta, DP - diâmetro da planta, NF - Número de folhas comerciais, CC - comprimento do caule, DC - diâmetro do caule.

Segundo o Programa Brasileiro de Normas de Classificação a massa fresca comercial (MFC) alcançada pelas plantas da bandeja branca apresentou limite >250

g e <300 g, classificação 25. As plantas provenientes das bandejas cinza, preta e de isopor obtiveram médias de MFC <250 g e >200 g, classificação 20 (Tabela 9).

Tabela 9 - Classificação comercial das alfaces provenientes das bandejas, seguindo o Programa Brasileiro de Normas de Classificação

Bandeja	CLASSE
Branca	25
Cinza	20
Preta	20
Isopor	20

6. CONCLUSÕES

A bandeja branca apresentou os menores valores de temperatura do substrato e superficial do substrato, o que proporcionou melhor desenvolvimento das mudas e das plantas comerciais de alface.

As variáveis das mudas: altura, número de folhas, comprimento da raiz, matéria seca da raiz, matéria seca total e índice de qualidade e os aspectos das plantas comerciais número de folhas, diâmetro da planta, massa fresca comercial, diâmetro do caule e classificação comercial apresentaram valores mais adequados para as plantas provenientes da bandeja branca.

A temperatura do substrato foi a variável mais relevante na qualidade das mudas e na classe comercial do produto final, nos dois genótipos analisados.

A cultivar Vanda apresentou os melhores resultados para as mudas e para as plantas comerciais nas condições de cultivo.

A bandeja de isopor apresentou menor temperatura superficial que as bandejas de polipropileno, no entanto sem efeito positivo nas variáveis biométricas para as duas cultivares pesquisadas.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, J. R.; DE LIMA, J. L. Termografia para determinação da microtopografia da superfície do solo em diferentes condições de cobertura morta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.3, p.445-453, 2014.

AGUIAR A. T. E.; GONÇALVES C.; PATERNIANI M. E. A. G. Z. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. 7 ed. Campinas: IAC - Instituto Agronômico de Campinas, 2014. 452 p. Boletim Técnico 200.

ALBERONI, R. B. **Hidroponia. Como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo – alface, rabanete, rúcula, almeirão, chicória, agrião.** 1.ed. São Paulo: Nobel. 2004. 120p.

ALMEIDA, A. E. S., NETO, F. B., COSTA, L. R., DA SILVA, M. L., DE LIMA, J. S. S., JÚNIOR, A. P. B. Eficiência agrônômica do consórcio alface - rúcula fertilizada com flor-de-seda. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 79-85, 2015.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENDELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n.6, p. 711-728, 2013.

ANDRIOLO, J.L. Sistema hidropônico fechado com subirrigação para produção de minitubérculos de batata. In: **SIMPÓSIO DE MELHORAMENTO GENÉTICO E PREVISÃO DE EPIFITIAS EM BATATA**, 2006. Anais. Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Fitotecnia, 2006. p.26-40.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTALIÇAS. **Brazilian Vegetable Yearbook**. Santa Cruz do Sul: Gazeta, 92p, 2014.

ARAÚJO, T. S.; KUMAR, K. K.; RAO, T. V. Crescimento da alface-americana em função dos ambientes, épocas e graus-dias. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, 2010.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2.ed., 2010. 269p.

BARNABÉ, J.; PANDORFI, H.; DE ALMEIDA, G. L.; GUISELINI, C.; JACOB, A. L. Thermal comfort and performance Holstein/Gir calves housed in individual shelters with different covers. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n. 5, p. 481-488, 2015.

BENINNI, E.R.Y.; TAKAHASHI, H.W.; NEVES, C.S.V.J. 2003. **Manejo de cálcio em alface de cultivo hidropônico**. Horticultura Brasileira 21: 605-610.

BLAT, S. F.; SANCHEZ, S. V.; ARAÚJO, J. A. C.; BOLONHEZI, D. Desempenho de cultivares de alface crespa em dois ambientes de cultivo em sistema hidropônico. **Horticultura Brasileira**, p. 135-138, 2011.

BLIND, A. D., e SILVA FILHO, D. F. (2014). Productivity performance in cultivars of crisphead lettuce in the dry season of central Amazonia. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 2, 2014.

BLIND, A. D.; e SILVA FILHO, D. F. Desempenho de cultivares de alface americana cultivadas com e sem mulching em período chuvoso da Amazônia. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 9, n. 2, p. 143-151, 2015.

BLANK, A. F., ARRIGONI-BLANK, M. F., CARVALHO FILHO, J. L. S., NETO, A. L. S., AMANCIO-LIMA, V. F. Production of basil seedlings with different types of substrates and recipients. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, 2014.

CAVALCANTI S.D.L.; GUISELINI C.; PANDORFI H.; MENEZES D. Produção de Mudanças de Tomateiro em Bandejas e Genótipos Diferentes. In: **IV SCAPE - SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DE PERNAMBUCO**. Anais. Garanhuns - PE: UFRPE, 2011.

CARMELLO, Q. A. C. Nutrição e adubação de mudas hortícolas. In: MINAMI, K. **Produção de mudas de alta qualidade em horticultura**. São Paulo: T. A. QUEIROZ, cap. 6, p. p. 27-37, 2010.

CARNEIRO, J. G. A. **Variações na metodologia de produções de mudas florestais afetam os parâmetros morfo-fisiológicos que indicam a sua qualidade**. Série Técnica FUPEP, Curitiba: Fupef, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, v. 12, p. 1-40, 1983.

CARNEIRO, R. G., MOURA, M. A. L., DA FONSECA LYRA, R. F., DE ANDRADE, A. M. D., DOS SANTOS, A. B., & MAIA, R. G. X. Fluxo de Calor do Solo e Saldo de

Radiação Dentro de uma Área de Mata Atlântica em Comparação com uma Área de Cana-de-Açúcar. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 3, p. 555-565, 2013.

CARNEIRO, T. A.; GUISELINI, C.; PANDORFI, H.; NETO, J. P. L.; LOGES, V.; DE SOUZA, R. F. Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.11, p. 1086-1092, 2015.

CARVALHO, H. G. **Materiais de cobertura e suas associações a forros e materiais isolantes no ambiente térmico de protótipos abertos e fechados com vistas a produção de frangos de corte em clima quente**. 2013. 91 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, UFV, 2013.

CARVALHO C; KIST BB; POLL H. 2013. **Anuário Brasileiro de Hortaliças**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 83p, 2013.

CASTELLANE P. D.; ARAÚJO J. A. C. **Cultivo sem solo**: hidroponia. Jaboticabal: FUNEP. 43p, 1995.

CEASA/PE - CENTRAL DE ABASTECIMENTO DE PERNAMBUCO. **Comercialização de produtos**. Recife: Central de Abastecimento de Pernambuco. Disponível em: <<http://www.ceasape.org.br/caled.php>>. Acesso em: Janeiro de 2016.

CLIMATEMPO. **Previsão do tempo para Recife, PE**. Disponível em: <<http://www.climatempo.com.br/destaques/category/portalclimatempo/regioes/nordeste/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2016

CILULKO, J.; JANISZEWSKI, P.; BOGDASZEWSKI, M.; SZCZYGIELSKA, E. Infrared thermal imaging in studies of wild animals. **European Journal of Wildlife Research**, v.59, n. 1, p. 17-23, 2012.

CONTEMP - Instrumentos de Medição. **Tabela de Emissividades**. Disponível em: <http://www.contemp.com.br/downloads/pdf/Tabela_de_Emissividades.pdf>. Acessado em 06/02/ 2016.

COSTA, C. P.; SALA, F. C. A evolução da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 1, 2012.

COSTA E; DURANTE LGY; NAGEL PL; FERREIRA CR; SANTOS A. 2011. Qualidade de mudas de berinjela submetida a diferentes métodos de produção. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 4, p. 1017-1025, 2011.

COSTA, E.; VIEIRA, L. C. R.; LEAL, P. A. M.; JARA, M. C. S.; SILVA, P. N. L. Substrate with Organosuper® for cucumber seedlings formation in protected environments and polystyrene trays. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 2, p. 226-235, 2012.

COSTA, E., e LEAL, P. A. Produção de alface hidropônica em três ambientes de cultivo. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 358, 2009.

CRUZ, C.D. **Princípios de Genética Quantitativa**. 22 ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 394p.

DA SILVA, V. D. P., GARCÉZ, S. L., SILVA, B. B. D., ALBUQUERQUE, M. F. D., & ALMEIDA, R. S. Methods for estimating the sugarcane evapotranspiration under rainfed conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 411-417, 2015.

DE CARVALHO, J. B., SABBAG, O. J. Análise de eficiência da produção de alface no noroeste de São Paulo. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 9, n. 2, p. 152 – 160. 2015.

DE FREITAS, G. A.; BARROS, H. B.; DOS SANTOS, M. M.; DO NASCIMENTO, I. R.; DA LUZ COSTA, J.; DA SILVA, R. R. Produção de mudas de alface sob diferentes substratos e proporções de casca de arroz carbonizada. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 4, n. 3, p. 260-268, 2013.

DE MELO JÚNIOR, J. C. F.; GERVÁSIO, E. S.; ARMINDO, R. A. Sistema de automação para o manejo da subirrigação em ambiente protegido. **Irriga**, v. 18, n. 2, p. 337, 2013.

Duarte, A. D. S., Silva, Ê. F. D. F., Rolim, M. M., Malheiros, S. M., & Albuquerque, F. D. S. (2012). Uso de diferentes doses de manipueira na cultura da alface em substituição à adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 262-268, 2012.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

DINIZ, J. M. T.; DANTAS, R. T.; FIDELES F, J.. Spatial-temporal variability of temperature and soil thermal diffusivity from Lagoa Seca-PB. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 4, p. 722-736, 2014.

DUARTE, A. D. S., SILVA, Ê. F. D. F., ROLIM, M. M., MALHEIROS, S. M., ALBUQUERQUE, F. D. S. Uso de diferentes doses de manípueira na cultura da alface em substituição à adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 262-268, 2012.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Protected cultivation in the Mediterranean Climate**. Roma: FAO, 1990. 313p. (Plant Production and Protection Paper, 90).

FERRARI, D. L.; LEAL, P. AM. Use of thermoreflective screens on greenhouses for tomato production. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 2, p. 180-191, 2015.

FERREIRA, L. G.; RIZENTAL, M.; DAL MOLIN, Í. A.; MONDIN, M.; JUNIOR, P. N. Produtividade de cultivares de alface em dois ambientes em várzea Grande-MT. **CONNECTION LINE**, n.13, p. 24 – 35, 2015.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 109-112, 2014.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2008,3. Ed., UFV, Viçosa, MG, 421 p.

FREITAS, A. V. L.; MEDEIROS, M. A.; GUIMARÃES, I. P.; SILVA, J. A.; MARACAJÁ, M. P. B. Produção de mudas de pimentão em função do tipo de bandeja e água de irrigação. **Revista Verde**, v. 3, n. 3. p. 106-109 de abril/junho de 2008.

FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. 5p. (Boletim técnico, 180).

GODYŃ, D.; HERBUT, E.; WALCZAK, J. Infrared Thermography as a Method for Evaluating the Welfare of Animals Subjected to Invasive Procedures—A Review/Termografia jako metoda oceny dobrostanu zwierząt poddanych inwazyjnym zabiegom—artykuł przeglądowy. **Annals of Animal Science**, v.13, n. 3, p. 423-434, 2013.

GRAY, D. Effects of temperature on the germination and emergence of lettuce (*Lactuca sativa*, L.) varieties. **Journal of Horticultural Science**, v. 50, n. 4, p. 349 - 361, 1975.

GUISELINI, C.; CAVALCANTI, S. D. L.; PANDORFI, H.; MENEZES, D.; MELO, R. A.; VIGODERIS, R. B. Tomato Seedlings Protected Cultivation In Different Trays And Genotypes. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING (CIGR-AGENG2012)**, Anais. Valencia, Espanha, 2012.

GUISELINI, C.; SENTELHAS P. C.; PANDORFI H.; HOLCMAN E. Manejo da cobertura de ambientes protegidos: radiação solar e seus efeitos na produção da gérbera. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, p.645–652, 2010.

GUISELINI, C.; PANDORFI, H.; BARROS, A. C.; SILVA, L. F. D.; DA SILVA NETO, S. P. Acclimatization of sugarcane seedlings in a greenhouse under two types of shading screens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.8, p.877–882, 2013.

HENRIQUE, M. C.; PARISI, M. C. M.; PATRI, P. Pós colheita de alface. **Pesquisa e Tecnologia**, v. 9, n. 2, 2012.

HOLCMAN, E.; SENTELHAS, P. C.; MELLO, S. da C. Microclimatic changes caused by different plastic coverings in greenhouses cultivated with cherry tomato in southern Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 125-133, 2015.

HORTIBRASIL - Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura. **Classificação Comercial Da Alface**. Disponível em: <<http://www.hortibrasil.org.br/jnw/classificacao/alface/arquivos/classes.html>> Acesso em: 6 de fevereiro de 2016.

HUANG, F.; ZHAN, W.; JU, W. & WANG, Z. Improved reconstruction of soil thermal field using two-depth measurements of soil temperature. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 711 - 719, 2014.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. Dados Meteorológicos Recife - PE Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sim/gera_graficos.php> Acesso em: 26/02/ 2016.

JENNI, S.; TRUCO, M. J.; MICHELMORE, R.W. Quantitative trait loci associated with tipburn, heat stress-induced physiological disorders, and maturity traits in crisphead lettuce. **Theoretical And Applied Genetics**, v. 126, n. 12, p. 3065 - 3079, 2013.

JENSEN, R. L.; JEROME L. D. Thermal properties of a sandwich construction insulated with Polyurethane. **Danish National**, 2015.

LARCHER, W., e DE ASSIS PRADO, C. H. B. **Ecofisiologia vegetal**, (p. 531). São Carlos: RiMa Artes e textos, 2000.

LEBEDA, A.; DOLEŽALOVA, I.; ASTLEY, D. Representation of Wild Lactuca spp. (Asteraceae, Lactuceae) in world genebank. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 51, p.167-174, 2004.

LIMA, J. L.; ABRANTES, J. R.; SILVA, V. P.; de LIMA, M. I. P.; MONTENEGRO, A. A. Mapping Soil Surface Macropores Using Infrared Thermography: An Exploratory Laboratory Study. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1- 8, 2014.

LIMA JUNIOR, J. A. D., PEREIRA, G. M., GEISENHOFF, L. O., COSTA, G. G., REIS, R. P., OLIVEIRA, L. F. C. D. Avaliação econômica da produção de alface americana em função de lâminas de irrigação. **Ciência Agrotécnica**, v. 35, n. 2, p. 392-398, 2011.

MAGALHÃES, A. G., MENEZES, D., RESENDE, L. V., NETO, E. B. Desempenho de cultivares de alface em cultivo hidropônico sob dois níveis de condutividade elétrica. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 316-320, 2010.

MALDONADE, I. R.; MATTOS L. M.; MORETTI C. L. **Manual De Boas Práticas Na Produção De Alface**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2014. 44 p.

MARINS, A. P. O.; MELO, R. A. S.; ANDRETTI, G. F. Termografia na inspeção preditiva. **Bolsista de Valor**, v. 2, n. 1, p. 95-99, 2012.

MARCOS FILHO, J.; CÍCERO, S. M.; SILVA, W.R. da. **Avaliação Da Qualidade Fisiológica Das Sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230p.

MCCAFFERTY, D. J. Applications of thermal imaging in avian science, **The International Journal Of Avian Science**, v. 155, p. 4-15, 2013.

MCMANUS, C., TANURE, C. B., PERIPOLLI, V., SEIXAS, L., FISCHER, V., GABBI, A. M., & COSTA, J. B. G. Concepta et al. Infrared thermography in animal production: An overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 123, p. 10 - 16, 2016.

MENEGAZZO, M. L., KULCZYNSKI, S. M., OLIVEIRA, A. C., & DA SILVA, E. A. Produção de mudas de pinha em diferentes recipientes utilizando métodos de superação de dormência em sementes. **Agrarian**, v. 6, n. 20, p. 121-129, 2013.

MINAMI, K. **Produção de Mudas de Alta Qualidade**. São Paulo. T.A. Queiroz, 2010. 133p.

MILHOMENS, K. K. B., DO NASCIMENTO, I. R., DE CASTRO TAVARES, R., FERREIRA, T. A., SOUZA, M. E. Avaliação de características agronômicas de cultivares de alface sob diferentes doses de nitrogênio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 143-148, 2015.

NASCIMENTO, G. R. D.; NÄÄS, I. A.; BARACHO, M. S.; PEREIRA, D. F.; NEVES, D. P. Infrared thermography in the estimation of thermal comfort of broilers. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 658-663, 2014.

NASCIMENTO, J. S., DE SÁ MOTTA, I., DA SILVA, F. M., CARNEIRO, L. F., ZANCANARO, R. P. P., & FRÓES, C. Q. Avaliação de substratos de húmus de minhoca na produção de mudas de alface (*Lactuca sativa*) cultivar Lucy Brown. **Cadernos de Agroecologia**, v. 7, n. 2, 2012.

NESMITH, D. S.; DUVAL, J.R. The effect of container size. **HortTechnology**, v. 8, n. 4, p. 495 - 498, 1998.

OKUDA, N., TORIYAMA, K., MIYA, Y., YANAGI, T., YAMAGUCHI, K., & TANAKA, M. Effect of End-of-day Light Irradiation using LED Light Sources on the Growth of

Lettuce under a High Temperature. **Environmental Control in Biology**, v. 52, n. 2, p. 73-77, 2014.

PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 2, p. 558-568, 2012.

PELIZZA, T. R.; SILVEIRA, F. N.; MUNIZ, J.; ECHER, A. H. B.; MORSELLI, T. B. G. A. Produção de mudas de meloeiro amarelo, sob cultivo protegido, em diferentes substratos. **Revista Ceres**, v. 60, n. 2, p. 257-261, 2013.

PEREIRA, P. R. G.; MARTINEZ, H. E. P. Produção de mudas para o cultivo de hortaliças em solo e hidroponia. **Informe Agropecuário**, v.20, p.24-31, 1999.

PEREIRA, W. R.; SOUZA, ROVILSON J DE; YURI, JONY E; FERREIRA, SINDYNARA. Produtividade de cultivares de morangueiro, submetidas a diferentes épocas de plantio. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p. 500 - 503, 2012.

QUICKREPORT. **FLIR QuickReport - User's Manual , 2016** [online]. Disponível em: <http://www.atecorp.com/ATECorp/media/pdfs/data-sheets/FLIR-B200-B250-T250-BCAM_Manual.pdf> Acesso em: 01/02/2016

REBOUÇAS, P. M., DIAS, Í. F., ALVES, M. A., & BARBOSA FILHO, J. A. D. Radiação solar e temperatura do ar em ambiente protegido. **Revista Agrogeoambiental**, v. 7, n. 2, 2014.

ROBOCK, A., K. Y. VINNIKOV, C. A. SCHLOSSER, N. A. SPERANSKAYA, AND XUE Y. K. Use of midlatitude soil moisture and meteorological observations 46 to validate soil moisture simulations with biosphereand bucket models, **Journal of Climate**, v. 8, p. 15-35, 2015.

RYDER E.J. Use of early flowering genes to reduce generation time in backcrossing, with specific application to lettuce breeding. **Journal American Society Horticultural Science**. 1985.

RYDER E. J. **Lettuce, Endive And Chicory**. New York: CABI Publishing, 208 páginas, 1999.

RYDER E. J. **The new salad crop revolution**. Disponível em <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/ncnu02/v5-408.html/>. 2002.

ROBERTO, J. V. B., e DE SOUZA, B. B. Use of infrared thermography in veterinary medicine and animal production. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 2, n. 3, p. 73-84, 2014.

RUEDIGER, F. R. D.; CHACUR, M. G. M.; OBA, E.; AMORIM, A. R.; SOUZA, C. D. D. Termografia Digital Por Infravermelho Do Escroto E Qualidade Do Sêmen Em Touros Nelore (Bos Taurus Indicus). **Colloquium Agrariae**, v. 10, n. 2, p. 67-74, 2015.

SÁ, G.D.; e REGHIN, M.Y. Desempenho de duas cultivares de chicória em três ambientes de cultivo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 378 - 384, 2008.

SAITO, Y., SHIMIZU, H., NAKASHIMA, H., MIYASAKA, J., OHDOI, K. Effect of Distribution of Photosynthetic Photon Flux Density Created by LEDs and Condenser Lenses on Growth of Leaf Lettuce (*Lactuca sativa* var. *angustana*). **Environmental Control in Biology**, v. 51, n. 3, p. 131 – 137, 2013.

SALA F.C; COSTA C.P. Retrospectiva e tendência da alfacecultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012.

SANTOS, L. L.; SEABRA JÚNIOR, S.; NUNES, M. C. M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 83-93, 2010.

SILVA S. C. **Termografia infravermelha para avaliação do incremento calórico causado pela ingestão de volumoso**. 2013.67 f. Dissertação (Mestrado em Mestre em Produção Animal Sustentável) - Nova Odessa – SP, 2013.

SILVA, L. B.; NODARI, I. D. E.; SEABRA J. R. S.; DIAS, L. D. E.; NEVES, J. F. Produção de alface sob diferentes sistemas de cultivo. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n.16, p. 2013 - 1742, 2013.

SILVA, E. C. D., & QUEIROZ, R. L. Formação de mudas de alface em bandejas preenchidas com diferentes substratos. **Bioscience Journal**, p. 725 - 729, 2014.

SIMKO, I.; JIMENEZ-BERNI, J. A.; FURBANK, R. T. Detection of decay in fresh-cut lettuce using hyperspectral imaging and chlorophyll fluorescence imaging. **Postharvest Biology and Technology**, v. 106, p. 44 - 52, 2015.

SIMÕES, A. C., ALVES, G. K. E. B., FERREIRA, R. L. F., & NETO, S. E. A. Qualidade da muda e produtividade de alface orgânica com diferentes condicionadores de substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 4, 2015.

SOARES, W. A. Análise Comparativa do Fluxo de Calor no Solo em Profundidade e na Superfície. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.06, n.04, p. 665-679, 2013.

SOUZA, M. C. M.; RESENDE, L. V.; MENEZES, D.; LOGES, V.; SOUTE, T.A.; SANTOS, V.F.: Variabilidade genética para características agrônômicas em progênies de alface tolerantes ao calor. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n.3, p. 354-358, 2008.

SUINAGA, F. A. **Avaliação fitotécnica de dez genótipos de alface crespa: I – Cultivo Orgânico** – Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2014. 16 p. - (Documentos / Embrapa Hortaliças).

SUINAGA, F. A.; BOITEUX, L. S; CABRAL, C. S; RODRIGUES C. S. **Efeitos do calor e fontes tolerância ao florescimento precoce em variedades de alface do tipo americana** - Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2013. 4 p. - (Documentos / Embrapa Hortaliças).

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre, Artmed Editora S/A, p. 918. 2013.

TESSARIOLI NETO, J. Recipientes, embalagens e acondicionamentos de mudas de hortaliças. In: MINAMI, K. **Produção de mudas de alta qualidade em horticultura**. São Paulo: T. A. QUEIROZ, 2010, cap. 4, p. 59-64.

TRANI, P. E., NOVO, M. C. S. S., CAVALLARO JÚNIOR, M. L., & TELLES, L. M. Produção de mudas de alface em bandejas e substratos comerciais. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 290 - 294, 2004.

TULLIO, J. A., OTTO, R. F., BOER, A., OHSE, S. (2013). Cultivo de beterraba em ambientes protegido e natural na época de verão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1074-1079, 2013.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital. Recife, 2005. 516p.

VIANELLO R. L., ALVES A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. 2a ed. Editora UFV, Viçosa, Brasil. 2012. 460p.

ZIZAS, G. B., SENO, S., FARIA JÚNIOR, M. J. A., & SELEGUINI, A. Interação de cultivares e cobertura do solo na produção e qualidade de alface (período de março a abril de 2001). **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 2, 2002.

VRIES, I. M. Origin and domestication of *Lactuca sativa* L. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 44, p. 165-174, 1997.

WELLS, O. S.; LOY, J. B. Intensive vegetable production with row covers. **HortScience**, v. 20, p. 820-826, 1985.

YURI, J. E.; MOTA, J. H.; SOUZA, R. J.; RODRIGUES JÚNIOR, J. C. Comportamento de cultivares e linhagens de alface americana em Santana da Vargem (MG), nas condições de inverno. **Horticultura Brasileira**, v. 22, p. 322-325, 2004.