

CLÉIA SOUZA MACÊDO

**AJUSTE DE MODELOS DE CRESCIMENTO DA ALFACE
(*Lactuca sativa* L.) CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO
E ESTIMATIVA DA VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE
ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Curso em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

AGRADECIMENTO

A Deus pela vida, saúde e perseverança.

Ao meu pai e a mãe (*in memoriam*), pelos ensinamentos fundamentais para minha vida, pelo apoio, carinho e amor.

Às minhas irmãs, Carla e Cláudia, pelo companheirismo, pela amizade, pelo apoio e amor.

Aos meus sobrinhos, Caíque e Maria Eugênia, a razão da minha alegria.

Ao meu companheiro, José Márcio, por seu amor, pela sua dedicação, paciência e compressão em todos os momentos.

À Sra. Terezinha Leocádia de Castro, Denise de Castro, ao Hélio Neto e à Lycia Fernanda de Castro Oliveira, pelo apoio prestado, pelo carinho e pela compressão.

À minha grande amiga e companheira de luta, Rosângela Maria Evangelista de Carvalho, que sempre me apoiou incondicionalmente e pelos grandes momentos na minha vida acadêmica.

À Universidade Federal de Viçosa e à área da Meteorologia Agrícola pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do programa de Pós-Graduação.

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

Ao professor Sérgio Zolnier, pela orientação, paciência, dedicação, sinceridade, amizade e honestidade.

Aos professores conselheiros Luiz Cláudio Costa e Hermínia Emília Prieto Martinez pelas sugestões e informações necessárias à correção deste trabalho.

Aos professores Aristides Ribeiro, Everardo Chartuni Mantovani, Gilberto Chohaku Sedyama, José Maria Nogueira da Costa, Maria José Hatem de Souza, Marcos Heil Costa e o Paulo Hamakawa, pela cooperação e amizade e pelos ensinamentos na minha formação profissional.

Ao colega Robson, pela ajuda durante a execução do experimento de tese.

Aos amigos Adjalma, Iran, Ana Paula, Nelson, Marcelo Rossi, Catalunha Mônica e Thomaz, que sempre tiveram paciência e estavam prontos para me ajudarem.

Às colegas e amigas Celita e Vanda, pelos momentos de alegria, descontração e companheirismo.

Aos meus colegas e amigos, Adilson Soares, Takeshi, Antônio, Rosandro (Mula), Ricardo, Robson (Alegre-ES), Dalmácio, Zé Luis, Givanildo, Fernando, Hernani, Rommel, Alexandro, Rogério, Dayan, Welliam, Luiz Fabiano, Victor Guilherme, Evaldo, Raquel.

Aos Funcionários Simão e Lucimar do DEA e seu Ribeiro do Departamento de Fitotecnia, pela ajuda, amizade, compressão e pela boa convivência durante a execução do experimento de tese.

Ao funcionário Sr. Geraldo “Coco”, pelo apoio, pelos ensinamentos, e pelas prosas de fim de tarde, durante a minha permanência na área experimental da Meteorologia Agrícola.

Aos funcionários do DEA, Marcos, Tatiana, seu José Galinari, Juvechino, seu Jurandir, dona Fátima, dona Maria, Zé Mauro, Chicão, seu Antônio, Evaristo e Edna, pela amizade, pela boa convivência e pelos momentos de alegria e bate-papo durante o mestrado.

A todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

CLÉIA SOUZA MACÊDO, filha de Maltez Juvenal de Macedo e Carmélia Souza de Macedo, nasceu em 1^o de abril de 1968, em Salvador, Bahia.

Em outubro de 2000, graduou-se em Agronomia, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais.

Em agosto de 2001, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, na área de Interação Planta-Ambiente, submetendo-se à defesa de tese em 25 de maio de 2004.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Expansão do cultivo hidropônico	1
1.2. Condutividade elétrica da solução nutritiva	2
1.3. Estimativa de crescimento da alface.....	4
1.4. Motivação e objetivos da pesquisa proposta	6
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
2.1. Local do experimento, clima e descrição do sistema de cultivo	8
2.2. Casa de vegetação.....	8
2.3. Semeadura e transplantio das mudas	10
2.4. Sistema de aquisição de dados meteorológicos do ambiente de cultivo	11
2.5. Sistema hidropônico	13
2.6. Ajuste da condutividade elétrica (CE) e do pH	14
2.7. Medição do crescimento da alface.....	14
2.8. Taxa de assimilação líquida, razão de área foliar e taxa de crescimento relativo	16

	Página
2.9. Dias após o transplântio (DAT) graus-dia e graus-dias efetivo	17
2.10. Modelos de crescimento	18
2.11. Balanço hídrico no sistema hidropônico	19
2.12. Variação da CE durante o período diurno	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
3.1. Índice de área foliar	24
3.2. Taxa de assimilação líquida e razão de área foliar	27
3.3. Modelagem	31
3.4. Caracterização microclimática do ambiente de cultivo.....	35
3.4.1. Radiação solar global (Rg) e radiação fotossintética ativa (PAR) .	36
3.4.2. Temperatura	37
3.4.3. Umidade relativa.....	39
3.4.4. Vento.....	40
3.5. Estimativa do comportamento típico da condutividade elétrica (CE) durante o período diurno.....	42
4. CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

LISTA DE QUADROS

		Página
1	Sais utilizados para o preparo de 100 L de solução nutritiva	15
2	Sais utilizados para o preparo das soluções de ajuste.....	15
3	Os parâmetros da análise de regressão para taxa de assimilação líquida (TAL), razão de área foliar (RAF) tendo dias após o transplântio (DAT) como variável independente e de matéria fresca da parte aérea da planta (MF), tendo graus-dia (GD) como variável independente. Os resultados referem-se as CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m ⁻¹	31
4	Coeficientes de determinação ajustados dos modelos de crescimento, para alface, com CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m ⁻¹ tendo variáveis independentes dia após o transplântio (DAT), graus-dia (GD) e graus-dias efetivos (GDE)	32
5	Valores estimados dos parâmetros pelo modelo Expolinear, avaliando as CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m ⁻¹ , tendo como variáveis independentes, dias após o transplântio (DAT), graus-dia acumulado (GD) e graus-dias efetivos (GDE), e valores experimentais medidos da taxa de crescimento relativo máxima (r). O erro padrão de estimativa dos parâmetros é apresentado entre parênteses.....	33

6	Valores estimados dos parâmetros pelo modelo Expolinear, avaliando as CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m ⁻¹ , tendo como variáveis independentes, dias após o transplântio (DAT), graus-dia acumulado (GD) e graus-dias efetivos (GDE), e valores experimentais medidos da taxa de crescimento relativo máxima (r). O erro padrão de estimativa dos parâmetros é apresentado entre parênteses.....	34
7	Valores estimados dos parâmetros pelo modelo Gompertz, avaliando as CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m ⁻¹ , tendo como variáveis independentes, dias após o transplântio (DAT), graus-dia acumulado (GD) e graus-dias efetivos (GDE), e valores experimentais medidos da taxa de crescimento relativo máxima (r). O erro padrão de estimativa dos parâmetros é apresentado entre parênteses.....	34

LISTA DE FIGURAS

		Página
1	Vista frontal da casa de vegetação localizada na área experimental da Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.....	10
2	Formação das mudas de alface em células de espuma fenólica	11
3	Placas de aquisição de dados	12
4	Instrumentação agrometeorológica.....	12
5	Valores observados do índice de área foliar – IAF (●), em função dos graus-dia acumulado (GD) após do transplântio, e a curva ajustada pelo modelo (—). Os gráficos A, B e C referem-se aos tratamentos de CE de 0,5, 1,5 e 2,5 dS m ⁻¹ , respectivamente	25
6	Valores observados do índice de área foliar em função das variáveis independentes dias após o transplântio (DAT) e graus-dia acumulado (GD) e as curvas ajustadas pelo modelo expolinear referem-se aos tratamentos com CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m ⁻² , respectivamente.....	26
7	Valores observados da área foliar – AF (○), em função do comprimento característico, e a curva ajustada pelo modelo (—). Os gráficos referem-se aos tratamentos de CE de 0,5, 1,5 e 2,5 dS m ⁻¹ , respectivamente	27

8	Taxa de assimilação líquida e razão de área foliar, em função de dias após o transplântio (DAT). Valores observados e curvas ajustadas pelos modelos referem-se aos tratamentos com CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m ⁻¹ , respectivamente, (●,—), (▲, ---), (■, ...).....	28
9	Valores observados da matéria fresca da parte aérea (●), em função dos graus-dia (GD) acumulados depois do transplântio, e curva (—). Os gráficos referem-se aos tratamentos com CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m ⁻¹ , respectivamente	29
10	Valores observados da matéria fresca em função das variáveis independente dias após o transplântio (DAT) e graus-dias acumulados (GD) e as curvas ajustadas pelo modelo expolinear referem-se aos tratamentos com CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m ⁻² , respectivamente	30
11	Valores observados da matéria seca acumulada em função das variáveis independente dias após o transplântio (DAT) e graus-dias acumulados (GD) e as curvas ajustadas pelo modelo expolinear referem-se aos tratamentos com CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m ⁻² , respectivamente	30
12	Integrais da Radiação solar global (Rg) e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) incidentes no interior da casa de vegetação cultivada com alface em sistema hidropônico (NFT), durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, em Viçosa-MG	37
13	Valores diários da temperatura do ar mínima, média e máxima no interior da casa de vegetação cultivada com alface em sistema hidropônico (NFT), durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, em Viçosa-MG.....	38
14	Valores diários da temperatura máxima do ar e a integral da radiação solar global (Rg) no interior da casa de vegetação cultivada com alface em sistema hidropônico (NFT), durante o período de 06/02/2003 a 04/03/2003, em Viçosa-MG	39
15	Valores diários da temperatura máxima do ar e da umidade relativa do ar, no horário da temperatura máxima, no interior da casa de vegetação cultivada com alface em sistema hidropônico (NFT), durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, em Viçosa-MG	40

16	Valores diários da temperatura máxima do ar e da velocidade do vento, no horário da temperatura máxima, no interior da casa de vegetação cultivada com alface em sistema hidropônico (NFT), durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, em Viçosa-MG	41
17	Comportamento da CE $0,5 \text{ dS.m}^{-1}$ da solução nutritiva do tanque durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, nas condições do experimento, em Viçosa-MG.....	42
18	Comportamento da CE $0,5 \text{ dS.m}^{-1}$ da solução nutritiva na planta durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, nas condições do experimento, em Viçosa-MG.....	43
19	Comportamento da CE $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$ da solução nutritiva do tanque durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, nas condições do experimento, em Viçosa-MG.....	43
20	Comportamento da CE $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$ da solução nutritiva na planta durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, nas condições do experimento, em Viçosa-MG.....	44
21	Comportamento da CE $2,5 \text{ dS.m}^{-1}$ da solução nutritiva do tanque durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, nas condições do experimento, em Viçosa-MG.....	44
22	Comportamento da CE $2,5 \text{ dS.m}^{-1}$ da solução nutritiva na planta durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, nas condições do experimento, em Viçosa-MG.....	45

RESUMO

MACÊDO, Cléia Souza, M.S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2004.
Ajuste de modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa*, L.) cultivada em sistema hidropônico e estimativa da variação da condutividade elétrica da solução nutritiva. Orientador: Sérgio Zolnier.
Conselheiros: Hermínia Emília Prieto Martinez e Luiz Cláudio Costa.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação não-climatizada, com o teto tipo cobertura em arco, coberta com um filme polietileno, com a maior dimensão no sentido leste-oeste, na área experimental da Meteorologia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, em 2003. Os objetivos deste trabalho foram: a) avaliar o ajuste de modelos de crescimento para alface cultivada em sistema hidropônico do tipo NFT sob diferentes níveis de condutividade elétrica (CE); b) caracterizar as condições ambientais no interior de uma casa de vegetação não-climatizada sob um sistema hidropônico do tipo NFT, e c) estimar, para um dia típico de verão, a influência do ambiente na CE da solução nutritiva. O sistema hidropônico do tipo NFT é uma técnica de escoamento laminar da solução nutritiva. A técnica consiste em circular, de forma intermitente, um fluxo laminar de solução nutritiva através do sistema radicular da planta. Foi estudado a cultivar de alface Grand Rapids mantida sob três diferentes níveis de condutividade elétrica

(CE) da solução nutritiva (0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹). A semeadura foi realizada em 15 de janeiro, o transplante para as bancadas definitivas em 05 de fevereiro de 2003. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três tratamentos com diferentes níveis (CE), e duas repetições. Efetuou-se cinco amostragens em intervalos de três dias e a colheita foi feita aos 28 dias após o transplante. Ao final do cultivo foi observado um total de 612,47 °C graus-dia (GD) acumulados. Foram pesadas matérias frescas e secas (folha e caule), as medições de comprimento e largura das folhas e área foliar. O crescimento da alface foi modelado por meio dos modelos expolinear, logístico e Gompertz usando como variáveis independentes dias após o transplante (DAT), graus-dia (GD) e graus-dia efetivo (GDE). As análises de crescimento, os níveis de CE permitiram verificar diferenças estatísticas significativas com relação à matéria fresca final (MF) e a matéria seca final (MS), entre os níveis de CE 0,5 dS m⁻¹ com as CE 1,5 e 2,5 dS m⁻¹, para MF, foi de 64,5 e 62,5% respectivamente, e para a MS foi de 74,7 e 70,7%, respectivamente. Com relação à área foliar (AF) houve diferença estatística entre a CE 0,5 dS m⁻¹ com as CE 1,5 e 2,5 dS m⁻¹, 85,6 e 71,7%, respectivamente, mostrando que a alface sob a CE 0,5 dS m⁻¹ **necessitou de uma área foliar menor para a produção de MS**. Para o índice de área foliar (IAF) a diferença estatística foi entre a CE 0,5 dS m⁻¹ e a CE 2,5 dS m⁻¹, 71,70%. Os modelos de crescimentos (expolinear, logístico e Gompertz) foram capazes de simular muito bem o acúmulo de matéria seca depois do transplante da alface. Os valores dos coeficientes de determinação ajustados foram acima de 0,98 para os modelos avaliados. O índice de área foliar ajustou-se muito bem ao modelo proposto por GOUDRIANAM & MONTEITH (1990), tendo graus-dia (GD) acumulados como variável independente. Os coeficientes de determinação ajustados foram de 92,74, 91,70 e 99,68 % para os tratamentos de CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹, respectivamente. Os resultados de simulação mostraram que a CE da solução nutritiva **sofre oscilações da ordem de 30%** nos horários de maior evapotranspiração. Portanto, a CE do reservatório de armazenamento da solução sofre um aumento gradual de até 55,0% do início da manhã ao final da tarde, resultante do processo de evapotranspiração da cultura. Assim, as principais conclusões deste trabalho na análise de crescimento foram que os **parâmetros** variaram de acordo com a condição

ambiente e com os níveis de CE. A variação da CE, em um dia típico de verão, depende da evapotranspiração da cultura.

ABSTRACT

MACÊDO, Cléia Souza. M.S. Universidade Federal de Viçosa, August 2004.
Adjustment of the growth model for lettuce (*Lactuca sativa*, L.) cropped in a hydroponic system and the estimate of the variation in electric conductivity of the nutritive solution. Adviser: Sérgio Zolnier. Committee members: Hermínia Emília Prieto Martinez and Luiz Cláudio Costa.

The experiment was carried out in a non-acclimatized and arched-covering greenhouse with its higher dimension towards West-East, which was covered with a polyethylene film, and is located at the UFV Agricultural Meteorology experimental area, Minas Gerais State. The NFT hydroponic system was used, which is a nutrient film technique of a nutritive solution. This technique consists of intermittently circulating a film flux of the nutritive solution through the plant root system. The lettuce cv. Grand Rapids was studied under three different levels of electric conductivity (EC) in the nutritive solution (0.5, 1.5 and 2.5 dS m⁻¹). Sowing was performed on January 15, and

transplantation for the definitive crop benches on February 05, 2003, whereas the final harvest was accomplished at 28 days after transplanting. A total of 612.47°C accumulated (DDac) degree-days were observed at the end of the cropping. The objectives of this study were: a) to evaluate the adjustment of the growth models for lettuce cropped in the NFT hydroponic system at different levels of electric conductivity (EC); and b) to estimate the influence of the environment on EC in the nutritive solution for a typical summer day. The entirely randomized experimental design was used, with three treatments (EC) and two replicates (crop benches). Five samplings were made at 3-day intervals. The fresh and dry matters (leaf and stem) were weighed, and the measures of the leaf length and width and leaf area were taken. The growth of the lettuce was modeled by applying the expolineal, logistic and Gompertz models, and using the following independent variables: DAT (days after transplantation), DG (day-degrees) and effective day-degrees (EDD). For growth analysis, ECs showed significant statistical differences, relative to the final fresh matter (FM) and final dry matter (DM), among EC 0.5 dS m⁻¹ and ECs 1.5 and 2.5 dS m⁻¹, that is for FM the difference was 64.5 and 62.5%, while for DM it was 74.7 and 70.7%, respectively. Concerning to the leaf area (LA), there occurred a statistical difference among EC 0.5 dS m⁻¹ and the ECs 1.5 and 2.5 dS m⁻¹, that is 85.6 and 71.7%, respectively. Therefore, when the lettuce was under EC 0.5 dS m⁻¹ it needed a lower leaf area for the DM production. For the leaf area index (LAI), the statistical difference occurred between CE 0.5 dS m⁻¹ and CE 2.5 dS m⁻¹ (71.70%). The growth models (expolineal, logistic and Gompertz) were able to simulate the dry matter accumulation after transplantation of the lettuce. The values of the determination coefficients were above 0.98 for the evaluated models. The leaf area index was well adjusted to the model proposed by GOUDRIANAM e MONTEITH (1990), using the day-degrees as the independent variables. The adjusted determination coefficients were 92.74, 91.70 and 99.68% for the treatments with ECs 0.5, 1.5 and 2.5 dS m⁻¹, respectively. The simulation results showed that EC undergoes oscillations of 30% at the hours with higher evapotranspiration. On the other hand, EC of the solution

storage reservoir is gradually increased up to 55.0% from early in the morning to the end of the afternoon, which is a result from the crop evapotranspiration process. Thus, based on the growth analysis and EC variation, the parameters ranged according to the environmental conditions and are dependent on the climatic elements (temperature and radiation).

1. INTRODUÇÃO

1.1. Expansão do cultivo hidropônico

O desenvolvimento agrícola exige novas técnicas para potencializar a produtividade e minimizar os riscos de produção. A hidroponia apresenta-se como uma alternativa importante para a produção vegetal, pelo fato de reduzir os efeitos do clima e do solo, favorecendo a oferta regular de produtos com alta qualidade e melhores preços na entressafra. Outras vantagens da hidroponia são precocidade da produção, maior produtividade, maior eficiência no uso da água e dos fertilizantes e decréscimo da incidência de pragas e doenças (Furlani, 1998).

O cultivo hidropônico comercial está amplamente difundido em diversos países como Holanda, Estados Unidos, França, Japão e Israel. No Brasil, apesar do grande interesse pelo cultivo hidropônico, existe pouca informação científica a respeito dessa técnica (Martinez, 1997). Segundo Martinez e Barbosa (1996), cultivos hidropônicos comerciais estão sendo conduzidos nos cinturões verdes de São Paulo, Belo Horizonte, Rio de Janeiro e Porto Alegre.

A alface é a espécie mais difundida entre os produtores que cultivam hortaliças em sistemas hidropônicos pelo fácil manejo e ciclo curto da cultura (30-35 dias após o transplantio), garantindo assim, retorno rápido do capital

investido. O cultivo hidropônico mais empregado no Brasil para a produção de alface utiliza a técnica de escoamento laminar de uma solução nutritiva (*NFT – Nutrient Film Technique*). A técnica consiste em circular, de forma intermitente, um fluxo laminar de solução nutritiva através do sistema radicular da planta. O canal de cultivo deve ter uma declividade de 2,0% para facilitar a recirculação e a oxigenação da solução nutritiva (Martinez & Silva Filho, 1997).

Vários trabalhos científicos sobre cultivos hidropônicos foram conduzidos no exterior com a finalidade de aumentar a produtividade da alface. Estudos visando a determinação da formulação e concentração adequadas têm sido conduzidos em diversos países, uma vez que o crescimento da planta não depende somente da disponibilidade de nutrientes, mas também de variáveis ambientais, como temperatura, oxigenação da solução, radiação fotossinteticamente ativa, umidade relativa do ar e fotoperíodo. O ambiente no interior da casa de vegetação é influenciado, por sua vez, pelas características construtivas da instalação e pela taxa de ventilação, os quais alteram respectivamente o balanço de radiação e o balanço de energia do sistema de produção vegetal (Camacho et al., 1995). Além disso, o crescimento é influenciado pelo potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), salinidade da solução, estágio fenológico da planta e cultivar selecionado (Adams, 1994).

1.2. Condutividade elétrica da solução nutritiva

No sistema NFT, a composição da solução nutritiva recirculante é mantida pela reposição da água consumida pelo processo de evapotranspiração e pelo ajuste da condutividade elétrica e do pH. Mantendo-se o volume de água constante no sistema, a depleção de nutrientes na solução é correlacionada com o decréscimo da CE. Dessa forma, os valores da CE determinam indiretamente a quantidade de íons presentes na solução. Segundo Alberoni (2001), a condutividade elétrica para o cultivo de alface em sistema hidropônico deve permanecer na faixa de 1,5 a 3,5 dS m⁻¹.

O controle do pH é outro fator de fundamental importância para otimização do cultivo hidropônico. Devido ao fato de que as soluções nutritivas não têm capacidade tampão, o pH deve ser ajustado diariamente para faixa de 5,5 a 6,5 (Alberoni, 2001). O controle do pH pode ser feito com adição de ácidos (sulfúrico ou clorídrico) e, ou, bases fortes (hidróxido de sódio ou potássio) (Maansson, 1984; Martinez, 1997).

Nos cultivos hidropônicos, é mais acentuada a perda de turgescência das plantas nas horas mais quentes do dia. Este sintoma pode ser resultado do aumento parcial na concentração de sais na solução nutritiva, pois nessas horas as plantas absorvem mais água do que nutrientes, deixando a solução nutritiva mais concentrada. Com a elevação da CE até níveis críticos, as plantas encontram maiores dificuldades para absorver água em razão do aumento da tensão osmótica da solução nutritiva.

No Brasil, a produção de hortaliças em ambiente protegido é realizada sem utilização de equipamentos de climatização do ambiente. Assim sendo, a evapotranspiração da cultura sofre variações marcantes ao longo do período diurno, implicando a variação da CE da solução retida no sistema radicular da planta (Lyra, 2002).

Roh e Lee (1996) utilizaram um instrumento que mede a radiação solar durante o período de uma hora e, paralelamente, mediram com eletrodos a variação dos nutrientes da solução. Com base nessas medições, realizaram o controle preditivo da concentração da solução nutritiva para o pepino (*Cucumis sativas* L.) durante vários estádios de crescimento.

Udagawa (1995), trabalhando com tomilho (*Thymus vulgaris*) em solução nutritiva, com níveis crescentes de CE, observou que a altura das plantas e os pesos de matéria fresca e seca das folhas aumentaram com a elevação da CE.

Schwarz e Kuchenbuch (1997) constataram que o aumento da CE da solução nutritiva resultou em retardo no crescimento e na produtividade do tomateiro (*Lycopersicon lycopersicum*). Além disso, estes pesquisadores observaram uma relação linear entre teor de matéria seca dos frutos e a CE. Os

resultados apresentados sugerem que a elevação da CE implica na redução do peso dos frutos e das raízes e do tamanho das folhas.

1.3. Estimativa de crescimento da alface

A interação do ambiente com a planta é determinante para o crescimento e o desenvolvimento das culturas. A análise de crescimento é uma das técnicas utilizadas para identificar diferenças de crescimento entre espécies e cultivares durante o ciclo da cultura, possibilitando a seleção genética de plantas mais apropriadas para o cultivo em um sistema de produção vegetal sob condições ambientais particulares (Benincasa, 1988).

A análise de crescimento baseia-se em medidas de matéria seca e de área foliar de uma planta ou estandes de plantas, realizadas em intervalos de tempo pré-estabelecidos (Hunt, 1990). Dessa forma, foram criados modelos de crescimento baseado em equações matemáticas capazes de simular o acúmulo de matéria fresca e seca da planta e expansão foliar. Portanto, modelo é uma representação simplificada de um sistema do mundo real. A utilização de modelos de crescimento possibilita o entendimento dos processos físicos e biológicos da cultura e sua interação com o ambiente (Chan, 1992).

Existem vários modelos de simulação do crescimento das plantas, sendo classificados como empíricos e mecanísticos. Os modelos empíricos limitam-se a uma simples descrição dos dados experimentais (Thonley, 1976). Os modelos mecanísticos buscam o entendimento do sistema a ser modelado, baseando-se em pressuposições físicas e, ou, fisiológicas (Monteith, 1996).

As funções matemáticas, como a logística (Pearl & Reed, 1920) e a de Gompertz e de Richards (Amer & Willians, 1957; Richards, 1959), são usadas nos modelos empíricos para descreverem o crescimento das culturas. Estas funções relacionam o acúmulo da matéria seca com o tempo, apresentando uma descrição mais precisa do crescimento. A maioria dessas funções é assintótica, com crescimento exponencial no início, demonstrando que a taxa de crescimento

aumenta até um valor máximo (ponto de inflexão) e, a partir desse ponto, diminui atingindo um valor final.

A função expolinear é um modelo semi-empírico (Goudriaan & Monteith, 1990) para a simulação do crescimento de plantas em um dossel uniforme. O princípio básico deste modelo é que a taxa de crescimento de qualquer cultura é proporcional à radiação interceptada. O modelo expolinear considera que qualquer cultura tem duas fases de crescimento distintas. Na primeira fase, a cultura é constituída por plantas jovens isoladas e, portanto, seu crescimento é exponencial com uma taxa de crescimento relativo constante. Em contraste, a segunda fase consiste de um período de crescimento linear, que se inicia quando ocorre a interceptação máxima da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) pelas plantas (Costa et al., 1999).

A variável independente tempo decorrido (tempo após a emergência, tempo após o transplântio) é comumente utilizada nos modelos de crescimento. Entretanto, as taxas dos processos metabólicos dependem da temperatura. Assumido-se que essa dependência é aproximadamente linear, sendo que o tempo térmico acumulado, expresso em graus-dias (GD), é usado como uma alternativa ao tempo decorrido após a emergência (Tei et al., 1996a). Já que o crescimento das plantas depende também dos níveis de radiação fotossinteticamente ativa. Scaife et al. (1987) propuseram a utilização do tempo fototérmico, conhecido como graus-dias efetivos (GDE), para quantificar os efeitos combinados da temperatura e da radiação fotossinteticamente ativa no crescimento das plantas.

1.4. Motivação e objetivos da pesquisa proposta

Nos Estados Unidos e países europeus, já existem sistemas automáticos que fazem o monitoramento contínuo da solução nutritiva por meio de sensores de condutividade elétrica, possibilitando ajustes da CE em tempo real (Nelson, 1991). No entanto, o monitoramento da CE poderia ser dispensado em sistemas

de cultivos hidropônicos do tipo NFT se modelos de estimativa de evapotranspiração e de crescimento da planta permitissem a quantificação exata da saída de água e de nutrientes do sistema. Embora a matéria seca não indique a proporção de nutrientes extraídos da solução nutritiva pela planta, assim como a condutividade elétrica não indica individualmente os nutrientes presentes, as estimativas da taxa de crescimento e da evapotranspiração da cultura podem ser utilizadas futuramente para o desenvolvimento de um sistema automático e dinâmico de ajuste da concentração de sais na solução nutritiva, sem a necessidade do uso de sensores para medição da CE.

Um estudo experimental foi conduzido por Lyra (2002) para determinação dos parâmetros do modelo de Penman-Monteith (1965) para estimativa de evapotranspiração da alface cultivada em sistema hidropônico. A partir desses parâmetros, é possível realizar estimativas precisas da evapotranspiração durante o ciclo da cultura. No entanto, nesse trabalho, não foi estimada a influência da evapotranspiração na condutividade elétrica da solução nutritiva retida no sistema radicular das plantas após um evento de irrigação, assim como não foi verificada a alteração da CE no reservatório de solução do sistema hidropônico. Além disso, não foram determinados parâmetros de modelos de crescimento para possibilitar estimativas do acúmulo de matéria seca da alface para diferentes níveis de condutividade elétrica.

Diante deste contexto, o presente trabalho teve como objetivos:

a) o ajuste dos modelos exponencial, logístico e Gompertz ao acúmulo de matéria seca da alface cv. Grand Rapids, cultivada com diferentes níveis de condutividade elétrica;

b) caracterizar as condições ambientais no interior de uma casa de vegetação não-climatizada durante o ciclo da alface cultivada em sistema hidropônico do tipo NFT (*Nutrient Film Technique*) na estação do verão em Viçosa-MG; e

c) estimar, para um dia típico de verão, a influência do ambiente na CE da solução retida no sistema radicular e no tanque de armazenamento do sistema hidropônico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local do experimento, clima e descrição do sistema de cultivo

O estudo experimental foi conduzido sob condições de casa de vegetação não climatizada, constituída de estrutura metálica em forma de arco e coberta com polietileno de baixa densidade (PEBD) com 150 μm de espessura. A casa de vegetação tem o seu maior comprimento orientado no sentido leste-oeste e está situada na área experimental da Meteorologia Agrícola, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG (latitude: 20°45' S; longitude: 42°51' W; altitude: 690 m).

O clima da região é temperado quente – mesotérmico com verão chuvoso e úmido. O inverno, por ser muito seco, apresenta noites muito frias e em muitas áreas observa-se a ocorrência de geadas de irradiação nas noites de céu claro. Em contrapartida, a temperatura média no mês mais quente é superior a 22°C. Com base nestas características, a classificação climática da região é Cwa, segundo a metodologia de Köppen.

O experimento foi conduzido em sistema hidropônico do tipo NFT onde o cultivar de alface Grand Rapids (tipo crespa) foi submetido a três níveis de condutividade elétrica (0,5; 1,5 e 2,5 dS m^{-1}). Os dados experimentais foram analisados segundo o delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos (níveis de condutividade elétrica) e duas repetições (bancadas de crescimento).

As bancadas de crescimento foram compostas por cinco perfis hidropônicos com 6,0 m de comprimento, 0,15 m de largura e com orifícios de 0,05 m de diâmetro, onde foram colocadas as mudas do cultivar em estudo. Adotou-se o espaçamento de 0,25 m entre plantas e entre linhas.

2.2. Casa de vegetação

A casa de vegetação utilizada no estudo experimental (Figura 1) tem área interna de 105 m², apresentando 15 m de comprimento e 7 m de largura. A estrutura metálica utilizada para o suporte do material plástico de cobertura foi construída a partir de arcos de aço galvanizado, os quais foram instalados em pilares de concreto armado com seção quadrada, tendo de 10 cm de aresta. O material plástico de cobertura, apresentando 150 µm de espessura, era constituído de um filme de polietileno com aditivos químicos contra a radiação ultravioleta, são mais resistentes.

As paredes laterais da casa de vegetação foram feitas com tela plástica branca com malha de 1 mm, para reduzir a entrada de insetos e outros animais no ambiente de cultivo. Sobre a superfície do solo da casa de vegetação foi colocada uma camada de 5 cm de brita número zero, o que contribuiu para reduzir a deposição de poeira sobre as plantas cultivadas e o crescimento de plantas invasoras abaixo das bancadas de crescimento.



Figura 1 – Vista frontal da casa de vegetação localizada na área experimental da Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

2.3. Semeadura e transplântio das mudas

As sementes de alface, cultivar Grand Rapids, foram semeadas em 15 de janeiro de 2003, caracterizando o cultivo na estação de verão. Aos 22 dias após a semeadura (5 de fevereiro), as mudas com três ou quatro folhas definitivas foram transplantadas para a bancada de cultivo definitiva, onde permaneceram por 28 dias, sendo feita a colheita final em 5 de março de 2003.

As sementes foram germinadas em células de espuma fenólica com formato cúbico, tendo 0,02 m de aresta, as quais foram mantidas em um sistema hidropônico NFT com área de aproximadamente 2 m² (Figura 2). No período de formação das mudas, a solução nutritiva, preparada a partir da formulação proposta por Furlani (1998), foi administrada de forma intermitente com duração de 10 min e intervalos de 50 min entre eventos de irrigação.

O transplântio foi feito no final da tarde para minimizar o estresse hídrico resultante da manipulação das mudas. A solução nutritiva utilizada foi à mesma durante todo o experimento, no período de formação das mudas a CE utilizada foi de 0,8 dS m⁻¹, e após o transplântio, as concentrações foram ajustadas de acordo com os níveis de CE de cada tratamento (0,5; 1,5 e



Figura 2 – Formação das mudas de alface em células de espuma fenólica, sob uma telha de amianto impermeabilizada com plástico e coberta com tecido não tecido (TNT).

2,5 dS m⁻¹). No período compreendido entre o transplântio e a colheita, o regime de aplicação da solução nutritiva passou a ser de 10 min de acionamento e 20 min de intervalo entre eventos de irrigação.

2.4. Sistema de aquisição de dados meteorológicos do ambiente de cultivo

Para medição das variáveis do ambiente no interior da casa de vegetação, foi implementado um sistema automático de aquisição de dados meteorológicos, tendo como plataforma um computador Pentium 133 MHz, acoplado em seu barramento ISA a uma placa de aquisição de dados de 16 canais de entrada analógica e resolução de 16 bits (CYDAS 1602HR, CYBERRESEARCH, Brandford, CT) (Figura 3). Os canais analógicos foram conectados aos sensores responsáveis pelo monitoramento do ambiente de cultivo. Os dados meteorológicos obtidos pelo sistema de aquisição de dados foram: radiação solar global e fotossinteticamente ativa, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do ar (Figura 4).

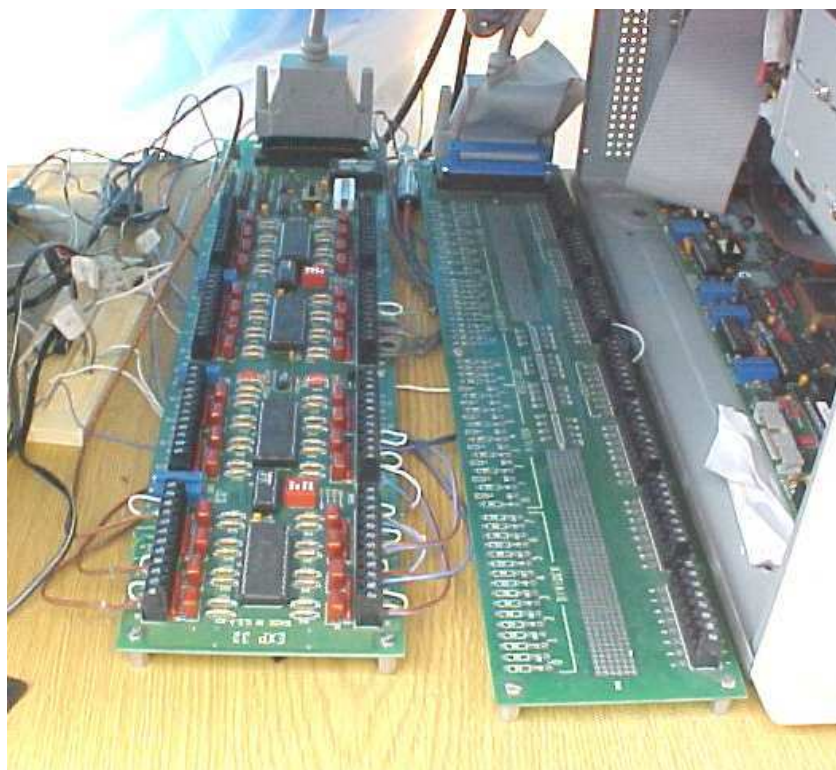


Figura 3 – Placas de aquisição de dados.



Figura 4 – Instrumentação agrometeorológica.

As densidades dos fluxos de radiação solar foram medidas por meio de dois sensores de silício, um para medir a radiação global (Modelo LI 200SA-50, LI-COR Inc., Lincoln-NE, EUA) e outro para medir a radiação fotossinteticamente ativa (Modelo LI 190SA-50, LI-COR Inc., Lincoln-NE, EUA). A temperatura e a umidade relativa do ar foram medidas por meio de um instrumento que combina dois sensores independentes, sendo um para temperatura e outro para umidade relativa do ar (Modelo HUM50Y, VAISALA, Woburn, MA). A velocidade do ar no interior da instalação foi medida utilizando-se um anemômetro de fio quente (Modelo FMA-903-I, OMEGA, Stanford, CT). Os sensores foram posicionados 0,30 m acima do dossel vegetativo da cultura. Os dados ambientais coletados foram armazenados em intervalos de 1 minuto, sendo que cada dado armazenado correspondeu a uma média de cinco medições em intervalos de 1 segundo, obtido no período de 55 a 59 segundos dentro de cada minuta, totalizando cerca de 1440

dados diários de cada variável ambiental. A temperatura média diária foi calculada como sendo a média aritmética de todos os 1.440 valores armazenados em 24 h.

2.5. Sistema hidropônico

O sistema hidropônico utilizado foi o do tipo NFT (*Nutrient Film Technique*). Esta técnica consiste em circular periodicamente uma lâmina de solução nutritiva através do sistema radicular da cultura. Após o término de um evento de irrigação uma fração da solução permanece armazenada no sistema radicular, suprindo assim a demanda de água e nutrientes pela planta até que o conjunto moto-bomba seja acionado novamente. Os eventos de irrigação são controlados por meio de um temporizador (*timer*) associado a um relé eletromecânico que aciona uma moto-bomba em períodos pré-programados. As bancadas de cultivo utilizadas foram construídas de forma a constituir sistemas hidropônicos completamente independentes. Na condução do experimento, foram utilizadas oito bancadas de crescimento, sendo que seis bancadas foram analisadas estatisticamente como unidades experimentais e as duas bancadas restantes foram usadas para o cultivo de plantas de reposição.

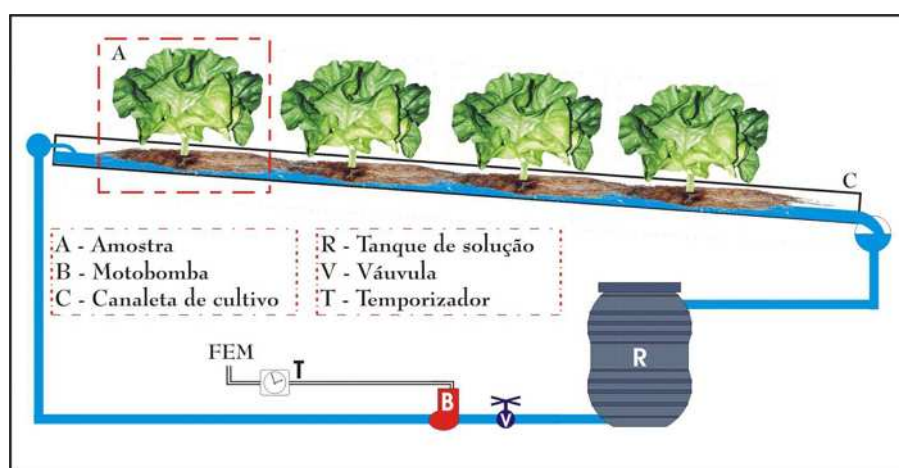


Figura 5 - Sistema de Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT).

2.6. Ajuste da condutividade elétrica (CE) e do pH

A solução nutritiva foi preparada de acordo com a formulação proposta por Furlani (1998) para hortaliças de folhas (Tabela 1). Entretanto, foi feita uma diluição para obter os tratamentos das CE desejadas. O ajuste da CE foi feito utilizando-se as soluções de ajuste propostas pelo mesmo autor (Tabela 2). As soluções de ajuste têm como finalidade manutenção da CE, mediante a adição de nutrientes de acordo com a absorção realizada pela planta durante o ciclo da cultura. Em cada unidade hidropônica foram mantidos 100 L de solução nutritiva em reservatórios plásticos (bombonas) com capacidade de armazenamento de 120 L. Como cada bancada de crescimento tinha capacidade para alocar até 120 plantas, esse dimensionamento possibilitou a média de circulação de solução de 0,83 L/planta. Esse valor está próximo do recomendado por Faquin e Furlani (1999), que é de 1L/planta para o cultivo da alface em sistemas hidropônicos.

Com o objetivo de manter a CE próxima dos valores estabelecidos para cada tratamento, a solução nutritiva foi ajustada manualmente quatro vezes ao dia com base no monitoramento da CE às 8:00, 11:00, 14:00 e 16:00h. O ajuste foi feito adicionando-se, primeiramente, água nos reservatórios do sistema hidropônico. Em seguida, a moto-bomba foi acionada com o objetivo de realizar a homogeneização da solução para então procederem-se as medições da CE em cada reservatório por meio de um condutivímetro portátil. Com base nas medições efetuadas, duas soluções concentradas, denominadas “A” e “B” (Tabela 2) foram adicionadas ao reservatório de cada unidade hidropônica de acordo com a necessidade para atingir a CE desejada de cada tratamento. O pH da solução nutritiva foi ajustado no final tarde, mantendo a faixa 6,0 a 6,5.

2.7. Medição do crescimento da alface

Após o transplantio, foram coletadas cinco plantas de cada repetição (bancadas de crescimento) em intervalos de três dias, totalizando dez amostragens. A primeira amostragem foi realizada na data do transplantio (05/02) e a última aos 27 DAT (04/03). No local de onde foram retiradas as

plantas amostradas, foram colocadas novas plantas, provenientes das bancadas de reposição, isto foi feito a fim de minimizar as alterações no ambiente de cultivo, e estas não foram consideradas nos sorteios das amostragens subseqüentes. As amostras foram identificadas e levadas à balança para que fosse pesada sua matéria fresca, na qual cada amostra foi desmembrada em folhas e caule (parte aérea) e sistema radicular foi descartado. As folhas e caule depois de pesados individualmente e identificados foram condicionados em sacos de plásticos para posteriormente serem determinada à aérea foliar e o comprimento e largura das folhas.

A área da superfície de cada folha foi determinada utilizando-se um medidor de área foliar (Modelo LI 3050A, LI-COR Inc., Lincoln, EUA). Os valores medidos foram totalizados para a obtenção da área foliar das plantas oriundas de cada tratamento. Posteriormente, o resultado foi dividido pela área

Tabela 1 – Sais utilizados para o preparo de 100 L de solução nutritiva

Nº	Nº Sal/Fertilizante	g/100 L
1	Nitrato de cálcio Hydro ® Especial	75,00
2	Nitrato de potássio	50,00
3	Fosfato monoamônico	15,00
4	Sulfato de magnésio	40,00
5	Sulfato de cobre	0,15
6	Sulfato de zinco	0,50
7	Sulfato de manganês	1,50
8	Ácido bórico	1,50
9	Molibdato de sódio	0,15
10	Tenso-Fe ® (FeEDDHMA-6%Fe)	30

Fonte: FURLANI (1998).

Tabela 2 – Sais utilizados para o preparo das soluções de ajuste

Solução	Sal/Fertilizante	g/20 L
A	Nitrato de potássio	600
	Fosfato monoamônico purificado (MAP)	300
B	Sulfato de magnésio	240
	Nitrato de cálcio Hydro ® Especial	200
	Sulfato de cobre	1,0

Sulfato de zinco	2,0
Sulfato de manganês	10,0
Ácido bórico	5,0
Molibdato de sódio	1,0
Tenso-Fe ® (FeEDDHMA-6%Fe)	20,0

Fonte: FURLANI (1998).

do espaçamento destinado para as plantas amostradas, permitindo assim, a obtenção do índice de área foliar (IAF). As medições de comprimento e largura das folhas foram realizadas com um paquímetro de precisão. O comprimento característico foi determinado utilizando as medidas de comprimento e largura de cada folha, pela seguinte relação:

$$L = \frac{(Co_m + La_m)}{2} \quad (1)$$

em que, L é o comprimento característico (m), Co_m é o comprimento máximo (m) e La_m é a largura máxima da folha (m). Os valores do comprimento característico, determinados pela Equação 1, foram correlacionados aos valores de área foliar por meio de um modelo empírico não-linear, previamente utilizado por ZOLNIER (1999) para estacas de “poinsetia” (*Euphorbia pulcherrima* ‘Freedom Dark Red’ Willd. ex Klotzsch), uma planta ornamental, usada muito na época do natal para arranjos, no Brasil ela é conhecida com o nome comum de bico-de-papagaio.

Após a determinação da área foliar, as amostras foram levadas para uma estufa com circulação de ar, permanecendo por 72 horas à temperatura de 70°C, sendo em seguida pesadas em balança de precisão de $\pm 0,001g$ (Modelo MICRONAL B200, Micronal S.A., São Paulo, SP) para quantificação da matéria seca.

2.8. Análise clássica do crescimento: taxa de assimilação líquida e razão de área foliar e taxa de crescimento relativo

A taxa de assimilação líquida (TAL) permite a estimativa da taxa de fotossíntese líquida, em função da matéria seca produzida, em gramas, por metro quadrado de área foliar, por unidade de tempo (Benincasa, 1988; Confalone, 1998).

$$TAL = \frac{w_2 - w_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{\ln(AF_2) - \ln(AF_1)}{AF_2 - AF_1} \quad (2)$$

em que

w_1 e w_2 = matéria seca total da planta (g), excluindo-se as raízes, obtidas a partir de duas amostragens sucessivas 1 e 2;

AF_2 e AF_1 = é a área foliar (m^2), obtidas a partir de duas amostragens sucessivas 1 e 2;

$t_2 - t_1$ = intervalo de tempo entre as amostragens (d).

Esta fórmula é aplicada quando existe uma correlação linear entre a área foliar e a matéria seca.

A razão de área foliar (RAF) fornece a área foliar útil para a interceptação da radiação, sendo um componente morfofisiológico, pois é a razão entre a área foliar (área responsável pela interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e pela absorção de CO_2) e a matéria seca total, resultado da fotossíntese (Benincasa, 1988; Tei et al., 1996b Confalone, 1998).

$$RAF = \frac{AF_2 - AF_1}{w_2 - w_1} \cdot \frac{\ln(w_2) - \ln(w_1)}{\ln(AF_2) - \ln(AF_1)} \quad (3)$$

em que

w_1 e w_2 = matéria seca total da planta (g), excluindo-se as raízes, obtidas a partir de duas amostragens sucessivas 1 e 2;

AF_2 e AF_1 = é a área foliar (m^2), obtidas a partir de duas amostragens sucessivas 1 e 2;

$t_2 - t_1$ = intervalo de tempo entre as amostragens (d).

De acordo com Benincasa (1988), todo crescimento é resultante da produção de matéria seca suficiente para atender às necessidades metabólicas do material já existente e, adicionalmente, para armazenar e, ou, construir novo material estrutural. Portanto, qualquer incremento em matéria seca, altura ou área foliar, ao longo de um determinado período, estará diretamente relacionado ao tamanho alcançado ao longo do período anterior, sendo representado pela taxa de crescimento relativo (r), obtida por:

$$r = \frac{\ln(w_2) - \ln(w_1)}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

em que

w_1 e w_2 = matéria seca total da planta (g), excluindo-se as raízes, obtidas a partir de duas amostragens sucessivas 1 e 2;

$t_2 - t_1$ = intervalo de tempo entre as amostragens (d).

2.9. Dias após o transplantio (DAT), graus-dias (GD) e graus-dias efetivo (GDE)

Os ajustes dos modelos de crescimento aos dados experimentais de matéria seca e de área foliar foram realizados utilizando-se como variáveis independentes os dias após o transplantio (DAT), graus-dias (GD) e graus-dias efetivos (GDE).

Os graus-dias (GD) e graus-dias efetivos (GDE) foram determinados pelas equações propostas por Scaife et al. (1987) e Tei et al. (1996a)

$$GD = \sum_{i=1}^n \left(\bar{T} - T_b \right) \quad (5)$$

$$GDE = GD^{-1} + fRFA^{-1} \quad (6)$$

em que

$\bar{T}$ = temperatura do ar média diária (°C);

T_b = temperatura base da cultura (°C);

i = dia em questão;

RFA = radiação fotossinteticamente ativa integrada durante o período diurno (MJ m⁻²);

f = constante que define a importância relativa da RFA e da temperatura do ar (GD m² MJ⁻¹).

Para o cálculo do GD e GDE para a cultura da alface, os autores recomendam a utilização os valores 3,5 °C e 0,09 GD m² MJ⁻¹ para as variáveis T_b e f , respectivamente.

2.10. Modelos de crescimento

Os modelos de crescimento avaliados foram o expolinear, logístico e Gompertz, os quais foram ajustados de acordo com a variável independente, podendo ser “dias após o transplântio” (DAT), “graus-dias” (GD) ou “graus-dias efetivos” (GDE). A análise de regressão foi realizada com base na aplicação de logaritmos neperianos aos modelos propostos, conforme sugerido por TEI et al. (1996b) para de melhorar o ajuste dos modelos. As equações ajustadas para os modelos são apresentadas a seguir,

a) expolinear:

$$\ln(w) = \ln(c_m/r) + \ln\{\ln[1 + \exp(r(x - t_b))]\} \quad (7)$$

b) logístico:

$$\ln(w) = \ln(w_f) - \ln[1 + (w_f/w_o - 1)\exp(-r x)] \quad (8)$$

c) Gompertz:

$$\ln(w) = \ln(w_o) + r [1 - \exp(-r_d x)]/r_d \quad (9)$$

em que

x = representa a variável independente (DAT, GD ou GDE);

w_o e w_f = matéria seca (g m^{-2}) no início e final do ciclo da cultura, respectivamente, excluindo-se as raízes;

r = taxa máxima de crescimento relativo ($\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$);

c_m = taxa máxima de crescimento absoluto ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

r_d o parâmetro que define o decréscimo da taxa de crescimento relativo;

t_b = tempo perdido ou tempo necessário para o fechamento do dossel (dias, GD ou GDE).

Os ajustes da variação do índice de área foliar (IAF) foram realizados do período do transplântio ao final da cultura, em função dos graus dias (GD) acumulados, de acordo com o modelo proposto por Goudriaan e Monteith (1990).

$$IAF = (1 + K) \ln\{1 + (\exp(k IAF_0) - 1) \exp(rx)\} \quad (10)$$

em que

k = coeficiente de extinção, adimensional;

IAF_0 = índice de área foliar inicial; adimensional;

r = taxa inicial de crescimento relativo ($\text{g}^1 \text{g}^{-1} \text{GD}$);

x = tempo acumulado, expresso em graus-dia (GD).

2.11. Balanço hídrico no sistema hidropônico

Com o objetivo de simular a variação da CE durante o período diurno em sistemas hidropônicos do tipo NFT, foi realizado um balanço hídrico no sistema radicular e no reservatório de armazenamento da solução nutritiva, a partir de estimativas da taxa (valor instantâneo) e da integração (valor acumulado) da evapotranspiração, respectivamente.

O balanço hídrico foi implementado com base na estimativa de evapotranspiração, calculada pelo método de Penman-Monteith, após o período de drenagem. A taxa de evapotranspiração foi integrada em intervalos de 1 minuto a partir do término do período de drenagem. Para estimativa da capacidade de retenção de água na superfície das raízes externas à espuma fenólica ($V_{RETplanta}$), em g planta⁻¹, foi utilizado o modelo expolinear, uma vez que a retenção de solução está intimamente associada com o crescimento da planta e, conseqüentemente, com o sistema radicular. Esse modelo foi ajustado em função da variável independente “graus-dia”, acumulado a partir do transplantio (GD):

$$\ln(V_{RETplanta}) = \ln(a/b) + \ln\{\ln[1 + \exp(b(GD - c))]\} \quad (11)$$

em que a, b e c = parâmetros do modelo expolinear.

Os parâmetros desse modelo para o cultivar Grand Rapids foram determinados experimentalmente por PUGLIESI (2003), sendo a = 0,2521 (± 0,043), b = 0,0141 (± 0,0008) e c = 256,81 (± 23,74). O coeficiente de determinação ajustado para esse cultivar foi de 0,997.

A estimativa da taxa de evapotranspiração da cultura da alface foi obtida pelo modelo de PENMAN (1948), modificado por MONTEITH (1965), conhecido como equação de Penman-Monteith, escrita como:

$$LE = \frac{\Delta(R_n) + \rho_{ar} c_{par} DPV_{ar} / r_h}{\Delta + \gamma(1 + r_c / \eta_1)} \quad (12)$$

em que

LE = evapotranspiração expressa em termos de fluxo de calor latente, $W\ m^{-2}$;

R_n = saldo de radiação à superfície do dossel vegetativo, $W\ m^{-2}$;

Δ $\cong$ variação da pressão de saturação do vapor d'água com respeito à temperatura do ar, sendo avaliada por meio da temperatura de bulbo seco do ar, $Pa\ ^\circ C^{-1}$;

ρ_{ar} = densidade absoluta do ar, $kg\ m^{-3}$;

c_{par} = calor específico do ar à pressão constante, $J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$;

DPV_{ar} = déficit de pressão de vapor d'água do ar, Pa ;

r_h = resistência aerodinâmica ao processo convectivo de transferência de calor sensível, $s\ m^{-1}$;

γ = coeficiente psicrométrico, $Pa\ ^\circ C^{-1}$; e

r_c = resistência da cultura, $s\ m^{-1}$.

A utilização do modelo de Penman-Monteith requer dados de radiação solar, de velocidade do ar, de temperatura e de umidade relativa do ar, os quais foram obtidos pelo sistema de aquisição de dados. Além disto, o modelo requer a determinação da resistência da cultura e da resistência aerodinâmica ao transporte de calor sensível, as quais foram parametrizadas por LYRA (2002).

A evapotranspiração acumulada foi obtida a partir da totalização dos valores da taxa de evapotranspiração, a qual foi determinada para intervalos de 1min após o término do período de drenagem.

2.12. Variação da CE durante o período diurno

No sistema NFT, a concentração de nutrientes da solução circulante é mantida pela reposição da água consumida pelo processo de evapotranspiração e pelo ajuste da CE. Portanto, à medida que o processo de evapotranspiração ocorre, paralelamente, ocorrem alterações da CE da solução nutritiva. Dessa

forma, estimativas dos valores instantâneos da CE, no sistema radicular da alface e no tanque de armazenamento do sistema hidropônico, são importantes para avaliação da influência da evapotranspiração na manutenção dos valores de CE desejados para o cultivo hidropônico.

O valor instantâneo da condutividade elétrica da solução nutritiva armazenada no reservatório do sistema hidropônico (CE_R), em $dS\ m^{-1}$, foi determinado pela equação:

$$CE_R = \frac{CE_{RM} V_{RM}}{V_{RM} - ET_{AD}} \quad (13)$$

em que

CE_{RM} = condutividade elétrica da solução nutritiva armazenada no reservatório do sistema hidropônico no início da manhã (6:00 h), $dS\ m^{-1}$;

V_{RM} = volume de solução armazenada no reservatório do sistema hidropônico no início da manhã, kg; e

ET_{AD} = integral da evapotranspiração da bancada de crescimento, acumulada durante o período diurno, a partir do início da manhã (6:00 h) e final do período da tarde (18:00 h), kg.

Similarmente, o valor instantâneo da condutividade elétrica da solução nutritiva retida no sistema radicular da alface após um evento de irrigação (CE_A), em $dS\ m^{-1}$, foi determinado pela equação:

$$CE_A = \frac{CE_R V_{RET}}{V_{RET} - ET_{EV}} \quad (14)$$

em que

V_{RET} = volume de solução retida no sistema radicular após o término de um evento de irrigação $g\ m^{-2}$; e

ET_{EV} = integral da evapotranspiração entre eventos de irrigação, ou seja, após o término da aplicação de solução, desconsiderando-se 1 min para drenagem, e o instante do acionamento da próxima irrigação, $g\ m^{-2}$.

Para utilização das Equações 2.12 e 2.13 foram considerados os seguintes dados:

a) o volume inicial do reservatório do sistema hidropônico era de 100 L (início da manhã);

b) durante o período de aplicação da solução nutritiva, a CE_A foi considerada idêntica ao valor estimado da condutividade elétrica instantânea do reservatório de solução (CE_R); e

c) a densidade de plantio foi de 16 plantas m^{-2} .

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Índice de área foliar

Os dados do índice de área foliares de todos os tratamentos se ajustaram perfeitamente pelo modelo proposto por Goudriaan e Monteith (1990), reproduzindo um crescimento inicial lento, seguido de um crescimento rápido do IAF. Os coeficientes de determinação ajustados foram de 92,74, 91,70 e 99,68 % para os tratamentos de CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹, respectivamente. Os parâmetros gerados pelo modelo foram o coeficiente de extinção (k) e r (crescimento máximo relativo) para cada tratamento. Os valores de k estimados foram 0,8487 ($\pm 1,1485$), 0,3584 ($\pm 0,4388$) e 1,4615 ($\pm 0,8365$) para as CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹, respectivamente. Os valores de r estimados foram 0,0230 ($\pm 0,0261$), 0,0117 ($\pm 0,0084$) e 0,0408 ($\pm 0,0225$) para os tratamentos de CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹, respectivamente. A Figura 5b ilustra o comportamento do IAF de cada

tratamento em função dos GD acumulados. Os GD acumulados medidos no experimento, foi de aproximadamente de 612,0.

Verificou-se que o IAF máximo para os níveis de CE usadas no experimento foram na ordem de 10,013 para 2,5 dS m⁻¹, seguida de 8,61 para a 1,5 dS m⁻¹ e 7,96 para a 0,5 dS m⁻¹. Ao se trabalhar com os níveis diferente de CE tinha-se a intenção de observar qual a CE resultaria um maior crescimento para alface, já que se partiu do pressuposto de que as condições climáticas foram às mesmas para todos os tratamentos, variando somente as CE da solução nutritiva. Pode-se inferir que as diferenças do IAF estão relacionadas com os valores das CE. Goto (2001) trabalhou avaliando o efeito da CE sobre a produção e desenvolvimento de alface tipo crespa, a CE que proporcionou o melhor desempenho foi a 2,46 dS m⁻¹, e segundo Martinez (1997), o valor mais apropriado da CE para o cultivo hidropônico de alface é aproximadamente 2,5 dS m⁻¹.

Os coeficientes de determinação gerados pelo modelo expolinear tendo como variável independente DAT foram 92,58, 91,85 e 99,73. Entretanto, os valores obtidos nesse estudo, forem ser utilizados para estimativa do IAF de alface, cultivar Grand Rapids, em outras regiões e estações do ano, tendo DAT como variável independente, não devem ser coerentes com os valores experimentais medidos. Por outro lado, o modelo expolinear tendo GD como variável independente deve fornecer resultados mais condizentes com a realidade, uma vez que essa variável representa alterações das condições do ambiente de crescimento das plantas. A Figura 5a ilustra o comportamento do IAF de cada tratamento em função dos DAT.

Outro índice avaliado foi área foliar em função do crescimento característico; as curvas obtidas descrevem um crescimento exponencial, que está ilustrado na Figura 6. Utilizou-se um modelo empírico não-linear para ajustar as curvas. A equação do modelo usada é dada pela relação $AF = a L^b$, o mesmo usado por ZOLNIER (1999) para estimativa da área foliar de plantas de

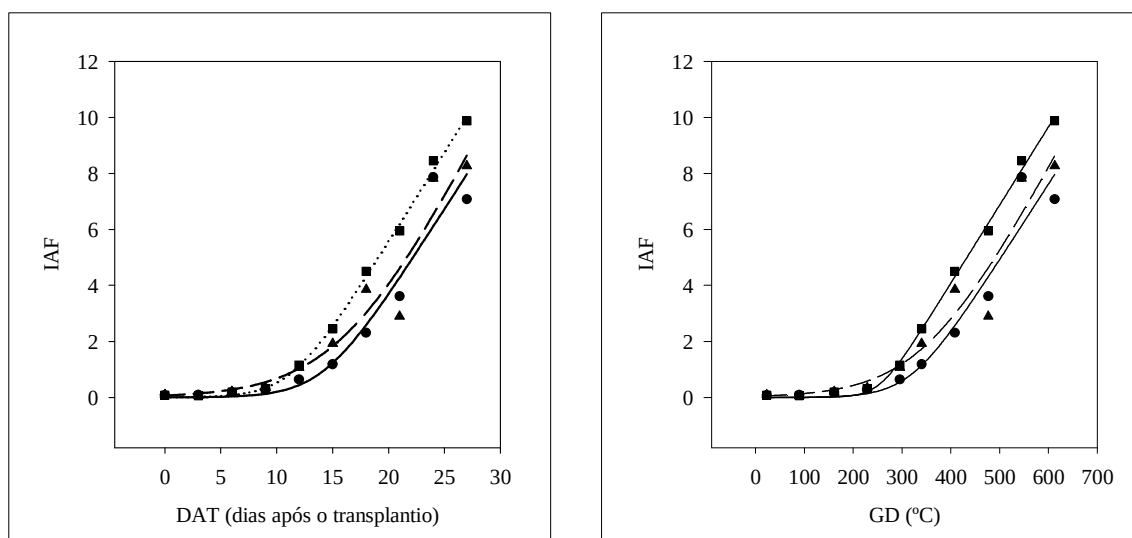


Figura 5 – Valores observados do índice de área foliar (IAF), da alface cv. Grand Rapids, em função das variáveis independentes dias após o transplantio (DAT) e graus-dia acumulado (GD) e as curvas ajustadas pelo modelo expolinear referem-se aos tratamentos com CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻², respectivamente, (●, —), (▲, ---), (■, ...).

“poinsetia” no estágio de propagação vegetativa. Os parâmetros do modelo gerado nesse trabalho foram $a = 0,0486 (\pm 0,0600)$ e $b = 3,0472 (\pm 0,0411)$ para o tratamento com a CE 0,5 dS.m⁻¹, $a = 0,1118 (\pm 0,0151)$ e $b = 2,7320 (\pm 0,0444)$ para o tratamento com a CE 1,5 dS.m⁻¹ e $a = 0,0930 (\pm 0,0123)$ e $b = 2,8203 (\pm 0,0435)$ para o tratamento com a CE 2,5 dS.m⁻¹. Os valores dos coeficientes de determinação ajustados foram de 93,79, 91,07 e 91,76 para os tratamentos de CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹, respectivamente, demonstrando o ajuste perfeito do modelo exponencial. A Figura 6 ilustra o comportamento da área foliar em função das CE.

Os tratamentos que apresentaram os maiores números de folhas por planta foram as CE 1,5 e 2,5 dS m⁻¹, respectivamente (8,46 e 8,57 em média), quando comparado com a o tratamento de CE igual a 0,5 dS m⁻¹ (7,00, em média). Lyra (2001), para o cultivar Grand Rapids, o mesmo usado nesse experimento, utilizando uma CE 1,3 dSm⁻¹, com 430 GD acumulados, observou em média 14,8 folhas por planta, entretanto o período de cultivo fora diferente (outono/inverno). Essa diferença no números de folhas para um mesmo cultivar pode ser explicado

pela diferença do período de cultivo, já que nesse trabalho o experimento foi realizado no verão, as condições climáticas são diferentes, como por exemplo, a temperatura. E uma das

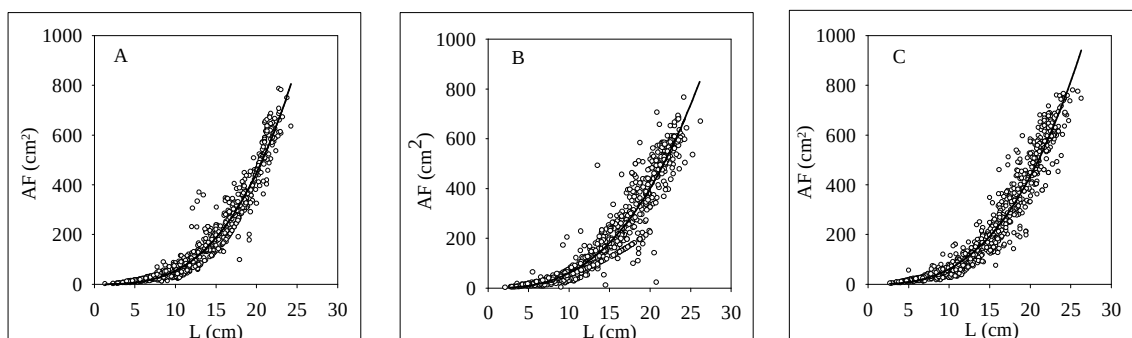


Figura 6 – Valores observados da área foliar – AF ($\circ$), da alfafa cv. Grand Rapids, em função do comprimento característico (L), e a curva ajustada pelo modelo empírico não-linear (—). Os gráficos referem-se aos tratamentos de CE de 0,5, 1,5 e 2,5 dS m^{-1} , respectivamente.

consequências de temperatura elevadas é um aumento na concentração dos nutrientes da solução nutritiva o que implicará em alterações na fisiologia das plantas. Segundo Huet (1994) a solução nutritiva não influencia somente a absorção de água, mas também na absorção dos nutrientes, estando esta intimamente ligadas. E segundo, Mattos (2000), o número de folhas não é um bom indicador de crescimento, já que existem vários fatores que influenciam na produção vegetal.

3.2. Taxa de assimilação líquida e razão de área foliar

A função que ajustou a variação da taxa de assimilação líquida (TAL) com os dias após o transplante (DAT) das plantas foi uma função cúbica e a variação da razão de área foliar (RAF) foi ajustada por função quadrática. Os valores de TAL foram máximo por volta de 12 DAT da cultura, 8,67, 13,21 e 14, 01 $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, para os tratamentos de CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m^{-1} , respectivamente. A partir de 15 DAT decresceram em todos os tratamentos atingindo o mínimo 27 DAT,

apresentando os valores de 0,35, 0,68 e 0,26 $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para as 0,5, 1,5 e 2,5 dS m^{-1} , respectivamente. As curvas para cada nível de CE estão ilustrada na Figura 7.

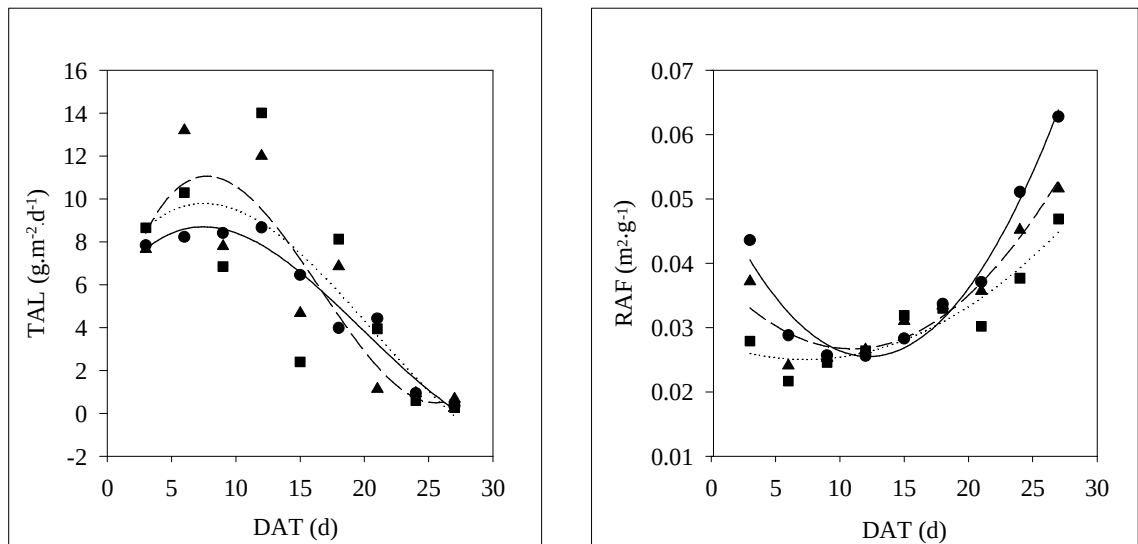


Figura 7 – Taxa de assimilação líquida e razão de área foliar, da alface cv. Grand Rapids, em função de dias após o transplante (DAT). Valores observados e curvas ajustadas pelos modelos polinomiais referem-se aos tratamentos com CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m^{-1} , respectivamente, (●,—), (▲, ---), (■,···).

O fato da TAL da CE 2,5 dS.m^{-1} ser maior que as demais CE 0,5 e 1,5 dS.m^{-1} , deve-se a uma maior expansão da área foliar. A TAL representa a eficiência das folhas na produção de fotoassimilados, o balanço entre o material produzido pela fotossíntese e o perdido através da respiração, Perreira e Machado, (1987). O ajuste das curvas para as CE não foram próximas. A CE 0,5 dS.m^{-1} teve um ajuste perfeito com o coeficiente de determinação ajustado de 93,0 %. Por outro lado, a CE 1,5 teve um bom ajuste, já a CE 2, 5 dS.m^{-1} teve um ajuste baixo, apresentando os coeficientes de determinação ajustado de 88,3 e 37,60%, respectivamente.

O comportamento das curvas da razão de área foliar (RAF), que indica a capacidade de interceptação da radiação solar pela cultura, os valores foram altos no início do ciclo, por volta de 0,04, 0,03 e 0,02 $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$, para as CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS.m^{-1} , respectivamente. Depois ocorreu uma queda da RAF por volta de 9

DAT, para ocorrer um novo crescimento a partir do 18 DAT até atingirem os valores máximos por volta de 27 DAT de 0,06, 0,05 e 0,05 m² g⁻¹, para as CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS.m⁻¹, respectivamente. Segundo Machado et al (1982), os valores elevados da razão de área foliar, indicam que a maior parte do material fotossintetizado foi convertido em folhas, . Portanto, o tratamento com a CE 2,5 dS.m⁻¹, apresentou o menor RAF, isto se deve a um maior sombreamento entre as folhas à medida que ocorria o fechamento do dossel. A RAF obtida para a CE 0,5 dS.m⁻¹ ajustou-se perfeitamente à curva, com o coeficiente de determinação ajustado de 96,0 %. Por outro lado, as CE 1,5 e 2, 5 dS.m⁻¹ tiveram bom ajuste à curva com os coeficientes de determinação ajustado de 88,3 e 61,01, respectivamente.

A produtividade de matéria fresca total da parte aérea (folhas e caule) no final do ciclo foi de 2.350 g m⁻² (147 g por planta) para a CE 0,5 dS m⁻¹, seguida de 3.645 g m⁻² (228 g por planta) para CE 1,5 dS m⁻¹, e finalmente de 3.768 g m⁻² (236 g por planta) para CE 2,5 dS m⁻¹. As médias das CE 1,5 e 2,5 dS m⁻¹ não apresentaram diferenças estatísticas entre si, diferindo ambas da CE 0,5 dS m⁻¹ pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. As diferenças encontradas entre os de valores obtidos nesse trabalho estão relacionados com a concentração da solução nutritiva, já que foram usados três níveis diferentes de CE. Segundo, Muckle (1995), os valores ideais da CE e do pH para determinada espécie cultivada em sistemas hidropônicos são influenciada pela transpiração, a qual tem um papel de destaque importante na relação entre consumo de nutrientes e o consumo de água pela planta.

A estimativa da matéria fresca (MF) ajustou-se perfeitamente ao modelo expolinear em função dos GD acumulados após o transplantio. Os coeficientes de determinação foram 99,68, 99,48 e 99,33 para os tratamentos de CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹, respectivamente. A Figura 8 ilustra o comportamento das curvas do modelo em função dos GD acumulados.

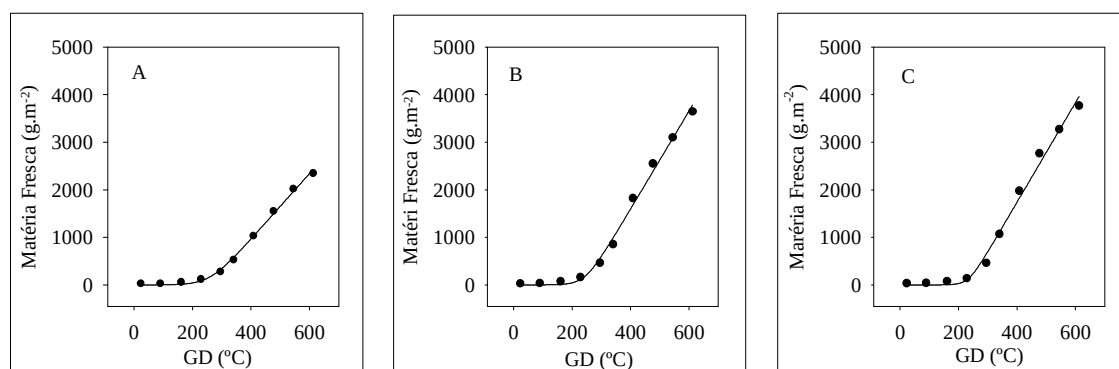


Figura 8 – As figuras A, B e C referem-se aos tratamentos com os níveis de CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m^{-1} , respectivamente. Os valores observados da matéria fresca (MF) da parte aérea (●), da alface cv. Grand Rapids, em função dos graus-dia (GD) acumulados depois do transplântio, e as curvas (—) ajustadas pelo modelo expolinear.

Segundo, Lyra (2002), esse modelo é de grande importância para a correção dos valores de evapotranspiração medidos em sistema hidropônico, uma vez que a água incorporada nos tecidos das plantas não deve ser medida como transpiração. No final do ciclo da cultura essa correção pode alcançar até 15 W m^{-2} , considerando o intervalo de medição de 30 minutos. Embora, tenha sido feita a estimativa do modelo em função do DAT neste experimento. A comparação dos resultados da matéria fresca e seca estimadas pelas duas variáveis independentes (DAT e GD) estão ilustradas pelas Figuras 9 e 10, respectivamente. O resumo dos parâmetros do ajuste dos modelos da TAL, RAF e da MF é mostrado na tabela 3.

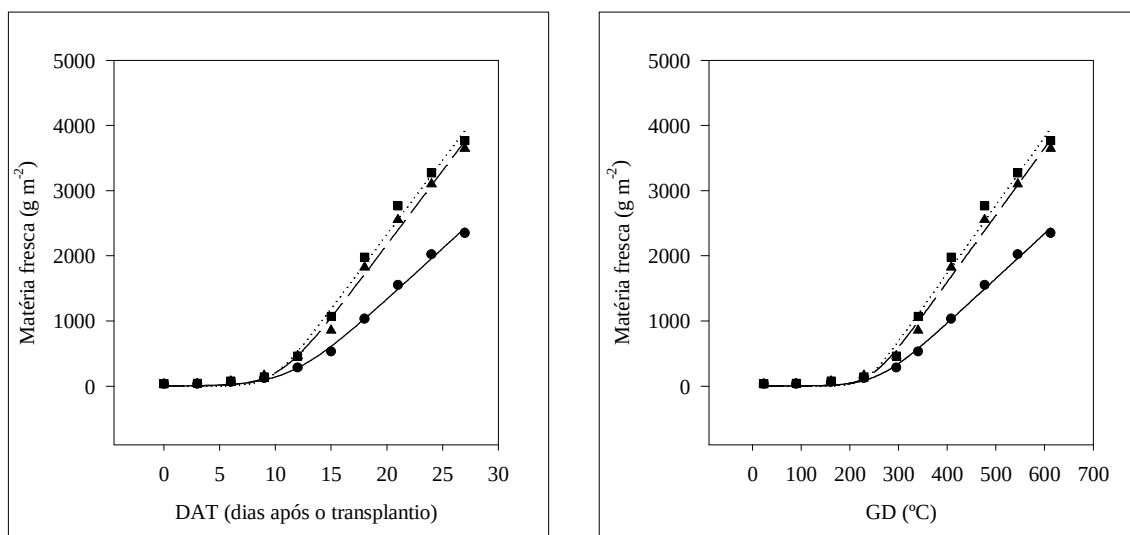


Figura 9 – As figuras A e B referem-se aos valores observados da matéria fresca, da alface cv. Grand Rapids, em função das variáveis independente dias após o transplântio (DAT) e graus-dias (GD) acumulados depois do transplântio, respectivamente. As curvas ajustadas pelo modelo expolinear referem-se aos tratamentos com CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻², respectivamente, (●,—), (▲,— —), (■,···).

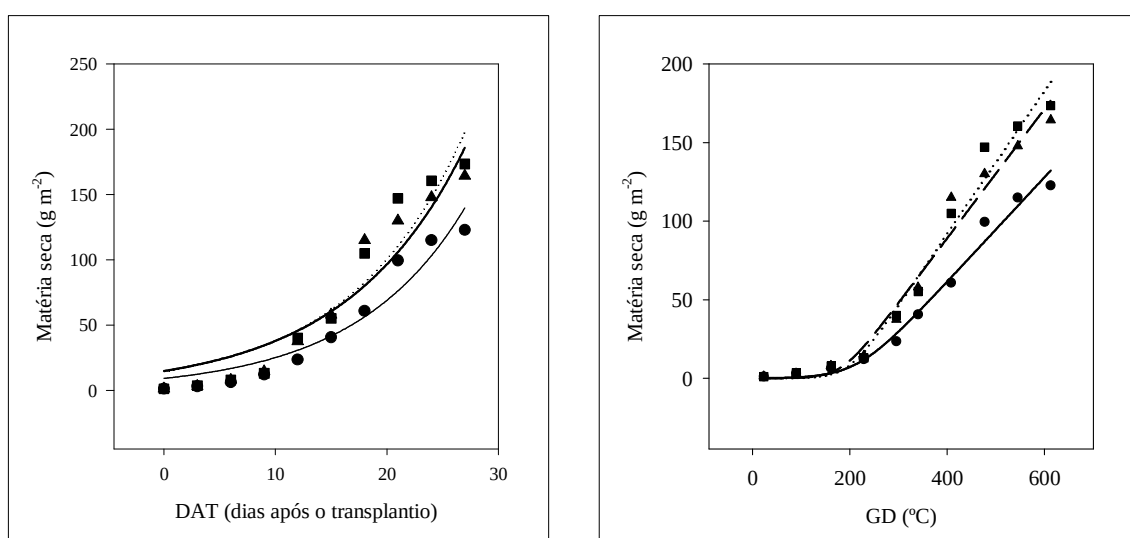


Figura 10 – As figuras A e B referem-se aos valores observados da matéria seca, da alface cv. Grand Rapids, acumulada em função das variáveis

independente dias após o transplântio (DAT) e graus-dias (GD) acumulados depois do transplântio, respectivamente. As curvas ajustadas pelo modelo expolinear referem-se aos tratamentos com CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻², respectivamente, (●,—), (▲,—), (■,—).

Tabela 3 – Os parâmetros da análise de regressão para taxa de assimilação líquida (TAL), razão de área foliar (RAF) tendo dias após o transplântio (DAT) como variável independente e de matéria fresca da parte aérea da planta (MF), tendo graus-dia (GD) como variável independente. Os resultados referem-se as CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹

Modelo	Tratamentos			
	Parâmetros	CE: 0,5 dS.m ⁻¹	CE: 1,5 dS.m ⁻¹	CE: 2,5 dS.m ⁻¹
TAL = a DAT + b DAT ² + c DAT	a	0,9055 (± 0,5093)	2,2318 (± 1,5726)	0,9812 (±2,1775)
	b	-0,0747 (± 0,0384)	-0,1879 (± 0,1187)	-0,0798 (±0,1643)
	c	0,0013 (± 0,0008)	0,0038 (±0,0026)	0,0013 (±0,0036)
	r ²	95,53	79,63	61,01
RAF = a + b DAT + c DAT ²	a	0.0519 (±0.0032)	0.0388 (±0.0040)	0.0277 (±0.0041)
	b	-0,0043 (± 0,0005)	-0,0022 (±0,0006)	-0,0007 (±0,0006)
	c	0,0002 (± 0,0000)	0,0001 (±0,0000)	0,0001 (±0,000)
	r ²	96,07	91,22	86,73
MF = (a/b) ln {1 + exp(b(GD-c))}	a	6,8867 (± 0,397)	10,2874 (±0,5345)	10,4619 (±0,5904)
	b	0,0277 (± 0,0102)	0,0381 (±0,0327)	0,0527(±0,0722)
	c	259,9975 (± 12,2615)	244,8065 (± 12,9614)	233,8643 (± 13,8847)
	r ²	99,68	99,41	

3.3. Modelagem

Os modelos de simulação do crescimento de culturas têm se apresentado, ao longo do tempo, como ferramentas extremamente úteis para o estudo e compreensão da relação clima-cultura (Boote et al., 1996). Dessa forma, diversos modelos vêm sendo utilizados nos últimos anos, com o objetivo de analisar as interações entre clima e produção (Turco et al., 1998). O modelo expolinear supõe um crescimento da cultura em duas fases. Uma exponencial em que a taxa de crescimento aumenta a partir de um valor pequeno, no início do ciclo, até um valor máximo, taxa de crescimento máximo absoluto (C_m) da cultura atingido após o fechamento do dossel, tempo perdido (t_b). A segunda fase é linear, o C_m é

mantido com o mesmo valor, desde que as condições ambientes sejam constantes. A transição da fase exponencial para linear justamente após o fechamento do dossel.

A Tabela 4 apresenta os coeficientes de determinação ajustados para os modelos estudados (Expolinear, Logístico e Gompertz) em função dos dias após transplântio (DAT), graus-dias acumulados (GD) e graus-dias efetivos (GDE) para as três condutividades elétricas (CE) 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹, utilizadas no experimento. Os coeficientes de determinação ajustado foram acima de 98,0 %, o que demonstra que os dados coletados ajustaram-se bem aos modelos.

Tabela 4 – Coeficientes de determinação ajustados dos modelos de crescimento, para alface, com CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹ tendo variáveis independentes dia após o transplântio (DAT), graus-dia (GD) e graus-dias efetivos (GDE)

Modelo	Tratamento	Variável Independente		
		DAT	GD	GDE
Expolinear	CE: 0,5 dS m ⁻¹	99,68	99,50	99,44
	CE: 1,5 dS m	99,35	99,05	98,92
	CE: 2,5 dS m	99,09	98,91	99,04
Logística	CE: 0,5 dS m ⁻¹	99,67	99,69	99,67
	CE: 1,5 dS m	99,71	99,63	99,52
	CE: 2,5 dS m	99,23	99,30	99,22
Gompertz	CE: 0,5 dS m ⁻¹	99,61	99,24	99,14
	CE: 1,5 dS m	98,82	98,33	98,15
	CE: 2,5 dS m	98,91	98,52	98,36

Os coeficientes de determinação para a CE 0,5 dS.m⁻¹ evidenciam um bom ajuste dos dados de acúmulo de matéria seca em função das três variáveis independentes usadas para os modelos Expolinear, Logístico e Gompertz. Como pode ser observado na Tabela 4.

Portanto, pode-se inferir que, quando é dado as mesmas condições climáticas para um cultivar e modificando as CE da solução nutritiva, ela irá

influenciar no crescimento das plantas, área foliar, peso, altura, produção e número de folhas. Como foi observado por UDAGAWA (1995) e SCHWARZ e KUCHENBUCH (1997). O primeiro trabalhou com tomilho e os outros dois trabalharam com tomate, usaram solução nutritiva com diferentes CE.

Visivelmente, todos os modelos se ajustam muito bem para todas as variáveis independentes. No entanto, os parâmetros obtidos por meio da análise de regressão não-linear precisam ser comparados em estudos posteriores para condições meteorológicas diferentes das observadas durante o período de realização do experimento. Assim, espera-se que os modelos, que tenham GD e GDE como variáveis independentes, estime com maior exatidão o acúmulo de matéria seca. Como exemplo, deve-se observar que os parâmetros dos modelos expolinear, logístico e Gompertz, tendo como variável independente DAT, foram ajustados para as condições ambientais medidas na casa-de-vegetação, para o período do verão. Portanto, se os parâmetros obtidos nesse estudo forem utilizados para estimativa do crescimento de alface, cultivar Grand Rapids em outras regiões e estações do ano, os valores estimados, tendo DAT como variável independente, não devem ser coerentes com os valores experimentais medidos. Por outro lado, modelos tendo GD e GDE como variáveis independentes devem fornecer resultados mais condizentes com a realidade, uma vez que essas variáveis representam alterações das condições do ambiente de crescimento das plantas.

As Tabelas 5, 6 e 7, referem-se aos valores estimados dos parâmetros pelos modelos Expolinear, Logístico e Gompertz para os respectivos tratamentos de CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹.

Tabela 5 – Valores estimados dos parâmetros pelo modelo Expolinear, avaliando as CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹, tendo como variáveis independentes, dias após o transplântio (DAT), graus-dia acumulado (GD) e graus-dias efetivos (GDE), e valores experimentais medidos da taxa de crescimento relativo máxima (r). O erro padrão de estimativa dos parâmetros é apresentado entre parênteses

CE	Parâmetros	DAT	GD	GDE
0,5 dS.m ⁻¹	C _m	8,6351 (±0,9048)	0,4313 (±0,0595)	0,6044 (± 0,0595)
	r	0,2850 (±0,0143)	0,0127 (± 0,0008)	0,0173 (± 0,0011)
	tb	11,2459 (±0,8889)	285,2444 (± 24,9606)	211,4290 (± 19,3888)
1,5 dS.m ⁻¹	C _m	11,6511 (±1,6266)	0,5760 (± 0,102)	0,8044 (± 0,1552)
	r	0,3185 (±0,0225)	0,0142 (±0,0011)	0,0193 (± 0,0016)
	tb	10,5614 (±1,1097)	268,3968 (± 29,9872)	198,7206 (± 23,6598)
2,5 dS.m ⁻¹	C _m	12,2990 (±2,0564)	0,6150 (± 0,1196)	0,8605 (± 0,1792)
	r	0,3241 (±0,0268)	0,0144 (± 0,0012)	0,0196 (± 0,0017)
	tb	10,7302 (±1,2988)	273,7423 (± 32,1011)	202,7956 (± 24,9174)

Tabela 6 – Valores estimados dos parâmetros pelo modelo Logístico, avaliando as CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹, tendo como variáveis independentes, dias após o transplante (DAT), graus-dia acumulado (GD) e graus-dias efetivos (GDE), e valores experimentais medidos da taxa de crescimento relativo máxima (r). O erro padrão de estimativa dos parâmetros é apresentado entre parênteses

CE	Parâmetros	DAT	GD	GDE
0,5 dS.m ⁻¹	w _f	136,3326 (±11,2597)	141,3819 (± 11,5942)	142,7402 (± 12,1898)
	r	0,2575 (±0,0089)	0,0118 (±0,0004)	0,0161 (± 0,0005)
1,5 dS.m ⁻¹	w _f	171,6060 (±12,0130)	177,8451 (± 14,3875)	179,3902 (± 16,6009)
	r	0,2907 (±0,0094)	0,0133 (± 0,0005)	0,0181 (± 0,0007)
2,5 dS.m ⁻¹	w _f	183,1558 (±21,6824)	190,5436 (± 22,0686)	192,3283 (± 23,8094)
	r	0,2926 (±0,0153)	0,0134 (± 0,0006)	0,0183 (± 0,0009)

Tabela 7 – Valores estimados dos parâmetros pelo modelo Gompertz, avaliando as CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹, tendo como variáveis independentes, dias após o transplante (DAT), graus-dia acumulado (GD) e graus-dias efetivos (GDE), e valores experimentais medidos da taxa de crescimento relativo máxima (r). O erro padrão de estimativa dos parâmetros é apresentado entre parênteses

CE	Parâmetros	DAT	GD	GDE
----	------------	-----	----	-----

0,5 dS.m ⁻¹	r	0,3567 (±0,0229)	0,0169 (± 0,0016)	0,0230 (± 0,0023)
	r _d	0,0579 (±0,0059)	0,0025 (± 0,0004)	0,0034 (± 0,0005)
1,5 dS.m ⁻¹	r	0,4081 (±0,0448)	0,0195 (± 0,0027)	0,0265 (± 0,0039)
	r _d	0,0655 (±0,0105)	0,0029 (± 0,0006)	0,0038 (± 0,0008)
2,5 dS.m ⁻¹	r	0,4229 (±0,0446)	0,0202 (± 0,0027)	0,0274 (± 0,0038)
	r _d	0,0663 (±0,0101)	0,0029 (± 0,0005)	0,0039 (± 0,0008)

3.4. Caracterização microclimática do ambiente de cultivo

A seguir, são descritas as condições meteorológicas da casa de vegetação do experimento conduzido no período de 06/02/2003 a 04/03/2003.

O ambiente é descrito pela análise dos elementos climáticos, ao longo do ciclo da cultura. Os elementos aqui apresentados são: radiação solar global (R_g) e radiação fotossintética (PAR), temperaturas médias, mínimas e máximas; umidade relativa média e vento.

3.4.1. Radiação solar global (R_g) e radiação fotossintética ativa (PAR)

A radiação global dentro de uma casa de vegetação em parte é usada para o aquecimento das superfícies, neste experimento, foram as canaletas que circulam a solução nutritiva e a brita, que revestia o piso da casa de vegetação. Essa radiação é reemitida na forma de ondas longas, constituindo o calor sensível, utilizada no processo de aquecimento do ar e das plantas no interior da casa de vegetação. E a outra parte radiação global é refletida na forma de ondas curtas, utilizada para o processo da evaporação das águas nas superfícies, principalmente da superfície das folhas das plantas (evapotranspiração), constituindo o calor latente.

A R_g , ao longo do experimento sofreu oscilações normais apresentando valores médios $15,72 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ devido à ocorrência de maior número de dias com pouca nebulosidade. Nos dias 15, 16, 17, 19 e 27/02 os valores de R_g foram menores por causa dos dias com alta nebulosidade, em função das condições climáticas da época do ano, afetando os processos de reflexão e absorção da radiação, que interferiram nos valores da R_g , nesses dias a média ficou torno de $12,36 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

A radiação PAR neste experimento seguiu uma tendência de valores médios de $5,61 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, que em termos de porcentagem representa 35,68% da R_g . Os dados de radiação global e radiação fotossinteticamente ativa podem ser visualizado na Figura 12.

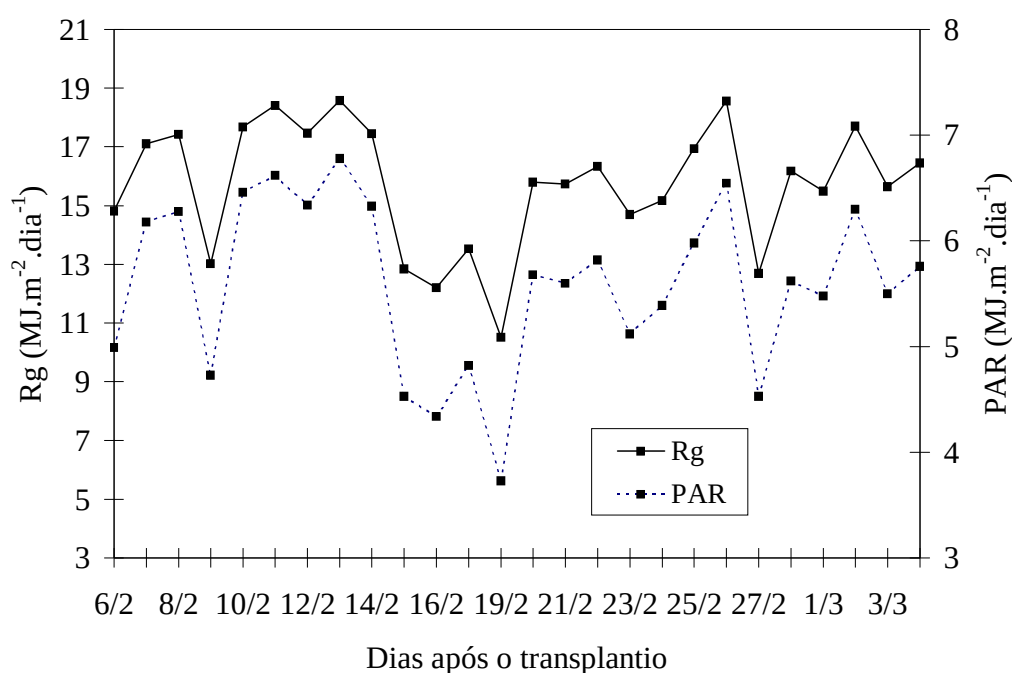


Figura 12 – Radiação solar global (R_g) e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) incidentes no interior da casa de vegetação cultivada com alface em sistema hidropônico (NFT), durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, em Viçosa-MG.

3.4.2. Temperatura

A temperatura do ar expressa, de maneira mais simples, a energia contida no meio (OMETTO, 1981). Segundo CERMEÑO (1990), os fatores que influenciam a temperatura no interior da casa de vegetação são o tipo de material utilizado na cobertura, temperatura externa do ambiente, radiação e vento.

Os valores obtidos das temperaturas média, mínima e máxima diárias no interior da casa de vegetação podem ser visualizada na Figura 13. Observa-se que as temperaturas seguiram a mesma tendência da incidência da radiação global (R_g).

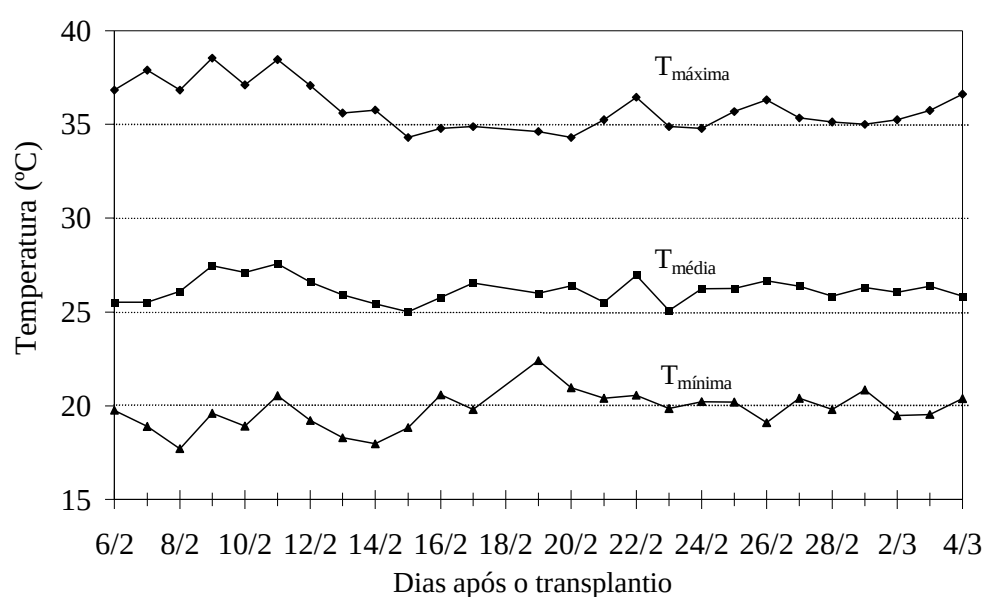


Figura 13 – Valores diários da temperatura do ar mínima, média e máxima no interior da casa de vegetação cultivada com alface em sistema hidropônico (NFT), durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, em Viçosa-MG.

A temperatura influencia não só no acúmulo de matéria seca, na expansão foliar, podendo torná-la mais larga ou curta, como a média diária do experimento foi em torno de 26,17 °C. Pode-se observar que a temperatura média está bem próxima da temperatura mínima. Portanto, deve-se ter cuidado ao utilizar a média das temperaturas extremas para determinar a temperatura média, podendo esta ser superestimada por esse procedimento. O método mais recomendado é o

adotado pelo Instituto Nacional de meteorologia (INMET), em que a temperatura média é obtida pela expressão:

$$T_m = \frac{(T_9 + T_{m\acute{a}x} + T_{m\acute{i}n} + 2T_{21})}{5} \quad (15)$$

em que

T_9 e T_{21} = representam as leituras feitas às 9 e às 21 h; e

$T_{m\acute{a}x}$ e $T_{m\acute{i}n}$ = representam a temperatura máxima e mínima respectivamente.

Na Figura 14 pode-se visualizar o comportamento da temperatura máxima diária em relação a Rg.

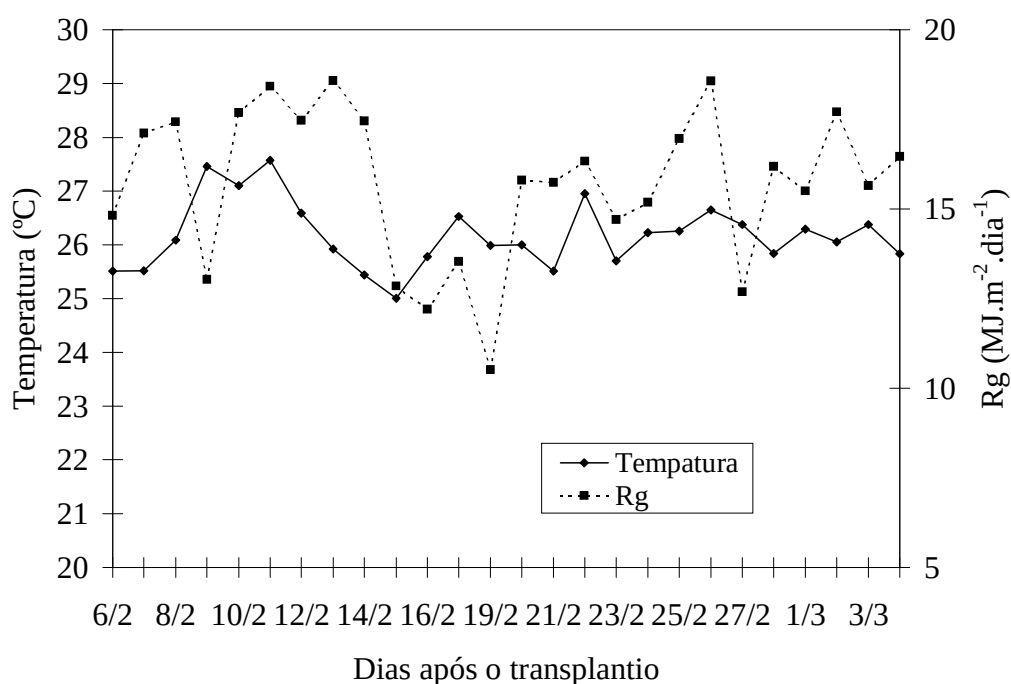


Figura 14 – Valores médios diários da temperatura máxima do ar e a radiação solar global (Rg) no interior da casa de vegetação cultivada com alface em sistema hidropônico (NFT), durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, em Viçosa-MG.

Pode-se observar que apesar do aumento da Rg a temperatura máxima não acompanha esse aumento, isso se deve a evapotranspiração da planta, que é alta neste período, em que, o dossel da planta já está fechado. O ambiente de uma casa de vegetação com o dossel da cultura fechado torna-se mais confortável do que uma

casa de vegetação em que o dossel da cultura ainda não fechou, fato esse que pode ser verificado no final do experimento em que observou temperaturas mais amenas dentro da casa de vegetação, do que quando comparado com o início do experimento.

3.4.3. Umidade relativa

A umidade relativa do ar é determinada diretamente pela temperatura. A umidade relativa tem tendência de evolução inversa à da temperatura, desde que o ar não esteja saturado (100%). Em dias mais quentes a umidade relativa no interior da casa de vegetação foi baixa, o que pode ser visualizada na Figura 15.

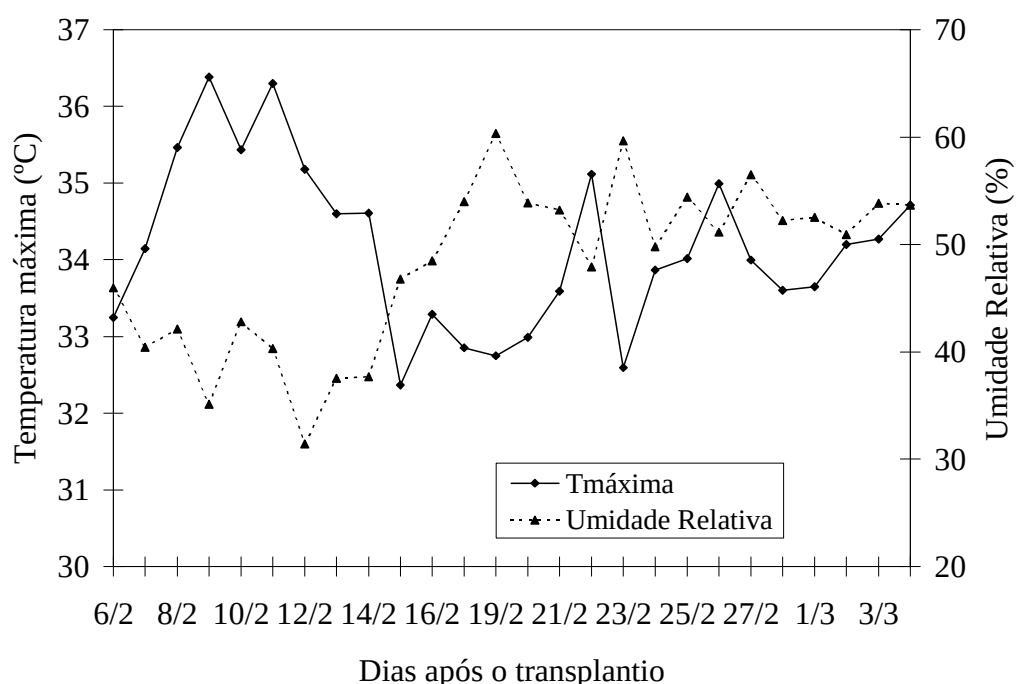


Figura 15 – Valores diários da temperatura máxima do ar e da umidade relativa do ar, no horário da temperatura máxima, no interior da casa de vegetação cultivada com alface em sistema hidropônico (NFT), durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, em Viçosa-MG.

3.4.4. Vento

No cultivo em casa de vegetação um dos principais efeitos dos filmes plásticos é à atenuação da radiação e à ausência dos ventos que são os principais

elementos meteorológicos determinantes da evapotranspiração. O interessante é conseguir um equilíbrio constante entre a transpiração e absorção de água durante o ciclo da planta. Para amenizar o problema, é importante manter o potencial hídrico das plantas em níveis que facilitem a abertura estomática, garantir o armazenamento de água nas raízes, no caso da hidroponia, com o manejo adequado da circulação da solução nutritiva e proporcionar uma demanda evaporativa adequada no ambiente interno da casa de vegetação.

Segundo FARAIS et al. (1993), a eliminação de calor no interior da casa de vegetação por ventilação natural é insuficiente para promover o abaixamento da temperatura a valores ótimos para o crescimento das plantas. Desta forma, a eliminação de calor no interior da casa de vegetação é um problema da plasticultura nas regiões subtropicais e tropicais, isso requer técnicas, janela zenitais, e instalações de equipamentos para eliminar o ar quente. Segundo FURLAN et al. (2001), a ventilação é outro fator importante e responsável pelas variações da temperatura e da umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação, e em experimentos conduzidos em casa de vegetação com ventilação natural e nebulização constataram que a associação da nebulização com ventilação natural pelo manejo de cortinas resultou em redução na temperatura do ar no seu interior.

A seguir, na Figura 16, os valores da velocidade do vento no interior da casa de vegetação, pode-se notar nesta figura que a velocidade do vento em dias quentes foi mais baixa do que em dias de temperatura mais amena.

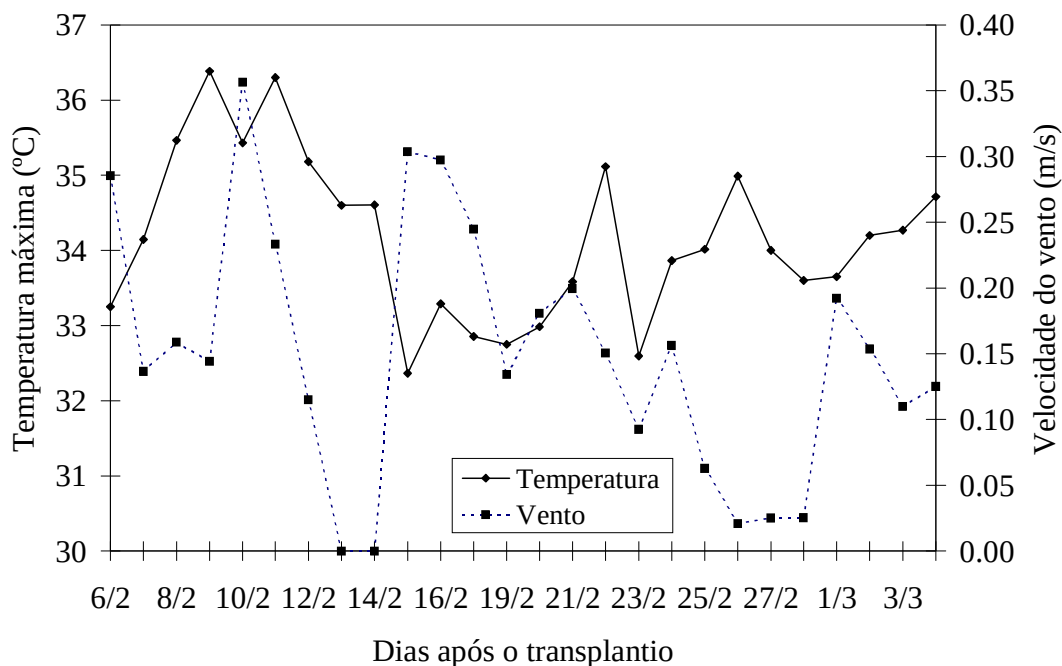


Figura 16 – Valores diários da temperatura máxima do ar e da velocidade do vento, no horário de ocorrência da temperatura máxima, no interior da casa de vegetação cultivada com alface em sistema hidropônico (NFT), durante o período de 6/2/2003 a 4/3/2003, em Viçosa-MG.

3.5. Estimativa do comportamento típico da condutividade elétrica (CE) durante o período diurno

A estimativa do comportamento da condutividade elétrica (CE) do reservatório de armazenamento da solução nutritiva, do experimento, tiveram seus os valores aproximadamente, de 0,8, 2,3 e 3,9 dS m^{-1} no final da tarde, para os tratamentos de CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m^{-1} , respectivamente. Essa variação no valor da CE da solução nutritiva se deve a um maior consumo de água pelas plantas de alface, que se encontram com o dossel fechado, ocorrendo uma evapotranspiração alta. Por outro lado, os valores da CE do sistema radicular da planta, variaram em torno de 0,9, 2,8 e 4,5 para os tratamentos de CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m^{-1} , respectivamente. Portanto, esse aumento da CE em todos os tratamentos, demonstra que houve um concentração ou salinidade no ambiente do sistema radicular das planta através dos efeitos da realção de água e, ou, nutrientes, porque as plantas absorveram muito mais água que nutrinetes, o que pode provocar murchamento das plantas ou queima das extremidades das folhas

novas (queima de bordos), reduzindo, assim o desenvolvimento das plantas. As Figuras 17 a 22 ilustram os resultados obtidos da simulação do comportamento da CE do tanque e do sistema radicular da planta.

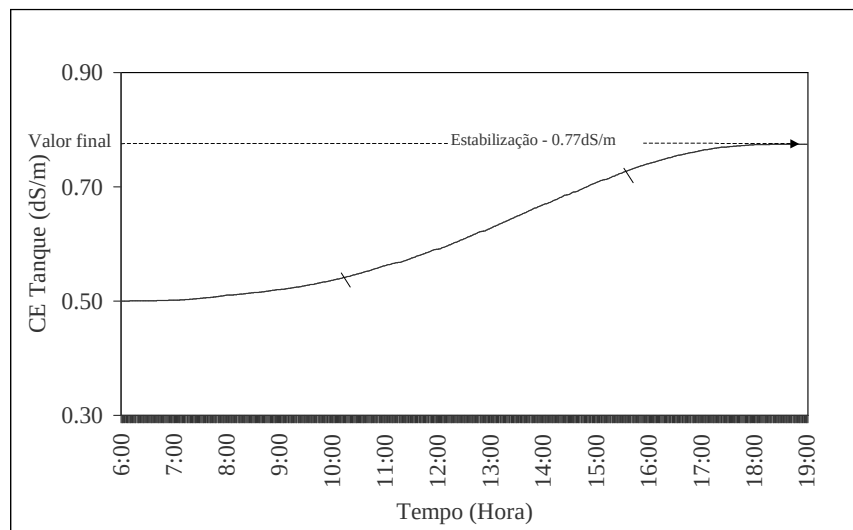


Figura 17 – Comportamento da simulação da CE, $0,5 \text{ dS.m}^{-1}$, no reservatório do sistema hidropônico durante o período diurno do dia 26/02/2003, nas condições do experimento, em Viçosa-MG.

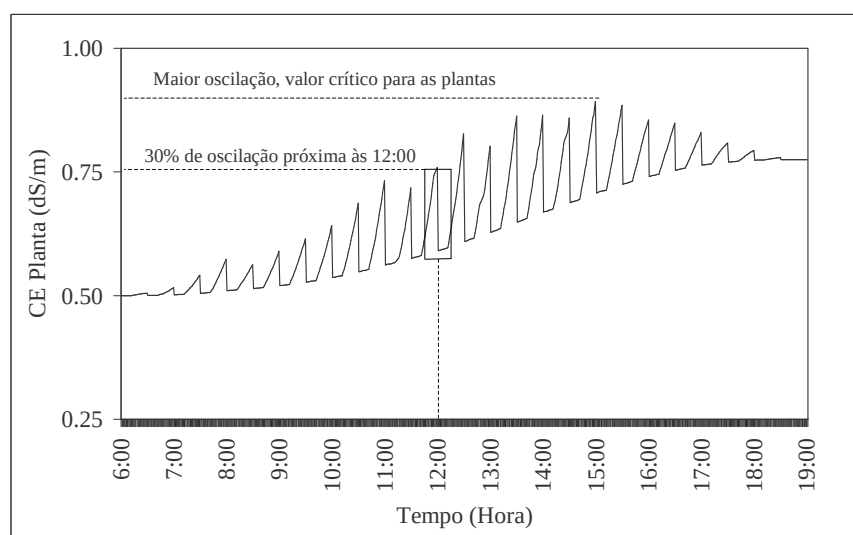


Figura 18 – Comportamento da simulação da CE, $0,5 \text{ dS.m}^{-1}$, da solução nutritiva no sistema radicular da alface durante o período diurno do dia 26/02/2003, nas condições do experimento, em Viçosa-MG.

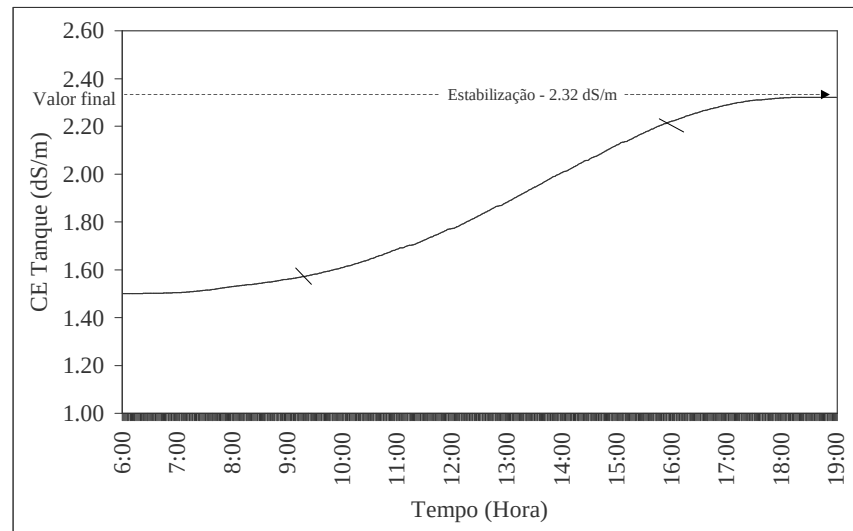


Figura 19 – Comportamento da simulação da CE, $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$, no reservatório do sistema hidropônico durante o período diurno do dia 26/02/2003, nas condições do experimento, em Viçosa-MG.

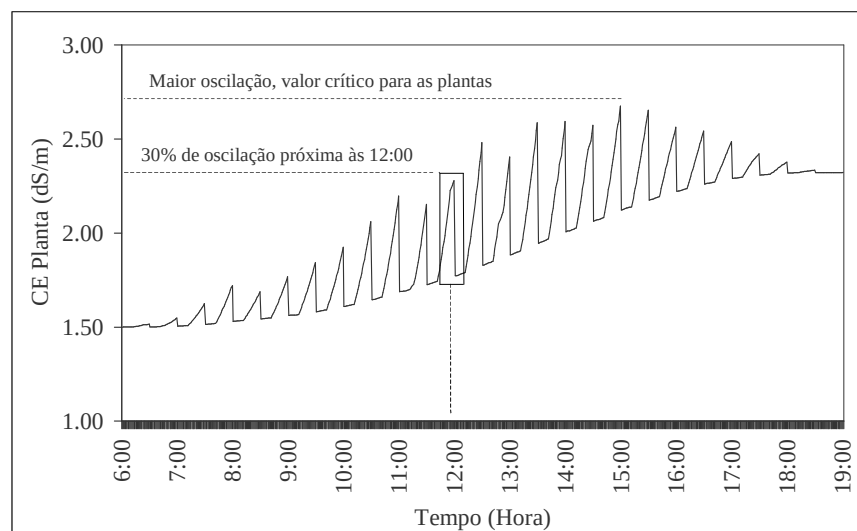


Figura 20 – Comportamento da simulação da CE, $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$, da solução nutritiva no sistema radicular da alface durante o período diurno do dia 26/02/2003, nas condições do experimento, em Viçosa-MG.

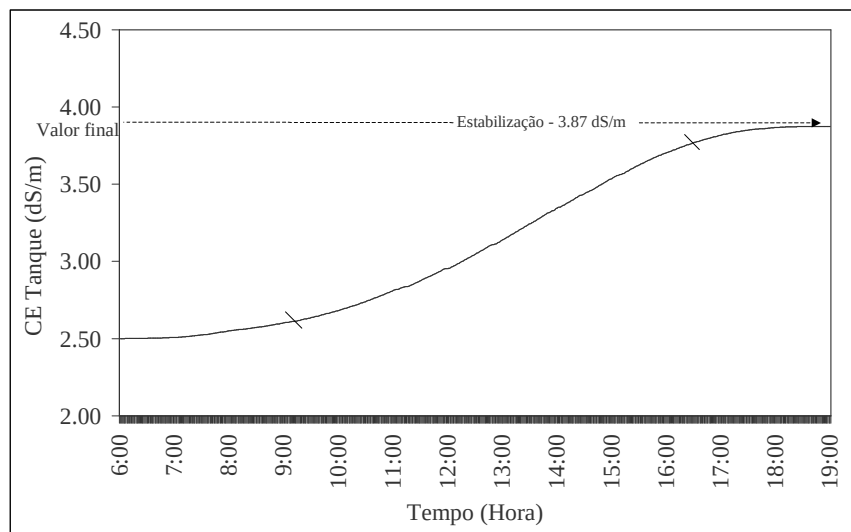


Figura 21 – Comportamento da simulação da CE, $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$, no reservatório do sistema hidropônico durante o período diurno do dia 26/02/2003, nas condições do experimento, em Viçosa-MG.

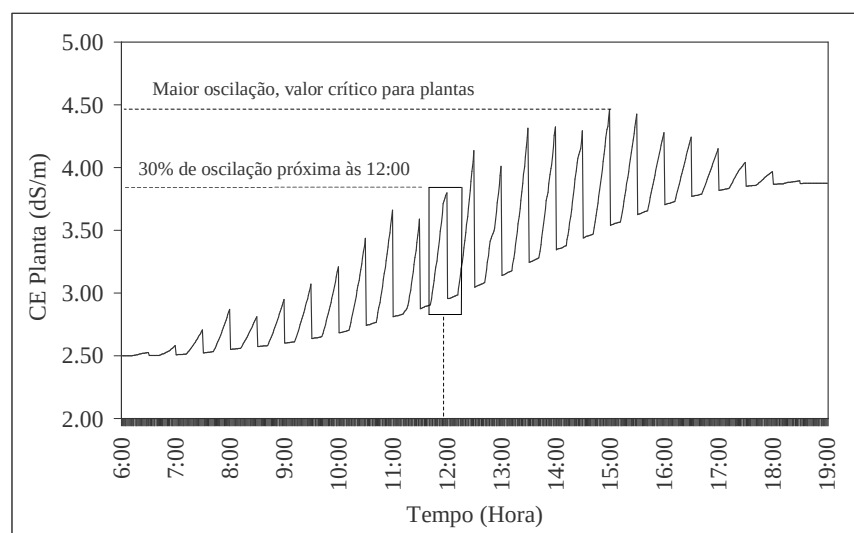


Figura 22 – Comportamento da simulação da CE, $2,5 \text{ dS.m}^{-1}$, da solução nutritiva no sistema radicular da alface durante o período diurno do dia 26/02/2003, nas condições do experimento, em Viçosa-MG.

4. CONCLUSÕES

Os modelos expolinear, logístico e Gompertz simularam muito bem o acúmulo de matéria seca após o transplântio da alface sob os diferentes níveis de CE 0,5, 1,5 e 2,5 dS m⁻¹. Os valores dos coeficientes de determinação ajustados foram superiores a de 0,98 para todos os modelos avaliados. Os resultados estimados pelos modelos para o acúmulo de matéria seca após o transplântio, utilizando as variáveis independentes DAT, GD e GDE, foram similares. Entretanto, deve-se resaltar que os resultados associados a variável independente DAT limitam a aplicação dos três modelos para condições ambientais análogas às medidas deste experimento no interior da casa de vegetação, ou seja no verão, em Viçosa-MG.

Observou-se que a TAL teve um incremento até 12 DAT seguido de uma redução na fotossíntese líquida até o final do ciclo, a colheita. A CE 0,5 dS m⁻¹ ajustou muito bem uma função polinomial cúbica, com o coeficiente de determinação ajustado na ordem de 93 %, para a CE 1,5 dS m⁻¹, a função também foi satisfatória, apresentando um coeficiente de determinação da ordem de 67 %. Entretanto, a CE 2,5 dS m⁻¹ não apresentou um bom desempenho a função, o coeficiente de determinação ajustado foi da ordem de 38 %. Por outro lado, a RAF reduziu em média até 9 DAT e aumentou por volta de 18 DAT até o final do ciclo da alface. As CE ajustaram muita bem a função quadrática, apresentando um coeficiente de determinação ajustado acima de 82 %.

Para análise de crescimento, as CE apresentaram diferenças estatísticas significativas com relação à matéria fresca final (MF) e a matéria seca final (MS), entre a CE 0,5 dS m⁻¹ com as CE 1,5 e 2,5 dS m⁻¹, para MF, foi de 64,5 e 62,5% respectivamente, e para a MS foi de 74,7 e 70,7%, respectivamente. Com relação à área foliar (AF) houve diferença estatística entre a CE 0,5 dS m⁻¹ com as CE 1,5 e 2,5 dS m⁻¹ 85,6 e 71,7%, respectivamente, mostrando que a alface sob a CE 0,5 dS m⁻¹ necessitou de uma área foliar menor para a produção de MS. Para o índice de área foliar (IAF) a diferença estatística foi entre a CE 0,5 dS m⁻¹ e a CE 2,5 dS m⁻¹, 71,7%. A variação da condutividade afetou significativamente a produção de matéria fresca.

A CE da solução retida no sistema radicular da planta sofre oscilações da ordem de 30% nos horários de maior evapotranspiração. Entretanto, a CE do reservatório de armazenamento da solução sofre um aumento gradual de até 55% do início da manhã ao final da tarde resultante da integração da evapotranspiração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, P. Nutrition of greenhouse vegetable in NFT and hydroponic systems. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 361, p.254-257, 1994.

ALBERONI, R. B. **HIDROPONIA: como instalar e manejar o plantio de hortaliça dispensando o uso do solo**. São Paulo: Editora Nobel. Reimpressão. 102 p. 2001.

AMER, F. A.; WILLIAMS, W. T. Leaf-area growth in *Pelargonium zonale*. **Annals of Botany**, v.21, p.339-342, 1957.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 44 p.

BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; PICKERING, N. B. Potential uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal**, v.88, p.704-716, 1996.

CAMACHO, M. J., ASSIS, F. N., MARTINS, S. R., MENDEZ, M. E. G. Avaliação de elementos em estufas plásticas em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 3, p. 19-24, 1995.

CASTELLANE, P. D., ARAUJO, J. A. C. **Cultivo sem solo – hidroponia**. 4. ed., Jaboticabal-SP: FUNEP, 1995. 43 p.

CERMEÑO, Z. S. **Cultura de hortícolas em estufas**. Barcelona –Espanha: Editorial Aedos, 1997. 301 p.

CHAN, A. K. **Simulation of growth and development of faba bean (*Vicia faba* L.)**. Reading, (UK): University of Reading, 1992. 217 p. (Ph.D. Thesis).

CONFALONE, A. E. **Captura e utilização da radiação na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) com e sem irrigação em diferentes estádios de desenvolvimento**. Viçosa: UFV, 1998. 74 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

COSTA, L. C.; FERREIRA, E. A.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C.; CECON, P. R. Uso da função expolinear para análise de crescimento da cultura da soja em diferentes condições de disponibilidade de água no solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 2, p. 1-4, 1999.

FAQUIM, V., FULARNI, P. R. Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, n. 20, v. 200/201, p. 99-104, 1999.

FARIAS, J. R. B et al. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 51-32, 1993.

FURLAN, R. A.; FOLEGATTI, M. V.; SENTELHAS, P. C. Efeito da nebulização e ventilação natural na redução da temperatura do ar em ambiente protegido. **Revista Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 181-189, 2001

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de Hidroponia - NFT**. Campinas: IAC, 1998. 30 p. (IAC. Boletim Técnico, 168).

GOTO, R.; CAÑIZARES, K. A. L.; COSTA, P. C.; DIDONE, E. B. Condutividade elétrica da solução nutritiva e produção de alface em hidroponia. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 3, p. 595-597, 2001.

GOUDRIAAN, J. **Using the expolinear growth equation to analyze resource capture**. In: Resource Capture by Crops.

GOUDRIAAN, J.; MONTEITH, J. L. A mathematical function for crop growth based on and leaf area expansion. **Annals of Botany**, v. 66, p. 695-701, 1990.

GOUDRIAAN, J.; Van LAAR, H. H. **Modelling potential crop growth processes**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994. 239 p.

HUETT, D. O. Growth, nutrient uptake and tipburn severity of hidriponic lettuce in response to electrical conductivity and K:Ca ratio in solution. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 45, p. 251-267, 1994.

HUNT, R. **Basic growth analysis**. London: Unwin Hyman, 1990. 112 p.

LYRA, G. B. **Estimativa da evapotranspiração e análise de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico em condições de casa de vegetação**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 51 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2002.

MAANSSON, L.P.S. Analysis – a way to register the nutrient uptake in soilless culture. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 6., 1984, Lunteren. **Proceedings...** Wageningen: ISOSC, 1984, p. 339-346.

MACHADO, E. C., PEREIRA, A. R., FAHL, J. I., ARRUDA, H. V., SILVA, W. J.; TEIXEIRA, J. P. F. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedade de milho em três densidades. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 6, p. 825-833, 1982.

MARTINEZ, H. E. P. **O uso cultivo de hidropônico de plantas em pesquisa**. Cadernos Didáticos, 1. Viçosa: UFV, 1997. 37 p.

MARTINEZ, H. E. P., BARBOSA, J. G. **O cultivo de flores sob hidroponia**. Boletim de Extensão, Viçosa, n.38, 1996. 25 p.

MARTINEZ, H. E. P., SILVA FILHO, J. B. **Introdução ao cultivo de hidropônico de plantas**. Viçosa-MG. 1997. 52 p

MATTOS, K. M. C. **Efeito da temperatura do ar das canaletas e da estufa sobre o crescimento da alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico em função do material de cobertura da bancada**. Piracicaba: USP, 2000. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, 2000.

MONTEITH, J. L. The quest for balance in crop Modelling. **Agronomy Journal**, v.88, p.695-697, 1996.

MONTEITH, J. L.; SCOTT, R. K; UNSWORTH, M. H. (Ed.). Nottingham: Nottingham University Press, 1994. 469p.

MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. **Symposia of thr Society for Experimental Biology**, v.19, p.205-234, 1965.

MUCKLE, M.E. **Basic hydroponics for do-it-yourselfer**. 13. ed. Princeton: Growers Press Inc., 1995, 200 p.

NELSON, P. V. **Greenhouse – Operation and Management**. Fourth Edition, Prentice Hall Career & Technology, Englewood Cliffs, New Jersey, 1991. 612 p.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo-SP: Editora Agronômica Ceres, 1981. 425 p.

PEARL, R.; REED, L. J. Skew growth curves. **Proceeding of the National of Sciences of the United States**, v. 6, p. 16-22, 1920.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetais**. Campinas-SP: Instituto Agronômico, 1987. 33 p. (Boletim Técnico, 114)

PUGLIESI, N. L. **Capacidade de retenção e frequência de aplicação de solução nutritiva ao sistema radicular da alface em cultivo hidropônico (NFT)**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 85 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.

RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, v. 10, p. 290-300, 1959.

ROH, M., LEE, Y. B. Predictive control of concentration of nutrient solution according to integrated solar radiation during one hour in the morning. **Acta Horticulturae**, n. 440, p. 256-261, 1996.

SCAIFE, A.; COX, E. F.; MORRIS, G. E. L. The relationship between shoot weight, plant density and time during the propagation of four vegetable species. **Annals of Botany**, v. 59, p. 325-334, 1987.

SCHWARZ, D., KUCHENBUCH, R. Growth analyses of tomato in closed recirculation system in relation to the EC-value of the nutrient solution. **Acta Horticulturae**, n. 450, p. 169-176, 1997.

TEI, F., AIKMAN, D. P., SCAIFE, A. Growth of lettuce, onion and red beet. 2. Growth Modeling. **Annals of Botany**, v. 78, p. 645-652, 1996 b.

TEI, F.; SCAIFE, A.; AIKMAN, D. P. Growth of lettuce, onion and red beet. 1. Growth Analysis, Light Interception, and Radiation Use Efficiency. **Annals of Botany**, v. 78, p. 633-643, 1996 a.

THORNLEY, J. H. M. **Mathematical models in plant physiology: A quantitative approach to problems in plant crop physiology**. London: Academic Press, 1976. 318 p.

TURCO, J. E. P.; PINOTTI JÚNIOR, M.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Adequação de um modelo de crescimento da cultura de soja para terrenos com diferentes exposições e declividade. **Engenharia Agrícola**, v. 17, n. 4, p. 25-34, 1998.

UDAGAWA, Y. Some responses of dill (*Anethum graveolens*) and thyme (*Thymus vulgaris*), grow in hydroponic, to the concentration of nutrient solution. **Acta Horticulturae**, n. 396, p. 203-210, 1995.

ZOLNIER, S. **Dynamic misting control techniques for poinsettia propagation**. Lexington: UK, 1999. 343p. (Ph.D. Thesis Agricultural Engineering) – Biosystems and Agricultural Engineering Department, University of Kentucky, 1999.

APÊNDICE A

Quadro 1A – Resumo dos dados do experimento, 15/01/2003 a 05/03/2003.

CE:0,5 dS.m ⁻¹							
Dia	DAT	GD _{ac}	GDE	MS (g.m ⁻²)	MF (g.m ⁻²)	IAF (m ²)	AF (m ⁻²)
05/02/2003	0	22.89	16.49	1.112	32.264	0.080	0.005
08/02/2003	3	89.51	65.98	3.104	34.592	0.072	0.006
11/02/2003	6	161.14	118.34	6.312	63.304	0.164	0.011
14/02/2003	9	228.59	169.73	12.088	123.848	0.259	0.018
17/02/2003	12	295.41	216.14	23.504	283.640	0.581	0.040
20/02/2003	15	340.12	247.31	40.624	532.800	1.031	0.074
23/02/2003	18	408.06	296.74	60.728	1033.600	2.448	0.144
26/02/2003	21	476.70	347.74	99.416	1553.600	3.571	0.226
01/03/2003	24	544.71	396.50	114.912	2022.400	7.971	0.491
04/03/2003	27	612.47	446.76	122.784	2350.400	7.602	0.442

CE:1,5 dS.m ⁻¹							
Dia	DAT	GD _{ac}	GDE	MS (g.m ⁻²)	MF (g.m ⁻²)	IAF (m ²)	AF (m ⁻²)
05/02/2003	0	22.89	16.49	1.304	32.656	0.081	0.006
08/02/2003	3	89.51	65.98	3.064	38.616	0.071	0.004
11/02/2003	6	161.14	118.34	7.960	75.904	0.203	0.013
14/02/2003	9	228.59	169.73	14.376	164.840	0.299	0.022
17/02/2003	12	295.41	216.14	37.528	465.280	1.088	0.067
20/02/2003	15	340.12	247.31	57.928	856.000	2.064	0.120
23/02/2003	18	408.06	296.74	115.048	1824.000	3.477	0.241
26/02/2003	21	476.70	347.74	130.016	2552.800	0.140	0.308
01/03/2003	24	544.71	396.50	147.848	3101.600	8.129	0.489
04/03/2003	27	612.47	446.76	164.280	3645.600	7.831	0.517

CE:2,5 dS.m ⁻¹							
Dia	DAT	GD _{ac}	GDE	MS (g.m ⁻²)	MF (g.m ⁻²)	IAF (m ²)	AF (m ⁻²)
05/02/2003	0	22.89	16.49	1.048	0.336	0.063	0.006
08/02/2003	3	89.51	65.98	3.544	4.000	0.052	0.005
11/02/2003	6	161.14	118.34	7.856	7.824	0.214	0.012
14/02/2003	9	228.59	169.73	13.008	12.976	0.334	0.020
17/02/2003	12	295.41	216.14	40.096	39.392	1.225	0.069
20/02/2003	15	340.12	247.31	55.208	49.568	2.124	0.111
23/02/2003	18	408.06	296.74	104.896	110.960	4.331	0.215
26/02/2003	21	476.70	347.74	147.072	158.720	5.605	0.293
01/03/2003	24	544.71	396.50	160.480	169.824	8.668	0.500
04/03/2003	27	612.47	446.76	173.464	176.240	9.842	0.514

APÊNDICE B

Quadro 1B – Análise de variância das características da alface, cultivada em sistema hidropônica do tipo NFT em função dos tratamentos (diferentes níveis de CE): produção de matéria fresca total (MFT), matéria seca total (MST), área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF). O teste F foi significativo para essas características, e depois foi aplicado o teste de média Tukey ao nível 5%.

FV	GL	Quadrados médios			
		MFT	MST	AF	IAF
Tratamentos	2	1234038,19	1458,24	1538795,03	3,94
Resíduos	3	11158,61	82,49	121164,50	0,31
CV (%)	5	3,25	5,92	6,62	6,62

Quadro 2B – Os valores observados da alface cultivada em sistema hidropônica do tipo NFT em função dos tratamentos (diferentes níveis de CE): matéria fresca e matéria seca.

CE	Matéria fresca		Matéria seca	
	3 DAT	Final	3 DAT	Final
	g por m ²		g por m ²	
0,5 dS m ⁻¹	32,26 ns	2350,40 a	3,10 ns	122,78 a
1,5 dS m ⁻¹	32,66 ns	3645,60 b	3,06 ns	164,28 b
2,5 dS m ⁻¹	37,90 ns	3768,00 b	3,54 ns	173,46 b
CV (%)		3,25		5,92

ns: não significativo para o teste F.

Quadro 3B – Os valores observados da alface cultivada em sistema hidropônica do tipo NFT em função dos tratamentos (diferentes níveis de CE): área foliar e índice de área foliar.

CE	Área foliar		Área foliar	
	3 DAT	Final	3 DAT	Final
	cm ² por planta		m ² de planta por m ² de área	
0,5 dS m ⁻¹	55,94 ns	4424,59 a	0,063 ns	7,079 a
1,5 dS m ⁻¹	39,83 ns	5167,24 b	0,060 ns	8,268 ab
2,5 dS m ⁻¹	37,38 ns	6172,34 b	0,123 ns	9,876 b
CV (%)		6,62		6,62

ns: não significativo para o teste F.