UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ALFACE EM FUNÇÃO DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS EM CASAS DE VEGETAÇÃO COM SISTEMA HIDROPÔNICO NOS PERÍODOS DE OUTONO E INVERNO

Edilson Costa

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ademar Martins Leal

Dissertação apresentada a FEAGRI – UNICAMP como cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, na área de Concentração: Construções Rurais e Ambiência.

CAMPINAS - SP

FEVEREIRO DE 2001

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

C823a

Costa, Edilson
Avaliação da produção de alface em função dos parâmetros climáticos em casas de vegetação com sistema hidropônico nos períodos de outono e inverno / Edilson Costa. --Campinas, SP: [s.n.], 2001.

Orientador: Paulo Ademar Martins Leal.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Estufas – Resfriamento. 2. Alface – Fatores climáticos. 3. Hidroponia. 4. Dióxido de carbono. I. Leal, Paulo Ademar Martins. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da dissertação de mestrado defendida pelo Engenheiro Agrícola Edilson Costa e aprovada pela Comissão Julgadora em 20 de Fevereiro de 2001.

Campinas, 14 de Março de 2001.

Prof. Dr. Paulo A. Martins Leal

Presidente da Banca

Ao meu pai celestial pela PAZ interior e pela objetividade na escolha do caminho.

Aos meu pais, José e Matilde, pelo amor e carinho atribuído em todos os momentos.

Aos meus irmãos, Alzira, Rose, Silvana, Aroldo e Maria Cristina, e, ao meu cunhado Antônio, pelo apoio e amizade.

DEDICO

"O pensamento cria

O desejo atrai

A Fé realiza"

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. **Paulo A. Martins Leal**, pela orientação, amizade, confiança e apoio em todos os momentos, desde a finalização da graduação até a conclusão do mestrado.

Ao Engenheiro Mestre **Ruy Roberto do Carmo Júnior**, pela amizade, incentivo e, principalmente, pela colaboração em todas as etapas desenvolvidas durante o mestrado.

Ao Prof. Dr. **Sylvio Luís Honório** pela amizade, participação do comitê de orientação, sugestões e apoio técnico-científico nas dificuldades encontradas com o manejo do sistema hidropônico utilizado.

Ao Prof. Dr. **Nelson Luís Cappelli**, pela participação do comitê de orientação, banca do exame de qualificação e defesa da Dissertação, sugestões e suporte técnico em instrumentação e controle.

Ao Eng. Agrônomo **Antônio Bliska Júnior** pela participação da banca de exame de qualificação, sugestões e auxílio na condução dos experimentos.

Ao Prof. Dr. **Régis Boily** (*In Memorian*) pela colaboração na montagem do sistema e utilização do software de aquisição de dados.

Ao Prof. Dr. **João Luís Cardoso,** do Departamento de Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável, pelo apoio dado no estudo de análise de investimentos de projeto.

À Profa. Dra. **Sônia Maria P. P. Bergamasco** do Departamento de Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável, pela amizade e apoio.

À Profa. Dra. **Mariângela Amêndola**, do Departamento de Planejamento e

Desenvolvimento Rural Sustentável, pela amizade e apoio.

À Profa. Dr. **Elaine Borghi**, Departamento de Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável, pela colaboração na definição do delineamento e análises estatísticas utilizadas.

Aos professores do Departamento de Construções Rurais e Ambiência, **Rossi, Wesley, Raquel, Cortez, Beraldo, David e Irenilza**, pela amizade e apoio.

Ao professor, amigo e engenheiro agrícola **Cyrineo Antonio Tonolli**, pela força, incentivo e carinho atribuídos desde a época de colégio.

À Doutora **Julieta T. A. Oliveira Salles** pelo apoio nos dados estatísticos de produção e consumo de alface na cidade de Campinas.

Ao aluno de graduação da FEAGRI **Feni Dalano Roosevelt Agostinho**, pela amizade e colaboração na condução dos experimentos realizados.

Aos Técnicos **Francisco, Rosa Helena e Maria Rosália**, pelo auxílio, colaboração e uso do laboratório do Departamento de Pré-Processamento de Produtos Agropecuários.

A **Dona Laura**, pela amizade e ajuda no manejo da produção durante o desenvolvimento experimental.

Ao Técnico em Agropecuária **Ronaldo Alves Líbano**, pela amizade, apoio e ajuda na busca de informações sobre instrumentação e controle em casas de vegetação.

Às secretárias **Ana Paula Montagner e Marta**, da secretaria de pós-graduação, pela amizade, auxílio e convivência.

Às secretárias **Vanessa e Rose**, da diretoria da Faculdade de Engenharia

Agrícola, pelo apoio e amizade.

Ao Coordenador da Pós-Graduação, **Prof. Dr. Benedito Carlos Benedetti**, pela amizade e apoio.

Aos amigos **Carlos Teixeira (CAL), Wilza, Sandra, Marta e Eduardo,** pós-graduandos do Departamento de Construções Rurais e Ambiência, pela paciência no convívio e pela ajuda em todos os momentos.

Ao Sr. **João Bergamo,** pela amizade e apoio nas atividades fotográficas.

Ao Sr. **José Benedito dos Santos** pelo auxílio na manutenção e instalação elétrica e hidráulica.

Ao Sr. **Edson Roberto Caires** pela colaboração na manutenção elétrica.

À **Rosângela**, secretária do Departamento de Construções Rurais e Ambiência, pela colaboração e auxílio.

Aos meus amigos **Fábio Penna, Edivaldo Moura**, **Antônio José Moreira, Ricardo Bertol, Ricardo Azevedo, Denise, Mirian, Leonardo, Léo, Fabian, Eduardo, Rogê, Luís, Lucian, João Carlos, Fernanda Adimari, Leandro Pavarin, Emerson Ricardo, Nelson e Rogério** pelo incentivo e confiança.

Aos moradores e amigos da casa M4 (moradia estudantil), **Roberto, Michael e Willian,** pela convivência e amizade.

Às vizinhas da casa M4A (moradia estudantil**), Ana Rita, Priscilene, e Maria Cristina** e as co-moradoras **Silvia, Valéria e Maíra**, pela amizade e convivência.

Ao Sr. **Robinson**, do Departamento de Água e Solo, pela colaboração no processo de reprodução de fotos em escaner.

Aos **Amigos** da FEAGRI pela convivência e amizade.

Finalmente, a Todos, que direta ou indiretamente tiveram o prazer de trabalhar comigo e auxiliaram na confecção dessa dissertação de mestrado, meus sinceros agradecimentos.

Sumário

RESUMO ..... **XIX**

ABSTRACT ..... **XXII**

I. INTRODUÇÃO **1**

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **4**

2.1. Importância Econômica dos Produtos Hortícolas ***4***
2.2. Ambiente de Cultivo e Condições Ambientais para Alface ***5***
2.3. Sistema Hidropônico ***13***
2.4. Enriquecimento do Ambiente Interno com CO_2 ..... ***17***
2.5. Influências da Radiação e da Temperatura no Ciclo das Culturas. ***24***
2.6. Monitoramento dos Parâmetros Climáticos ***27***
2.7. Métodos de Redução da Temperatura em Casa de Vegetação. ***30***
2.8. Controle de Umidade Relativa ***35***
2.9. Aplicações de Software no Controle Climático e na Automatização das Casas de Vegetação ***37***
2.10. Sistema de Medidas, Erro e Controlador ***45***
2.11. Sistema de Processamento e Aquisição de dados ***47***

III. MATERIAL E MÉTODOS **49**

3.1. Localização e Aspectos Gerais dos Experimentos ***49***
3.2. Aquisição e Distribuição das Mudas e, Transporte da Solução Nutritiva ***52***
3.3. Controle da solução nutritiva e manejo da produção ***55***
3.4. Sensores de Temperaturas ***56***
3.5. Sistema de Resfriamento Evaporativo ***60***
3.6. Transporte, Distribuição e Medição do CO_2 ..... ***61***
4.7. Medição da Radiação Total, Par e Ultravioleta ***63***
4.8. Caracterização dos Tratamentos e Procedimento Estatístico para Análises ***65***
4.9. Relação Benefício - Custo ***69***

IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO **71**

4.1. Condições climáticas no primeiro ensaio (25/05/00 à 29/06/00 - Outono) ***71***
4.1.1. Temperaturas no ensaio de Outono *71*
4.1.2. Umidade relativa no ensaio de Outono *74*
4.1.3. Concentração de CO_2 no ensaio de Outono *77*
4.1.4. Radiações total, UV e PAR no experimento de 25/05/00 à 29/06/00 ..... *82*
4.2. Análise de produtividade no experimento de 25/05/00 à 29/06/00 ..... ***89***
4.3. Condições climáticas ocorridas no segundo ensaio (14/07/00 à 20/08/00 - Inverno) ***92***
4.3.1. Temperaturas no ensaio de Inverno *92*

4.3.2. Umidade relativa no ensaio de Inverno *95*

4.3.3. Concentração de CO_2 no ensaio de Inverno *98*

4.3.4. Radiações total, UV e PAR no ensaio de Inverno *102*

4.4. ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE NO ENSAIO DE INVERNO ***109***

4.5. QUANTIDADE DE NUTRIENTES ABSORVIDOS PELA PLANTAS NOS EXPERIMENTOS DE OUTONO E INVERNO ***112***

4.6. COMENTÁRIOS ***113***

4.7 ANÁLISE ECONÔMICA DOS INVESTIMENTOS ***116***

4.7.1 Custos fixos *116*

4.7.2. Custos variáveis *120*

4.7.4. Taxa de rentabilidade do capital *128*

4.7.5. Comparação da porcentagem de ganho de massa fresca com os custos de produção *129*

4.7.6 Estudo de caso *130*

4.8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS ***133***

V. CONCLUSÃO **134**

VI. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA **137**

Índice de Tabelas

Tabela 1. Nutrientes da solução nutritiva 15

Tabela 2. Solução nutritiva utilizada nos experimentos..... 54

Tabela 3. Análise de variância para a avaliação (1)..... 68

Tabela 4. Análise de variância para a avaliação (2)..... 68

Tabela 5. Análise de variância para a avaliação (3)..... 68

Tabela 6. Médias de temperaturas do ar no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 73

Tabela 7. Média de umidade relativa do ar no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 76

Tabela 8. Acompanhamento do peso da matéria fresca, em gramas, das plantas ao longo do desenvolvimento de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 89

Tabela 9. Parâmetros de Produtividade do ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 91

Tabela 10. Médias de temperaturas no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 94

Tabela 11. Média de umidade relativa do ar no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 96

Tabela 12. Acompanhamento do peso da matéria fresca, em gramas, no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 109

Tabela 13. Parâmetros de produtividade no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 110

Tabela 14. Nutrientes absorvidos pelas plantas durante os experimentos (FEAGRI/UNICAMP, 2000). 112
Tabela 15. Concentração da solução (IAC) e Análise química (ICASA) 114
Tabela 16. Análises de germinação de sementes 115
Tabela 17. Depreciação 117
Tabela 18. Custo dos investimentos (CI) 118
Tabela 19. Custo com energia elétrica 121
Tabela 20. Salários rurais, Estado de São Paulo, Abril de 2000 122
Tabela 21. Custo com mão-de-obra 123
Tabela 22. Valores dos sais utilizados na solução nutritiva 124
Tabela 23. Custo total de produção por unidade produzida em cada casa de vegetação 127
Tabela 24. Preço da alface e taxa de rentabilidade do capital 128
Tabela 25. Custo total de um estudo de caso 131
Tabela 26. Custo total de produção para um estudo de caso 132
Tabela 27. Porcentagem de queda nos custos de um EC (estudo de caso) 132
Tabela 28. Preço da alface e TRC de um estudo de caso 132

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de bloco de um sistema de medida básico 46

Figura 2. Processo de aquisição de dados 48

Figura 3. Aquisição de dados via computador..... 48

Figura 4. Distribuição espacial das casas de vegetação utilizadas no experimento (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 50

Figura 5. Esquema da planta baixa do experimento com a direção do vento predominante (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 50

Figura 6. Vista da seção das bancadas e canais de cultivo (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 51

Figura 7. Obtenção e disposição das mudas (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 53

Figura 8. Distribuição da solução nutritiva (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 53

Figura 9. Modelo dos termopares utilizado no experimentos e do Psicrômetro (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 56

Figura 10. Termopar de contato para medida da temperatura foliar (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 57

Figura 11. Termopares de entrada e saída do meio poroso (CVE - C) (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 58

Figura 12. Termostato para acionamento dos exautores (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 59

Figura 13. Sistema de aquisição de dados (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 59

Figura 14. Sistema de Resfriamento Evaporativo - meio poroso (PAD) e exaustores (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 60

Figura 15. Sistema de fornecimento de CO_2 (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 62
Figura 16. Localização dos sensores de radiação total (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 63
Figura 17. Sensor de Radiação PAR (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 64
Figura 18. Medidores de Radiação Total e PAR (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 64
Figura 19. Sensores de radiação UV e medidor de UV (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 65
Figura 20. Pesagem da massa fresca dos experimentos (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 66
Figura 21. Média de temperatura diária do ar no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 72
Figura 22. Médias de temperatura do ar no horário de aplicação de CO_2 (9:00 às 12:00h) no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 74
Figura 23. Precipitação ocorrida durante o ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 75
Figura 24. Umidade relativa média diária do ar no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 76
Figura 25. Média de umidade relativa do ar no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 77
Figura 26. Média de concentração de CO_2 na casa de vegetação B no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 78
Figura 27. Média de concentração de CO_2 na casa de vegetação C no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 78

Figura 28. Média de concentração de CO_2 no horário das 9:00 às 12:00hna casa de vegetação B no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 80
Figura 29. Média de concentração de CO_2 no horário das 9:00 às 12:00h na casa de vegetação C no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 80
Figura 30. Média diária de velocidade do vento à 2m de altura no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 81
Figura 31. Relação entre concentração de CO_2 (casa de vegetação B) com a velocidade do vento no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 82
Figura 32. Médias diárias de radiação total interna e externa às casas de vegetação no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 83
Figura 33. Radiação ultravioleta para o comprimento de onda 312nm no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 84
Figura 34. Radiação ultravioleta para o comprimento de onda 365nm no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 84
Figura 35. Média de radiação PAR na casa de vegetação A no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 85
Figura 36. Média de radiação PAR na casa de vegetação B no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 86
Figura 37. Média de radiação PAR na casa de vegetação C no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 86
Figura 38. Concentração de CO_2 e Radiação PAR na casa de vegetação B, no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 87

Figura 39. Concentração de CO_2 e Radiação PAR na casa de vegetação C, no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 88

Figura 40. Acompanhamento do incremento de massa fresca das plantas no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 90

Figura 41. Médias diárias de temperatura do ar no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 93

Figura 42. Médias de temperatura no horário de aplicação de CO_2 (9:00 às 12:00h) no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 94

Figura 43. Umidade relativa média diária no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 95

Figura 44. Precipitação ocorrida no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 96

Figura 45. Média de umidade relativa do ar no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 97

Figura 46. Média de concentração de CO_2 diária na casa de vegetação B no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 98

Figura 47. Média de concentração de CO_2 diária na casa de vegetação C no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 99

Figura 48. Média de concentração de CO_2 no horário das 9:00 às 12:00h na casa de vegetação B no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 100

Figura 49. Média de concentração de CO_2 no horário das 9:00 às 12:00h na casa de vegetação C no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 100

Figura 50. Médias de velocidade do vento à 2m de altura das 9:00 às 12:00h no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 101
Figura 51. Relação entre a concentração de CO_2 na CVE - B e a velocidade do vento no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 101
Figura 52. Médias diárias de radiação total interna e externa às casas de vegetação no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 102
Figura 53. Radiação ultravioleta para o comprimento de onda de 312nm no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 103
Figura 54. Radiação ultravioleta para o comprimento de onda de 365nm no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 104
Figura 55. Média da 9:00 às 12:00h de radiação PAR na casa de vegetação A no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 105
Figura 56. Média da 9:00 às 12:00h de radiação PAR na casa de vegetação B no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 105
Figura 57. Média da 9:00 às 12:00h de radiação PAR na casa de vegetação C no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 106
Figura 58. Concentração de CO_2 e Radiação PAR na casa de vegetação B, no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 107
Figura 59. Concentração de CO_2 e Radiação PAR na casa de vegetação C, no horário das 9:00 às 12: no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000).. 108
Figura 60. Acompanhamento do incremento da massa fresca no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)..... 110

Figura 61. Estresse causado a planta no 21^0 dia no experimento realizado no Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000) 114

RESUMO

Buscando caracterizar os ambientes de cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.) em casas de vegetação, quanto aos parâmetros climáticos e quanto às novas técnicas agrícolas utilizadas para o aumento da produção, avaliou-se o desenvolvimento vegetal hidropônico em bancadas inclinadas, como resposta ao comportamento das variáveis climáticas, à aplicação de dióxido de carbono, ao resfriamento evaporativo e ao manejo da estrutura, ao longo de dois experimentos realizados nos períodos de outono e inverno. Realizou-se, ainda, uma análise de viabilidade econômica, da implantação deste tipo de sistema.

Avaliou-se três casas de vegetação, designadas com as letras A, B e C, com produção hidropônica de alface crespa, variedade “Vera”, em bancadas inclinadas e utilização da técnica de filme de solução nutritiva, sendo uma sem aplicação de dióxido de carbono e sem resfriamento evaporativo com cortinas laterais móveis e orientação Norte-Sul (A), considerada testemunha, em comparação com outras duas casas de vegetação com aplicação de dióxido de carbono, uma com laterais móveis e orientação Leste-Oeste (B) e outra com sistema de resfriamento evaporativo, com laterais totalmente fechadas e orientação Norte-Sul (C).

A aplicação do gás nas duas casas de vegetação se deu no período das 9:00 às 12:00h, em dois horários, das 9:00 às 10:00h e das 11:00 às 12:00h. No horário das 9:00 às 10:00h, quando a temperatura permitia, aplicou-se o gás com as cortinas fechadas na casa de vegetação de laterais móveis, para obter um

melhor aproveitamento do mesmo. Procurou-se manter uma atmosfera com concentração de duas a três vezes a concentração atmosfera normal.

Para o experimento realizado no período de 25/05 a 29/06/00 a produção de massa fresca, massa seca e número de folhas da casa de vegetação C foram superiores, em média, estatisticamente significativa ao nível de 5%, à produção de massa de matéria fresca, massa seca e ao número de folhas da casa de vegetação B. E esta, por sua vez, foi superior em relação à massa de fresca, em média estatisticamente significativa ao nível de 5%, à casa de vegetação A.

Para o experimento realizado no período de 14/07 a 20/08/2000 a produção de massa fresca, massa seca e número de folhas, da casa de vegetação C, foram superiores, em média estatisticamente significativa ao nível de 5%, à produção de massa fresca, massa seca e ao número de folhas das casas de vegetação B e A, no entanto não houve diferença estatisticamente significativa, ao nível de 5%, entre as casas de vegetação A e B, para os parâmetros supra citados.

Através dos resultados obtidos foi possível concluir que:

- Mesmo não sendo épocas de altas temperaturas diurnas, o sistema de resfriamento evaporativo se mostrou eficiente em manter a temperatura desejada na casa de vegetação C;
- No sistema de resfriamento evaporativo verificou-se a necessidade de instalação de um umidostato;
- Devido a relação entre a velocidade do vento e a concentração de dióxido de carbono não é viável a aplicação de CO_2 em estruturas abertas;

- A variação na concentração do gás no horário de aplicação e a distribuição de radiação PAR possibilitou avaliar a disponibilidade às plantas destes dois parâmetros importantes na realização da fotossíntese;
- Os resultados de ganho de massa fresca, em porcentagem, evidenciam como o enriquecimento atmosférico com dióxido de carbono proporciona um melhor ambiente de produção;
- Nos dois experimentos realizados, o controle de temperatura, associado ao enriquecimento com dióxido de carbono mostrou ser a melhor técnica de condicionamento do ambiente da casa de vegetação;
- O aumento em porcentagem de massa fresca da casa de vegetação C foi proporcional ao aumento de porcentagem de custo de produção, em relação as demais casas de vegetação, porém a casa de vegetação B não acompanhou o mesmo comportamento;
- A qualidade do material colhido na casa de vegetação C foi visualmente melhor que nas demais casas de vegetação, além de ter um período de produção menor;
- Os custos de implantação do projeto foram elevados para os três tipos de ambientes;
- A taxa de rentabilidade do capital foi um bom índice de comparação do capital investido em função da renda obtida;
- Uma alternativa para diminuir os custos de implantação seria utilizar materiais mais baratos e com a mesma funcionalidade.

ABSTRACT

Searching for characterizing the lettuce production environment inside greenhouses based on climatic parameters and new agricultural techniques for production improvement, the hydroponic vegetal development on inclined benches was evaluated, as answer to climatic variables behavior, dioxide carbon application, evaporative cooling, curtain and nutritive solution management trough out two experiments realized during autumn and winter seasons. It was, also, realized an economic analysis of implantation of the proposed system.

Three greenhouses, designated with letters A, B and C, with hydroponic production of lettuce, variety “Vera” were evaluated, on inclined benches, and Nutrient Film Technique. One of them with no dioxide carbon application and no evaporative cooling system, but with mobile lateral curtains and North-South orientation (A), so called “standard”; in comparison with the others two that had dioxide carbon application, where the East-West oriented has mobile lateral curtains too (B), and the North-South oriented had evaporative cooling system with no mobile lateral curtains (C).

The dioxide carbon application occurred from 9:00 AM to 12:00 AM, with two different times: during 9:00 AM at 10:00 AM, and from 11:00 AM to 12:00 AM. On the first time, when temperature allowed, the application was done with the curtains closed in order to obtain better results. It was tried to keep the inside atmosphere with a CO_2 concentration close to two or three times the standard environment atmosphere.

For the trial set from May, 25 to June, 29 the production of fresh and dry

mass, and the number of leaves from the greenhouse C were statistical superior, at 5% level of significance, to these same parameters of productions in relation to greenhouses A, and B. Production of fresh mass from greenhouse B was, also, superior, at 5% level of significance, to greenhouse A.

For the experiment set from July, 14 to August, 20 the production of fresh and dry mass, and the number of leaves from the greenhouse C were statistical superior, at 5% level of significance, to these same parameters of productions in relation to greenhouses A, and B. Production of fresh mass from greenhouse B was, also, superior, at 5% level of significance, compared to greenhouse A. However, there was no statistical difference between greenhouses A and B, for those production parameters.

The production costs of greenhouses were very high. But, it is important to notice that these costs took in consideration the acquisition of blend new greenhouses by the producers, and the electrical energy consumption was overhead due to the impossibility to measure the actual kWh.

From the obtained results of the two experiments it was possible to conclude that:

- Even though were not seasons of high temperatures the evaporative cooling system was able to keep, satisfactorily, the temperature in desired range at greenhouse C;
- In order to improve the evaporative cooling system was observed the necessity of humidistat;
- The relation between wind velocity and CO_2 concentration showed that

was not viable the application on open greenhouses;

- CO_2 concentration, at the times application, and the distribution of PAR radiation enabled the evaluation of the disposability of these important parameters to the plants for realizing photosynthesis;
- The results of fresh mass gain pointed out, in percentage, how the atmosphere enrichment with carbon dioxide interacted between enriched and not enriched environments;
- The temperature control associated with CO_2 enrichment showed to be the best modification technique to the inside environment of greenhouses, greenhouse C, to the lettuce production in the two experiments;
- The increase in percentage of fresh mass at greenhouse C, was proportional to the increase, also in percentage, to the production cost related to the others greenhouses, exception to greenhouse B;
- The quality of harvested fresh lettuces at greenhouse C was by visualization, better than the others greenhouse, with the advantage to have a short period of time for production;
- The costs of design implantation were very high to all greenhouses in study;
- The profitability rate was a good way of comparison of the invested capital, in function of obtained incomes;
- An alternative to reduce implantation costs would be to utilize alternative materials with low costs, but with the same functionality.

I. INTRODUÇÃO

Os dados dos anuários estatísticos do IEA (Instituto de Economia Agrícola, 1998 e 1999) apontam, por um lado, que a alface é uma das mais importantes hortaliças cultivadas no estado de São Paulo, perdendo apenas, em área plantada, para as culturas de batata, cenoura e repolho e, por outro, registram expansão tanto de sua área cultivada (+17%) quanto da produção colhida (+22%) entre os anos de 1998 e 1999, passando, respectivamente de 7.126ha para 8.337ha e de 5.797 para 7.074 mil engradado de 9 dúzias.

Por isso, e devido às necessidades de aumentar a produção, no contexto atual de desenvolvimento agrícola, tem surgido diferentes sistemas de cultivos de hortaliças frutos e hortaliças folhas em ambientes protegidos, com o intuito de propiciar um aumento no rendimento da produção, melhorar a qualidade dos produtos, produzir nas entressafras, otimizar o uso de pequenas áreas e utilizar os recursos hídricos de maneira racional.

Um dos sistemas que vem se destacando nos aspectos de racionalização do uso da água, de espaço, mão-de-obra e de uso de nutrientes, é o sistema de cultivo hidropônico, ou seja, a hidroponia. A hidroponia é o sistema de cultivo de plantas realizado a partir do fornecimento de uma solução nutritiva, principalmente para hortaliças frutos e hortaliças folhosas. Este sistema de cultivo se desenvolveu rapidamente, devido ao elevado custo da terra, da produção e das exigências de mercado, sendo que as maiores vantagens desse sistema se encontram no bom desenvolvimento das plantas em menor tempo, com melhor qualidade e com maior lucro.

Uma técnica que é utilizada nos sistemas de produção das casas de vegetação para promover um ambiente adequado as culturas, é a técnica de resfriamento do ambiente. No Brasil está técnica é utilizada, principalmente, em casas de vegetação para a produção de flores, por ser um produto que possui maior valor comercial agregado, enquanto para a produção de hortaliças folhosas e outros vegetais, até o presente momento, existem poucas aplicações e não se tem trabalho referenciando a utilização da mesma. São conhecidas três técnicas de resfriamento em casas de vegetação: uso da convecção natural ou forçada do ar, evaporação da água e refrigeração mecânica, esta última com a desvantagem do alto custo.

A modificação e controle ambiental das estufas possibilitam a manipulação da troca de ar dentro da estrutura durante todo o ciclo de produção. Por isso, um conhecimento básico em psicrometria (afinidade entre ar - água - vapor de água) é necessário, acompanhado de alguns conhecimentos dos parâmetros físicos, tecnológicos e fisiológicos envolvidos.

O monitoramento e controle do ambiente interno da casa de vegetação para a produção vegetal são uma prática comercial cada vez mais difundida entre os produtores em todo o mundo, pois são ferramentas que possibilitam auxiliar o manejo e o desempenho adequado da produção e tem como objetivo rastrear e identificar os diversos parâmetros que afetam o desenvolvimento vegetal, tais como, temperatura, umidade relativa, radiação ultravioleta, radiação solar total, radiação fotossinteticamente ativa, nível de CO_2, sombreamento artificial e nutrição das plantas.

A aplicação de dióxido de carbono nas produções vegetais é uma prática comum no países desenvolvidos, principalmente na produção de flores, enquanto que no Brasil existem poucas instalações que utilizam esta técnica.

Este trabalho avaliou os parâmetros climáticos do ambiente interno de casas de vegetação, o sistema hidropônico de bancadas inclinadas, a aplicação de dióxido de carbono no período das 9:00 às 12:00h, o sistema de resfriamento evaporativo em função da radiação incidente, o manejo das laterais móveis em função da velocidade do vento e da temperatura, para medida da produção de massas fresca e seca, e número de folhas, em sistema hidropônico de alface (*Lactuca sativa* L.), nos períodos de outono e inverno.

Avaliou-se também a viabilidade econômica de implantação do projeto através da análise de investimentos e, a redução ocorrida nos custos de implantação em função da possibilidade de utilização de materiais mais baratos.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importância Econômica dos Produtos Hortícolas

As principais características do setor de produção hortícola no Brasil são: estrutura fundiária composta por pequenos e médios estabelecimentos, alta produção por área cultivada, rendas líquidas bastante expressivas e presença marcante da mão-de-obra familiar como força de trabalho.

As pesquisas agronômicas com hortícolas, particularmente o melhoramento genético das plantas, sistemas eficientes de irrigação e produção em ambientes controlados artificialmente, têm caminhado no sentido de modificar os padrões de sazonalidade da produção, ampliando a oferta no mercado nas épocas de maior escassez do produto considerado, o que significa dizer, nas épocas em que os índices sazonais de quantidade são menores e, em geral, os de preços maiores (HOFFMANN, 1980).

A formação dos preços dos produtos hortícolas no atacado, no Brasil, ocorre num ambiente de: a) praticamente inexistência de estoques, seja pela alta perecebilidade da maioria dos produtos, seja pelos elevados custos de conservação (no caso daqueles que permitem armazenamento, mesmo que por curtos períodos de tempo) e, b) demanda flexível, uma vez que alterações positivas na renda da população traduzem-se em maior consumo de alimentos, principalmente os de origem animal e os hortigranjeiros (GRAZIANO DA SILVA, 1986).

Ou seja, alterações positivas da renda afetam qualitativa e quantitativamente a pauta de consumo da população, tornando mais equilibrada a relação alimentos energéticos/protéicos e produtos ricos em vitaminas e sais minerais disponíveis, principalmente, nas frutas, verduras e legumes. Assim, é importante ressaltar que o

baixo consumo de hortigranjeiros pela população brasileira, registrado em diferentes estatísticas oficiais, é determinado fundamentalmente por um problema de má distribuição de renda e não por questões de ordem cultural (SALLES, 1991).

A sazonalidade da produção agrícola, que nada mais é que a maior ou menor disponibilidade do produto em determinadas épocas do ano, é resultado de características intrínsecas à agricultura. Os ciclos naturais de produção, que podem ser maiores ou menores dependendo da espécie cultivada, e os limites de tempo de armazenamento/conservação, criam as condições básicas para a existência de uma oferta de produtos concentrada em certos períodos do ano (safras), nos quais os preços no mercado tendem a ser menores que aqueles registrados no período de escassez relativa (entressafra).

Ademais, SALLES (1991) constatou que determinados produtos de grande procura e aceitação pela população podem influenciar a formação de preços de outros similares, no caso, a alface exerceu influência direta na formação dos preços do repolho no mesmo sentido que os seus ao longo de toda a década de oitenta tanto no Entreposto Terminal de São Paulo (CEAGESP), quanto na CEASA-Campinas.

Os dados dos anuários estatísticos do INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (1998 e 1999) apontam para a alface, nesses dois anos, um aumento de 17% na área plantada e 22% no volume de produção colhida.

2.2. Ambiente de Cultivo e Condições Ambientais para Alface

Segundo SGANZERLA (1987), as vantagens que as casas de vegetação podem proporcionar à planta protegida são inúmeras, desde que se façam um uso correto das instalações. Dentre estas vantagens, destacam-se, a obtenção de colheitas fora de

época, maior qualidade dos produtos, precocidade das colheitas, melhor controle de doenças e pragas, economia de insumos, economia de água, plantio de variedades selecionadas e considerável aumento da produção.

MONTEIRO et al. (2000), avaliando os parâmetros: temperatura e umidade do ar, no interior de túneis de cultivo baixo, sem cultura, de 1,2m de largura por 0,6m de altura e 6m de comprimento, com 0, 5, 10, 15 e 20 % de área de filme perfurada e em solo sem túnel, durante inverno, primavera e verão, verificaram que quanto maior o percentual de perfuração, menor a elevação da temperatura no interior do ambiente protegido e maior a perda de umidade para o ambiente externo, devido à maior renovação do ar permitido pelas perfurações. Observaram também que os maiores valores de umidade relativa ocorreram no túnel totalmente fechado e as alterações na densidade de fluxo de radiação solar incidente em dias nublados foram mais significativas na modificação do microclima interno dos túneis baixos que as próprias perfurações estudadas.

Kosai (1977), Critten (1983a,b) e Kurata citados por BORSATTO et al. 2000, CARMO (2000) e CAMACHO et al. (1995), analisando a transmissividade da radiação solar em casas de vegetação, observaram que a radiação solar incidente no interior de uma casa de vegetação é sempre menor se comparada com o exterior, pois ocorrem processos de reflexão e absorção pelas cobertura e estrutura da casa de vegetação.

Segundo CAMACHO et al. (1995), no Rio Grande do Sul, a utilização do plástico nas casas de vegetação e túneis baixos tem demonstrado ser uma boa forma de proteger os cultivos contra as adversidades climáticas. Relata também que a temperatura do ar no interior das casas de vegetação difere da externa e depende da densidade de fluxo de radiação solar incidente no interior das mesmas e do manejo

adotado. Sendo que a variação da temperatura do ar depende também do tamanho da casas de vegetação e do volume de ar a ser aquecido. Ainda destaca que cerca de 10% a 20% da radiação global incidente é refletida e absorvida pelos materiais de cobertura das casas de vegetação e túneis.

Baille e Baille (1990), citado por BORSATTO et al. 2000, estudaram a influência das estruturas na transmissão da radiação solar e, definiram como primeiro critério para classificar uma casa de vegetação como eficiente a alta transmissividade da radiação solar durante o período de inverno, e como segundo critério, a homogeneidade da distribuição da luz no seu interior.

BORSATTO et al. (2000), avaliaram as diferenças proporcionadas por plásticos utilizados comercialmente na cobertura de casa de vegetação em relação a transmissividade da radiação solar. Utilizaram casa de vegetação modelo túnel alto com as dimensões de 6,4x30 metros com 4,2 metros de pé direito, coberta com PVC de espessura 150 micras sendo metade com cor azul e a outra metade transparente. Observaram que o filme azul proporcionou uma maior atenuação da radiação global, radiação PAR e luminosidade no interior da casa de vegetação, na ordem de 35%, 40% e 30% respectivamente, ao passo que sob o PVC transparente a atenuação foi da ordem de 29%, 28% e 15%. Essas diferenças mostraram também que a relação entre a radiação PAR e a radiação global foi menor sob o PVC azul (36,9%) do que sob o PVC transparente (40,4%), o que se deve à maior reflexão do PVC azul aos comprimentos de onda na faixa de 500nm. Como a atenuação da luminosidade, da radiação global e da radiação fotossinteticamente ativa foram maiores sob o PVC azul, tem-se que este tipo de material de cobertura de casa de vegetação pode ser utilizada às culturas que exigem menor carga energética e luminosidade. Com relação à

radiação difusa, os autores não constataram diferenças estatísticas entre as duas coberturas.

KAI et al. (2000), realizaram uma pesquisa onde caracterizaram as variações climáticas no interior de duas casas de vegetação revestidas com materiais distintos: polietileno de baixa densidade (PEBD) com aditivos de proteção anti-ultravioleta e 150 micras de espessura e a outra com policloreto de vinil (PVC) com os mesmos aditivos e espessura. Eles concluíram que o uso do PEBD como material de cobertura em casas de vegetação, apresentou valores superiores na temperatura de globo negro, temperatura ambiente, temperatura do solo a 0,05 e 0,25m de profundidade e intensidade de luz, quando comparado com os valores de PVC, que por sua vez apresentou baixa intensidade de luz e maior acúmulo de poeira. Os dois materiais não apresentaram diferenças estatísticas quando comparou-se a carga térmica de radiação e a umidade relativa.

AGUIAR E SILVA et al. (1999) teceram o seguinte comentário: "A essência do conceito de saldo de radiação está na afirmação de que a diferença entre a energia que entra e a energia que sai do sistema, é a energia utilizada ou armazenada por ele. A utilização dessa energia nos ambientes protegidos para a produção vegetal dá-se de várias maneiras, sendo que as principais são: no aquecimento do ar, das plantas e do solo, na transpiração e evapotranspiração e nos processos de síntese biológicas".

Estes autores avaliaram, também, o saldo de radiação, a radiação global e a refletida, dentro de casa de vegetação de polietileno de baixa densidade (120μm) em condição de solo desnudo na área experimental da UNESP/Botucatu. Eles estimaram o saldo de radiação de ondas curtas (SRoc) efetuando-se a diferença entre a global

(GLO) e a refletida (REF), enquanto que o saldo de radiação de ondas longas (SRol) foi obtido através da diferença entre o saldo de radiação e o saldo de ondas curtas. Relacionando essas variáveis através de regressão linear. Dessa maneira, segundo os autores, pode-se estimar com boa precisão os componentes do saldo de radiação (saldo de radiação de ondas curtas e longas, e saldo de radiação), a partir de valores integrados (MJm^{-2}) de radiação global, dentro de casas de vegetação.

FRISINA E ESCOBEDO (1999) realizaram uma pesquisa com o objetivo de determinar os balanços de radiação e energia da cultura de alface (*Lactuca sativa* L.), cultivar Verônica, em casa de vegetação de polietileno. O experimento foi realizado em uma casa de vegetação tipo túnel alto com cobertura de polietileno (100μm de espessura) e em uma área externa, ambas com $35m^2$. Os pesquisadores concluíram que: os níveis das irradiações global e refletida no interior da casa de vegetação acompanham as irradiações externas com menores intensidades, devido à redução provocada pela cobertura de polietileno; a transmissividade da radiação global pelo polietileno não varia durante o ciclo da alface, mostrando ser independente da superfície vegetada; a razão entre as radiações refletidas interna e externa apresenta variação ao longo do ciclo, provavelmente devido ao maior crescimento da cultura dentro da casa de vegetação; o saldo de radiação de ondas curtas, maior no exterior do que no meio interno, não caracteriza maior nível de conversão da energia da radiação global; a perda de radiação por emissão de radiação de ondas longas é maior no meio externo e o fluxo de calor latente de evaporação é maior no meio externo, enquanto os fluxos de calor no solo e sensível são maiores no interior da casa de vegetação.

Considerando a umidade relativa do ar, Prados (1986) citado por DA SILVA E SCHWONKA (2000) observou que os valores médios no interior da casa de vegetação de PEBD, são similares aos observados a céu aberto, porém, analisando sua evolução durante o dia, verificou grandes variações, com valores elevados durante a noite (100%) e muito baixo durante o dia (20%).

DA SILVA E SCHWONKA (2000) analisou o comportamento da temperatura do ar (máxima e mínima) dentro e fora de três casas de vegetação no município de Quatro Barras/PR. Utilizou casas de vegetação com área de 250m^2 (5x50m) e altura de 2,5m, orientadas no sentido 49º07' NE em relação ao comprimento, dispostas lado a lado com espaçamento de 1m. Uma casa de vegetação foi coberta com filme transparente de baixa densidade, com 150μm de espessura. A segunda foi coberta com filme leitoso de 150μm de espessura e a terceira com filme (tela) transparente antigotejante, com estabilização anti-raios ultravioleta, de 200μm de espessura. Os resultados mostraram que os filmes de polietileno estudados, alteram acentuadamente os valores da temperatura máxima interna do ar, sendo que a mesma foi sempre superior que a externa, na ordem de 10 a 25%. A segunda casa de vegetação coberta com filme leitoso com 150μm de espessura foi a que apresentou melhores resultados para as condições da região; sua tendência de linearidade no aumento da temperatura não é limitante para seu emprego.

Apesar de inúmeras vantagens, as casas de vegetação comportam-se insatisfatoriamente do ponto de vista térmico, uma vez que durante o dia ocorrem temperaturas elevadas, que dificilmente são evitadas pela ventilação natural e, à noite,

com freqüência, ocorrem temperaturas inferiores às críticas das plantas cultivadas (DA SILVA et al., 2000).

BOILY (1999), descreve que as plantas se desenvolvem dentro de uma ampla faixa satisfatória de condições ambientais definidas principalmente pela temperatura e umidade relativa do ar. Devido a este aspecto, controlar o meio ambiente na casa de vegetação, não significa manter constantes os parâmetros climáticos, mas mantê-los numa faixa específica para otimizar a produção, minimizar o consumo de energia e maximizar os lucros.

YANG et al. (1989) caracterizaram o microclima da produção de pepinos em casa de vegetação utilizando como variáveis respostas os sensores instalados e o crescimento das plantas. Os autores observaram os perfis verticais da radiação solar, a movimentação do ar, as temperaturas da folha e do ar, a umidade relativa, a taxa de transpiração, a resistência dos estômatos e a arquitetura das plantas. A temperatura das folhas de cobertura com alta radiação solar foi menor que a temperatura do ar devido a alta taxa de transpiração.

BLISKA Jr & HONÓRIO (1996) destacam que o termo plasticultura, utilizado para designar o uso do plástico na agricultura é inadequado para caracterizar o cultivo protegido, uma vez que, o cultivo protegido representa uma técnica de proteção ás plantas contra os intempéries climáticos (chuva, vento etc.) e abrange normalmente culturas adensadas. Os mesmos autores caracterizam as estufas, um tipo de ambiente protegido, como sendo uma estrutura de proteção ao cultivo de plantas com alto grau de controle e casa de vegetação, um outro tipo, como sendo uma estrutura mais complexa permitindo um controle total do ambiente em relação aos fatores água, nutrientes, luz, temperatura, umidade relativa e concentração de CO_2. No entanto, o

termo estufa está sendo utilizado apenas por produtores e, a designação técnica para estas estruturas é casa de vegetação com diferentes graus tecnológicos.

Após definida a cultura que vai ser implantada no ambiente protegido, deve-se caracterizá-la quanto aos fatores climáticos e faixas de melhor desenvolvimento. Esses fatores climáticos, considerados limitantes, podem ser resumidos em temperatura de máxima e mínima, umidade relativa máxima e mínima, nível de luminosidade máximo e mínimo. Estes parâmetros devem ser avaliados em relação ao desenvolvimento fisiológico da planta e da viabilidade econômica do cultivo comercial (BLISKA Jr & HONÓRIO, 1996).

Para a cultura da alface é recomendado uma faixa de umidade relativa entre 60 e 80% (BLISKA Jr & HONÓRIO, 1996) e uma faixa de temperaturas noturnas de 17 a 18°C quando ocorrerem dias nublados, e de 21 a 26°C quando ocorrerem dias ensolarados (ASHRAE, 1989). Os autores MARSH & ALBRIGHT (1991) destacam que a temperatura ideal para o bom desenvolvimento da cultura da alface é de 25°. CARMO Jr (2000) relata que a sensibilidade às variações de temperatura e também de luminosidade é característica particular de cada variedade.

Sabendo-se que cada vez mais está se intensificando o cultivo protegido, cabe ressaltar que além da utilização correta das casas de vegetação, um importante requisito se faz necessário para obtenção de melhor produtividade, que é a utilização de mão de obra especializada para realização de um manejo correto e a utilização de novos sistemas de produção, como por exemplo, o sistema hidropônico.

2.3. Sistema Hidropônico

A hidroponia é um sistema de cultivo onde as plantas crescem fixadas em substrato ou colocadas em canais de cultivo por onde circula uma solução nutritiva em meio aquoso, com os nutrientes necessários ao desenvolvimento da planta e de acordo com a necessidade de cada espécie vegetal. Esta solução nutritiva, que deve manter suas características físico-químicas, necessita de um controle adequado do pH e da condutividade elétrica para manter suas características iniciais de balanceamento e permitir que as plantas cresçam sob as melhores condições possíveis.

A alface é a hortaliça mais cultivada nos sistemas hidropônicos devido ao seu pioneirismo como cultura hidropônica, por possuir um ciclo curto de produção (45-60 dias) e ter fácil aceitação no mercado consumidor (KOEFENDER, 1996). Mas existem outros tipos de vegetais que estão cada vez mais sendo cultivados nesses sistemas, tais como, feijão-vagem, repolho, couve, salsa, melão, agrião, pepino, beringela, pimentão, tomate, arroz, morango, forrageiras para alimentação animal, mudas de árvores, plantas ornamentais, entre outras espécies (http://www.hidroponica.cjb.net/).

JONES Jr (1982), destacou que a técnica de nutrição às plantas mais aplicada nos sistemas hidropônicos é a técnica do "Nutrient Film Technique", ou simplesmente NFT. Nesta técnica, as plantas, após transplantadas, desenvolvem seu sistema radicular apoiados em canais de cultivo por onde escoa um filme de solução nutritiva. Hoje, cada vez mais, o pesquisadores têm-se concentrado e dedicado aos estudos do aperfeiçoamento da solução nutritiva, buscando adequar às necessidades da planta, evitando assim carências e/ou desperdícios.

KOEFENDER (1996), trabalhando com o crescimento e absorção de nutrientes pela alface cultivada em fluxo laminar de solução (NFT) para três tipos de manejo,

constatou que a relação de massa de material fresco das raízes/parte aérea e a produção de material seco da planta inteira da alface foram afetados pelo manejo da solução nutritiva, influenciando o consumo de solução nutritiva, enquanto que a produção de material fresco não foi afetado. Todavia, observa-se, no trabalho, que as condições experimentais utilizadas foram muito específicas para os tratamentos com manejo de solução nutritiva e, que o autor não afirma qual dos manejos foi melhor para a produção de matéria fresca da alface.

Segundo Epstein (1975), citado por CARMO Jr (2000), as plantas terrestres são capazes de absorver seus alimentos em solução aquosa, sem a ajuda do solo e é possível, por esse método, não somente conservar as plantas vivas e em crescimento por longo tempo, mas também trazer grande aumento na sua matéria orgânica e acarretar a produção de sementes capazes de germinação.

A utilização do sistema hidropônico com bancadas inclinadas, comparada ao sistema de bancadas horizontais, promove um melhor aproveitamento da área da casa de vegetação, podendo conseguir-se uma otimização de 100% de espaço de área plantada (CARMO Jr et al., 1999).

Segundo RESH (1997), o sistema de bancadas inclinadas torna muito mais eficiente a ocupação do espaço interno da casa de vegetação, sendo que, este deve ser orientado na direção Norte-Sul para que a sombra de uma face não seja projetada sobre a outra. O sistema é apropriado somente para plantas de perfis baixos, tais como, alface, morango, espinafre e algumas ervas e, diferentes fatores devem ser considerados na arquitetura desse sistema:

- a base deve ter largura suficiente para eliminar qualquer sombreamento mútuo de uma fileira sobre a fileira inferior mais próxima;

- as fileiras dos canais de crescimento devem ser separadas umas da outras com distância adequada para permitir a altura do ponto de maturação da colheita. Com isso, as plantas de uma fileira inferior não devem crescer sobre aquelas da fileira superior.
- o comprimento total do canal, para qualquer combinação do número de fileiras, não pode exceder 30m de comprimento afim de providenciar oxigenação suficiente e a declividade mínima é de 2% para promover adequado fluxo da solução.

Hoje, os estudos sobre a formulação de soluções nutritivas para diferentes culturas estão bem difundidos, por exemplo, a UFV (Universidade Federal de Viçosa) desenvolveu um "*software*" (HIDROCALC ®) que calcula as soluções nutritivas de custo mínimo utilizando os fertilizantes disponíveis. Para a cultura da alface, na região de Campinas, FURLANI (1998) recomenda a seguinte solução descrita na Tabela1.

Tabela 1. Nutrientes da solução nutritiva

Nutriente	Concentração (mg/L)	Nutriente	Concentração (mg/L)
$N\text{-}NO_3$	223,0	B	0,180
$N\text{-}NH_4$	26,5	Fe	2,500
P	32,0	Mn	0,325
K	294,0	Zn	0,100
Ca	190,0	Cu	0,025
Mg	24,0	Mo	0,050
$S\text{-}SO_4$	33,0		

Fonte: FURLANI (1998).

Segundo RESH (1997), as diversas variedades de espécies vegetais requerem diferentes quantidades de nutrientes em suas soluções nutritivas, particularmente fósforo e potássio. O autor ainda cita que a alface e outros vegetais folhosos requerem maiores doses de nitrogênio que tomates e pepinos, enquanto estes requerem maiores doses de fósforo, potássio e cálcio que as folhosas.

CORTEZ (1999) avaliando a associação do cultivo de alface em hidroponia com a utilização dos resíduos dissolvidos na água residual de um sistema de criação intensiva de peixes concluiu que o sistema não foi capaz de atender a demanda de nutrientes pela alface, principalmente potássio e magnésio, uma vez que as plantas apresentaram clorose nas folhas.

Pode-se dizer que não existe uma formulação que seja única e melhor para uma determinada espécie vegetal, uma vez que, a absorção de nutrientes varia com espécies, variedades cultivares, estágio de desenvolvimento, fotoperíodo, intensidades luminosa, temperatura e outros fatores (MARTINEZ, 1997).

Segundo MARTINEZ (1999), a composição da solução nutritiva varia de acordo com o crescimento da planta, e a amplitude de variação depende da relação entre o seu crescimento e o volume de solução empregado, sendo que, o crescimento das plantas não causa apenas decréscimo nas quantidades de sais disponíveis para as raízes, mas também, alterações qualitativas na solução, uma vez que nem todos os elementos são absorvidos nas mesmas proporções.

Segundo CASTELLANE E ARAÚJO (1995), uma característica muito importante, sendo uma das primeiras a ser consideradas em hidroponia, é o valor do pH da solução nutritiva. O mesmo autor cita que a faixa de 6,0 a 6,5 é a melhor para o desenvolvimento vegetal e que valores fora dessa faixa pode acarretar crescimento reduzido. A variação de pH do meio pode produzir precipitações na solução, retirando elementos essenciais da solução. Para MARTINEZ (1999), em pH superiores a 6,5 pode ocorrer precipitações de elementos como cálcio, fósforo, ferro e manganês, que deixam de estar disponíveis às plantas.

Normalmente, a faixa de temperatura da solução nutritiva, mais adequada às plantas, é de 20 a 30^{o}C (CASTELLANE E ARAÚJO, 1995).

2.4. Enriquecimento do Ambiente Interno com CO_2

Além do controle da disponibilidade de água e de nutrientes ideais para uma boa produção, novos estudos buscam melhorar ainda mais o potencial produtivo das culturas associando novas técnicas de controle do ambiente, como o uso do enriquecimento atmosférico com CO_2.

O fornecimento de CO_2 em períodos do dia em que os vegetais são mais ávidos pelo gás (as condições para atividade metabólica são mais propícias) e onde as concentrações naturais do ar são menores, entre 10 e 14 horas, tem propiciado, em pesquisas e produções comerciais, significativos aumentos de produtividade, precocidade e qualidade do produto colhido.

O uso do CO_2 já foi bastante estudado e sua utilização na produção agrícola já é considerável. HOPEN & OEBKER (1975) pesquisaram o acúmulo de CO_2 em cobertura morta do solo para vários vegetais. Dentro de ambiente protegido KIMBALL & MITCHEL (1979), estudando os resultados do enriquecimento do ar com CO_2 em casas de vegetação ventiladas e não ventiladas, obtiveram resultados com significativas diferenças na produção e qualidade de tomate, onde o uso do CO_2 (1.000μL/L) e da ausência de ventilação (troca com ar externo à casa de vegetação) proporcionaram um aumento médio de 64% de produtividade, a níveis normais de adubação. Com uma concentração de 1300μL/L o peso por fruto foi maior 24% em relação a tratamentos

com concentração ambiente de CO_2. Para esta mesma condição os autores também observaram um acúmulo de 58% a mais de massa de matéria seca por planta.

Segundo a ASHRAE (1978), para obter maiores taxas de crescimento, o enriquecimento com dióxido de carbono é praticado comumente em muitas casas de vegetação. Desta forma, o enriquecimento somente pode ser praticado durante períodos onde o requerimento de ventilação, para controle de temperatura, é pequeno ou nenhum. O mesmo é normalmente praticado em períodos onde a luz é adequada para o crescimento, mas não é suficiente alta para requerer ventilação.

O movimento do ar para o transporte do dióxido de carbono às plantas tem-se mostrado benéfico, desta forma, conclui-se que é necessária uma baixa taxa de movimentação do ar para o transporte do gás, onde estudos mostram que um taxa de fluxo de ar de 0,5 m/s é requerida para um enriquecimento de 50% de gás (ASHRAE, 1978).

Nos anos 70 e início do anos 80, a maior produção em casas de vegetação nos EUA, segundo KIMBALL & ENOCH (1986 - I), foi relacionada com a produção de flores. Eles também relatam que nos primeiros anos da década de 80, várias pesquisas têm demonstrado, repetitivamente, que elevados níveis de CO_2 atmosférico fornecem um maior potencial de desenvolvimento em relação a qualquer outro fator de crescimento da cultura, descoberto até agora, em produção em casas de vegetação.

Os mesmos autores destacam que o início da utilização do enriquecimento de CO_2 para as plantas nas casas de vegetação foi aproximadamente a 115 anos atrás no Norte Europeu, por volta de 1886. Relatos esporádicos apareceram anos subseqüentes, entre a Segunda Guerra Mundial e a crise econômica intermitente. Assim, em 1888, o benefício foi reconhecido e revelado para a prática das culturas nas

casas de vegetação na Alemanha, poucos anos mais tarde na Inglaterra e em 1909 nos EUA, primeiramente com a produção de alimentos e posteriormente com a produção de flores ornamentais.

Alguns dos primeiros experimentos iniciaram-se com deficiência, ou seja, falharam. Os seus resultados foram mostrados em função de uma série de testes de crescimento de plantas em câmaras fechadas. O CO_2 foi fornecido por cilindros com concentrações de aproximadamente 1100μL/L. Nos testes observaram-se "encrespamentos" das folhas, inibição da florescência e aborto dos botões. Eles concluíram que o aumento de CO_2 no ar natural de 2 ou 3 vezes resultaria numa rápida destruição do próximo florescimento das plantas. No entanto, os autores não comentaram em que tipo de plantas e quais variedades foram realizados os testes. Mais tarde, estes resultados negativos foram atribuídos às impurezas contidas no CO_2 utilizado (KIMBALL & ENOCH 1986 - I)

O primeiro experimento conduzido na América foi feito em 1909 pelos pesquisadores Cummings e Jones, conforme explicitado por WITTWER (1986). Estes pesquisadores iniciaram seus ensaios em 1909 e continuaram por sete anos, utilizando CO_2 fornecido pela mistura de $NaCO_3$ e H_2SO_4, no entanto não revelando qual a concentração utilizada.

O mesmo autor destaca que o nível de CO_2 (344μL/L) é subótimo para a fotossíntese e resulta em uma produtividade primária, numa acumulação precária de biomassa e num rendimento deficiente da colheita. Existem evidências de que o alto nível de CO_2 atmosférico, por volta de 1000μL/L, em relação ao nível normal, produz uma grande fixação biológica de nitrogênio, uma excelente formação de tubérculos e

uma ótima resistência aos estresses: falta de água (seca), alta ou baixa temperatura, salinidade, baixa intensidade de luz e poluentes do ar.

Por volta de 1925 foram desenvolvidos experimentos na Escandinávia em relação ao enriquecimento de CO_2 nas produções dentro das casas de vegetação. Vários experimentos mostraram que o aumento da concentração deste gás na atmosfera acelerava a razão de crescimento e proporcionava um aumento significativo no rendimento da cultura. Nos anos 30 e 40 existiram novamente alguns interesses com o enriquecimento de CO_2, mas só depois dos anos 50 é que foram aplicadas em algumas casas de vegetação na Noruega (WITTWER, 1986).

Os mesmos autores constataram uma redução no lucro líquido da fotossíntese em tomates, pepinos e alface quando os níveis de CO_2 caíram 100 e 200$\mu LCO_2/L$ em ambientes controlados. Quando os níveis caíram 200$\mu LCO_2/L$ com densidade de fluxo de fótons fotossintético (PPFD) de 600$\mu mol/m^2.s$ a redução da rede fotossintética foi menor comparada a queda de 300$\mu LCO_2/L$ com o mesmo fluxo de luz. Verificaram também, com tomates, pepinos e alface que, aumentando a intensidade de luz, a razão de transpiração aumentava, sendo este aumento mais significativo nas folhas que se encontravam em ambientes de baixas concentrações de CO_2 do que para as folhas em ambientes com concentrações maiores. Isto pode ser explicado porque as folhas enriquecidas com maiores níveis de concentração de CO_2 tiveram maior assimilação de açúcar, o qual podem criar uma diferença de pressão osmótica nas células guardas das folhas, deste modo, forçando o fechamento dos estômatos, conseqüentemente reduzindo a transpiração.

A longa estabilidade da prática comercial na agricultura protegida, principalmente em casa de vegetação, tem demonstrado que dobrando ou triplicando o nível normal do CO_2 (344μL/L) no inverno, aumenta-se a produtividade de crescimento de vegetais, flores, frutas e mudas de árvores silvestres, mesmo sob condições severas de estresse de luz (WITTWER, 1986).

Nos países do Reino Unido, Leste e Oeste Europeu, União Soviética, Canadá e Japão a prática do enriquecimento de CO_2 em casa de vegetação comercial é mantida, do início ao fim do ciclo produtivo, ou seja, é mantida durante todo o ciclo de produção.

Elevados níveis de CO_2 também reduzem o ponto de compensação de luz e pode estender a duração do ganho de carbono e a longevidade das folhas inferiores na formação da copa. Este aumento de CO_2 atmosférico, ocasional ou propositadamente, induzindo a um aumento da produção, promove um aumento da produtividade. Os possíveis ganhos no crescimento das plantas provenientes da fertilização ocasional da atmosfera global com CO_2 durante o século passado não foram medidos, mas de 5 a 10% de aumento pode ter ocorrido. Essas estimativas de produção, levaram seguinte definição: "Duplicando o nível de CO_2 atmosférico resulta-se num aumento de fotossíntese de 40 a 45% pelas plantas C_3, com desenvolvimento e aumento do peso seco de 20 a 45% e um aumento de 40% na produtividade primária" (WITTWER, 1986).

O corrente nível de CO_2 na atmosfera é definitivamente o fator limitante para a maioria das plantas C_3, e pode ter um efeito significativo sobre a produtividade de ambas as plantas C_3 e C_4, sob condições de estresse de luz, água, ar poluído ou temperatura. Muitas evidências tem sido reunidas indicando que os níveis elevados de

CO_2 na atmosfera da casa de vegetação tiveram um efeito benéfico na fixação de nitrogênio para a maioria dos sistemas biológicos (KIMBALL & ENOCH, 1986 - II).

A resistência da planta ao estresse da deficiência de água, da deficiência de luz, da alta salinidade, das limitações de nutrientes e da toxidade, das altas e baixas temperaturas e dos poluentes do ar, é compensado pelos altos níveis de CO_2 atmosférico, que podem promover o crescimento e sobrevivência de certas culturas em ambientes hostis (KIMBALL & ENOCH, 1986 - II).

Segundo MOE et al. (1986), a concentração ótima de CO_2 para o crescimento das plantas parece ser aproximadamente 1000μL/L para a maioria das produções nas casas de vegetação. Para as plantas jovens ou no estágio de pós-semeadura ou para períodos curto de enriquecimento pode ser benéfico à utilização de 1500μL/L. A alta concentração de CO_2 (≅2000μL/L) pode ter causado danos para algumas culturas, particularmente para aquelas que se desenvolveram sob alta radiação solar. Descreveram também que uma combinação de alta concentração de CO_2 e alta radiação solar aparentemente causaram necrose nas folhas de crisântemo. Danos similares foram detectados em produções de pepinos.

Segundo os mesmos autores, a concentração ótima de CO_2 é aproximadamente a mesma para ambos os níveis de irradiação (alto e baixo) e para os vários estágios de desenvolvimento da cultura de crisântemo. Com essa informação, recomendam uma concentração entre 800 a 1000μL/L de CO_2 para a maioria das produções em casas de vegetação.

HANAN (1990) comenta que a aplicação de CO_2 diretamente na planta, procedimento usados pelos Americanos e Holandeses, é o sistema de distribuição de gás mais apropriado.

Segundo MARTINEZ (1994), é sabido por todos que o aumento da concentração de CO_2, pode ajudar a reduzir aspectos de transpiração, promovendo maior resistência ao estresse hídrico. Além disto, a redução da transpiração em conjunto com os estímulos da fotossíntese produzido pelo CO_2, resultam numa maior eficiência hídrica, condição importante em termos de economia de água.

Segundo BLISKA Jr & HONÓRIO (1996), todo o conhecimento sobre a aplicação de CO_2 é proveniente do Hemisfério Norte, cujas condições climáticas são bastante distintas daquelas encontrado no Hemisfério Sul. Dessa maneira, faz-se necessário a realização de maior número de trabalhos, para as condições de latitude Sul, a fim de tirar conclusões sobre a atratividade econômica do enriquecimento de ambientes com esse gás.

A assimilação de CO_2 pelas folhas da planta depende das condições do ar interno da casa de vegetação durante o dia, tornando-se fundamental um maior controle destas condições para um melhor rendimento da técnica de injeção. Para tal controle se faz necessária, em nossas condições climáticas, a utilização de equipamentos e sistemas que propiciem um ambiente com as condições ideais para o desenvolvimento das culturas (CARMO Jr, 2000).

GOMES et al. (2000), analisaram o comportamento dos macronutrientes na solução do solo e na parte aérea da cultura da alface, sob o efeito de quatro doses de CO_2 (0; 2,24; 6,73; 3,46kg.ha^{-1}) aplicadas via água de irrigação por gotejamento. As doses foram distribuídas aleatoriamente em quatro canteiros, com lâminas iguais de

irrigação. Foram utilizados extratores de cápsulas porosa para extração da solução do solo, e conseqüente análise da concentração dos íons (NO_3^-, K, Ca e Mg). A análise química destes íons nas plantas, por ocasião da colheita, revelou um incremento de 39% do íon potássio para a dose de 6,73kg.ha^{-1} de CO_2, quando comparado à testemunha. Os resultados da análise da solução do solo demostraram decréscimo nas concentrações dos íons estudados, ao longo do ciclo de cultivo para todos os tratamentos, o que é de grande importância, pois refletiram o caminhamento dos nutrientes do solo para a planta.

2.5. Influências da Radiação e da Temperatura no Ciclo das Culturas.

A luz é considerada como o primeiro fator de regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas. Segundo GAUDREAU et al. (1994), a utilização de condições de iluminação intensa propiciaram uma alta produtividade em vegetais adultos em várias casas de vegetação. As condições de iluminação com alta intensidade de luz em experimentos conduzidos em câmaras de crescimento tem propiciado um aumento no peso seco da alface e um aumento na sua velocidade de crescimento. O mesmo autor também cita que não se tem estudado o efeito da radiação infravermelha no crescimento e no desenvolvimento das plantas de alface adultas no sistema hidropônico e que, aumentando o fotoperíodo, teve-se como resultado um aumento substancial do peso fresco de várias cultivares de alface.

A alta intensidade de luz dentro da casa de vegetação afeta a qualidade da alface, influenciando a incidência de bordas queimadas nas folhas. Estas queimaduras que surgem durante a formação da cabeça de alface é uma desordem associada com o

baixo nível de cálcio e com as condições ambientais, conduzindo à uma rápida acumulação de matéria seca podendo causar a morte precoce.

CAPORN et al. (1994), analisaram a rede fotossintética sobre as folhas da alface sob condições controladas, simulando a atmosfera de inverno em casa de vegetação. Em seus experimentos as plantas foram submetidas a um ambiente enriquecido com 1000μL/L de CO_2 e uma densidade de fluxo de fótons fotossintético (PPFD) de 280μmol/m^2s, mantendo as temperaturas do ar em 16^{o}C durante o dia e 13^{o}C durante a noite. Eles relatam que um curto período de mudança na concentração de CO_2, altera significativamente o gradiente inicial de resposta fotossintética para o PPFD incidente. Em seus resultados, demonstram que a máxima eficiência fotossintética da produção, utilizando o mesmo PPFD, aumenta de 0,041molCO_2/fótons em 350μL/L de CO_2 para 0,055molCO_2/fótons em 1000μL/L de CO_2. Relatam ainda que a mudança de baixa para alta concentração de CO_2, também diminui o ponto de compensação de luz, não afetando a respiração noturna.

No balanço térmico de uma casa de vegetação deve-se considerar a energia proveniente da radiação solar global que penetra dentro da casa de vegetação e as perdas de energia devido à transmissividade da cobertura plástica à radiação emitida pelo solo e plantas, assim como as perdas por condução e convecção.

ALDRICH (1986), comenta que a luz visível é a energia radiante de comprimento de onda no espectro entre 390 e 700nm, o qual estimula a visão humana. Esta luz é essencial para o desenvolvimento das plantas, uma vez que as plantas verdes dependem da energia do fluxo radiante para promoverem seu crescimento. As

respostas das plantas frente a radiação são influenciadas pela intensidade, duração e distribuição espectral da luz.

As três regiões do espectro solar, de qualquer modo, afetam o crescimento das plantas: a radiação ultravioleta (290-390nm), a visível (390-700nm) e a infravermelha (700-4000nm). A radiação ultravioleta é geralmente prejudicial ao crescimento da planta. A fotossíntese, conversão de radiação em energia química, só se procede na luz visível, principalmente com os comprimentos de ondas vermelho e azul. A mudança de estádio de desenvolvimento vegetativo para o reprodutivo, em muitas plantas, é controlado pelo comprimento de onda vermelho (660nm) e o infravermelho (730nm) da cadeia de energia. A intensidade de luz é a variável mais importante e a mais crítica que influencia a fotossíntese (ALDRICH, 1986).

Segundo o mesmo autor, o termo fotomorfogênese é o efeito da luz, independente da fotossíntese, sobre o crescimento, desenvolvimento, diferenciação e reprodução das plantas. Existe um ponto, chamado ponto de compensação, que independe do envolvimento e da absorção do dióxido de carbono, este ponto é alcançado pelas plantas quando a energia da luz absorvida para a fotossíntese é igual a energia usada na respiração. Este ponto varia entre as espécies, tornando uma dificuldade para estabelecer os níveis ótimos de intensidade de luz para as plantas.

Em relação à temperatura da planta, esta é influenciada pela troca de energia radiante, transferência de calor convectivo e evaporação da umidade das superfícies das plantas. A luz, a movimentação de ar, a temperatura e umidade relativa, são processos físicos que influenciam o balanço térmico entre a planta e o seu meio ambiente. Muitos dos dados relatando a temperatura de crescimento das plantas referem-se, preferencialmente, à temperatura do ar e não à temperatura da folha da

planta. Isto tem uma justificativa coerente, pois a temperatura do ar é um componente normal da informação dos postos meteorológicos, enquanto a temperatura das folhas é um parâmetro difícil de ser medido e, uma só folha não representaria a média de uma planta, muito menos a de uma plantação (ALDRICH, 1986).

A afinidade entre a temperatura e o crescimento das plantas é muito complexa, uma vez que, a temperatura é um fator que auxilia no controle das reações dos vários processos metabólicos que promovem o crescimento e a reprodução das plantas. Diferentes processos fisiológicos podem ter diferentes temperaturas ótimas para se processarem. Desta forma, a temperatura ótima para um determinado processo não será a mesma para um outro. Além disso, existe o conceito de termoperiodismo, o qual complica a determinação das temperaturas ótimas.

2.6. Monitoramento dos Parâmetros Climáticos

Na produção vegetal, em casas de vegetação, ou seja, em um ambiente onde se pode monitorar e controlar diversas variáveis físicas, torna-se fundamental a utilização de equipamentos na tomada de decisão, objetivando um manejo adequado e um ambiente propício para produção. Para efetuar o monitoramento e o controle das variáveis físicas em uma casa de vegetação, tais como, temperatura, umidade relativa, radiação solar, níveis de concentração de CO_2, recirculação da solução nutritiva etc., é necessário uma instrumentação eficiente, utilizando-se sensores adequados, sistema de aquisição de dados e controladores.

Dentre as diversas variáveis físicas mencionadas anteriormente, a temperatura é uma das que mais afeta a produção vegetal, pois todas as funções fisiológicas de uma planta estão intimamente ligada à temperatura.

Segundo SIGHIERI & NISHINARI (1973), a medição de temperatura é muito difícil pois esta é muito influenciada por fatores externos aos dispositivos de medida ou pela inércia térmica inerente aos sistemas entre si.

O termopar é, talvez, o mais usado de todos os tipos de sensores usados para tomadas de impulso de temperatura. Este sensor de temperatura se baseia no princípio descoberto por Seebeck, isto é, qualquer diferença de temperatura entre as junções de dois metais diferentes gera uma diferença de potencial (fem = força eletromotriz) entre as junções. Esse efeito termoelétrico foi estudado por Peltier e Thomson, estes descobriram que o potencial é determinado pelos três fatores seguintes: (a) o potencial é proporcional à diferença de temperatura entre as junções; (b) o potencial depende da combinação de metais diferentes; e (c) o potencial depende da homogeneidade do material (SIGHIERI & NISHINARI, 1973).

A equação, a qual descreve o efeito Seebeck, JOHNSON (1997), mostra que a força eletromotriz produzida é proporcional à diferença de temperatura entre as junções e a diferença entre as constantes de transporte térmica metálica. Desta maneira, se os metais das junções são iguais a fem é zero, da mesma forma se as temperaturas forem iguais.

Segundo BARNEY (1988), Seebeck descobriu o efeito termoelétrico em 1821. O autor destaca que a física do efeito termoelétrico é complexa, envolvendo os efeitos Seebeck, Peltier, Thomson, Joule e Fourier, e ainda não é precisamente compreendida, mas pode ser resumida nas três leis empíricas que definem o uso do termopar: (a) Lei dos materiais homogêneos; (b) Lei dos materiais intermediários; (c) Lei das temperaturas sucessivas. Esta última lei permite a calibração do termopar numa dada temperatura de referência e ser usada com uma outra temperatura de referência.

Para melhorar o rendimento econômico do enriquecimento de CO_2 para produções em casa de vegetação, os pesquisadores EHLER & KARSLEN (1993) construíram um sistema especialista chamado OPTICO® . O sistema ajustava continuamente os pontos desejados da atmosfera padrão, através de um computador, em função dos equipamentos, do estádio de desenvolvimento e da fisiologia da produção. Utilizaram dois tratamentos de enriquecimento de CO_2 na produção de pimentão, um otimizado e o outro fixo com nível de 600μL/L. Os pesquisadores concluíram que o tratamento otimizado de enriquecimento resultou num maior rendimento da produção, utilizando menos CO_2.

VAN HENTEN E VAN MEURS (1994) trabalhando na otimização do CO_2 em controle climático de casa de vegetação concluiu que a otimização é muito sensível a erros de modelamento e que um controle proporcional integral aumentaria a precisão nos cálculos do ponto desejado em relação a um controle liga-desliga.

O mesmo autor cita que alguns sistemas são utilizados para sentir ou monitorar os níveis de CO_2 nas casas de vegetação, possuindo as suas vantagens e desvantagens. Alguns são baratos e simples mas limitados em sua precisão, enquanto outros são caros, completamente sofisticados e mais precisos.

Sensores ou sistemas de monitoramento podem ser divididos em quatro categorias: sensores fotoquímicos, sensores eletroquímicos, sensores de absorção de radiação infravermelha e outros métodos (LANGHANS, 1978). No passado, muitas casas de vegetação com atmosfera modificada foram usadas em inúmeros estudos de plantas em ambiente controlado. Essas casas de vegetação podem ser usadas para experimentos, porém deve-se definir adequadamente o estado da atmosfera utilizando

sensores. Após a modificação do clima na casa de vegetação estudou-se e analisou-se as respostas das plantas frente as estas modificações.

2.7. Métodos de Redução da Temperatura em Casa de Vegetação.

As melhores técnicas de condicionamento do microclima de ambientes protegidos são aquelas que atuam na redução da carga térmica incidente de radiação solar sem prejudicar o desenvolvimento da planta. Desta forma, é necessário estudar e conhecer melhor as necessidades ou capacidades das culturas no que se refere ao aproveitamento da radiação solar.(MONTEIRO et al., 2000).

Segundo Kittas et al. (1987) citado por JUNIOR et al. (2000), o sombreamento artificial das casas de vegetação poderia ser um dos métodos mais utilizados para a redução da temperatura interna sendo uma solução de custo econômico reduzido.

Em trabalho realizado por JUNIOR et al. (2000), estudou-se o sombreamento como medida para redução da temperatura interna de abrigos para cultivo protegido e seu efeito sobre algumas variáveis microclimáticas, no município de Ilha Solteira/SP. Nessa pesquisa cultivou-se gladíolo, utilizando-se três ambientes distintos: uma casa de vegetação coberta somente com filme de polietileno, outra casa de vegetação coberta com filme de polietileno e tela de sombreamento (18%) e campo aberto. Em seus ensaios concluíram que o uso de sombreamento artificial (18%) não produziu eficiente redução da temperatura interna do abrigo para cultivo protegido, embora tenha promovido sensível redução na disponibilidade de radiação. Constataram também que não houve alterações importantes nos valores de umidade relativa e déficit de saturação de vapor d'água em comparação ao abrigo sem sombreamento e ao campo aberto.

A ventilação ou renovação do ar, a evapotranspiração da cultura, a radiação solar e a evaporação de água dentro do ambiente protegido são os principais fatores que influenciam na redução de temperatura (Montero E Antón, citado por FURLAN et al. 2000).

De acordo com Andriolo, citado por FURLAN et al. (2000), o manejo das temperaturas excessivamente elevadas pode ser feito pela ventilação ou pela nebulização, sendo a ventilação estática mais fácil de ser utilizada por depender basicamente das diferenças de pressão entre o ar localizado no interior e no exterior do ambiente protegido.

FURLAN et al. (2000), realizaram um trabalho no município de Piracicaba/SP/BR com o objetivo de avaliar o efeito do resfriamento do ar em ambientes protegidos sobre solo nu através de abertura e fechamento de cortinas laterais e zenitais com análise da distribuição temporal da temperatura. Dois ambientes protegidos similares foram instalados no sentido leste-oeste, com dimensões de 6,4m de largura por 17,5m de comprimento. Observaram que a abertura de cortinas reduz a temperatura do ar no interior do ambiente protegido, sendo essa redução variável com o horário de abertura e velocidade do vento externo.

Segundo CHURCH (1981), o resfriamento em casa de vegetação pode ser promovido por diferentes tipos de processos. Um dos processos usados para ventilar a casa de vegetação é a convecção natural e forçada, no entanto, a utilização da convecção forçada acoplada com a evaporação da água dos meios porosos (“Pads”), promovem um maior abaixamento da temperatura interna da casa de vegetação, muito mais do que a utilização apenas da ventilação. Contudo, a aplicação do processo de resfriamento através de refrigeração mecânica é muito limitada devido ao alto custo.

Segundo Mastalers (1977), citado por CHURCH et al. (1981), o resfriamento por convecção natural em casa de vegetação é um método padrão. Nesse processo, o ar externo mais frio é conduzido para dentro da casa de vegetação, devido às aberturas das faces laterais, e distribuindo-se internamente por toda estrutura. O fator crítico para este sistema é a razão de ar trocado pela convecção livre, uma vez que, esta razão é influenciada pela área total de abertura, extensão da estrutura, velocidade do vento e a diferença de temperatura entre o ar externo e interno. A área total de abertura laterais deve ser de 15 a 30% da área do piso da casa de vegetação para promover um resfriamento efetivo, ou seja para promover uma melhor troca ar entre o ambiente interno e externo. Aberturas maiores que 30% resultam numa desprezível redução na temperatura interna, ou seja, aumentando-se a área de abertura lateral acima de 30% da área do piso consegue-se uma redução de 0,06^{o}C para cada aumento de 1% de área de abertura.

Utilizando a convecção natural, a temperatura dentro da casa de vegetação pode subir de 8 a 11^{o}C acima da temperatura ambiente (Walker et al. 1968a, citado por CHURCH et al.,1981). Portanto, para conseguir uma maior eficiência na troca de ar é necessário a utilização de convecção forçada.

No processo de convecção forçada a temperatura do ar pode ser abaixada de 3 a 6^{o}C a mais do que no processo de convecção natural (Walker et al. 1968b, citado por CHURCH et al.,1981). Modificações no processo de convecção forçada pode resultar em maior uniformidade de distribuição da temperatura. Um exemplo de modificação é a utilização de tubo de convecção. Este tubo de convecção é fixado na entrada do ar fresco na parte superior de um lado da casa de vegetação e fechado no final do outro lado da mesma. O tubo é perfurado espaçadamente ao longo de todo o seu

comprimento produzindo uma melhor uniformidade de distribuição do ar ambiente (Augsburger et al, 1977, citado por CHURCH et al.,1981).

Segundo Skinner et al. (1977), citado por CHURCH et al. 1981, o uso da evaporação da água para resfriar casas de vegetação, vem a ser o método de resfriamento mais extensivamente usado. O sistema de resfriamento evaporativo é composto por um meio poroso (pad), o qual faz o uso da água para produzir o frio e por um ventilador. A água é aplicada inteiramente no material do meio poroso e puxada por ventilador localizado no lado oposto da casa de vegetação. O sistema de resfriamento evaporativo ou resfriamento adiabático produz dois resultados nas condições do ar interno, o ar é resfriado e umidificado. Nesse sistema a temperatura de bulbo úmido da entrada de ar é o fator limitante na maioria dos resfriamento que podem ser realizados.

Segundo o mesmo autor, o (Aspen pad) cinazita , um tipo de meio poroso, foi usado extensivamente por muitos anos e ainda são populares em muitas áreas. Muitos dos sistemas de resfriamento na Flórida fazem uso deste material, no entanto, para as condições locais esse material tem vida curta, sendo susceptível a infestação de algas as quais contribuem para o degeneramento e compactação do mesmo, resultando numa operação ineficiente. O meio poroso de papel celulose é impregnado com saturantes enrijecedores, agentes umidificantes e sais insolúveis para resistir a podridão. Impregnações com fibras de cimento, juntamente com pequenas porções de pêlo de porco emborrachado é um outro tipo de meio poroso que está sendo utilizado. Outros tipos de cinazitas, como por exemplo, meios porosos coberto com cimento e meios porosos de celulose enrugada, quase todos, produzem a mesma quantidade de resfriamento evaporativo, mostrando que não existem diferenças estatísticas entre a eficiência destes materiais. O meio poroso emborrachado com pêlo de porco teve

ineficiência no resfriamento. Relata também o método de resfriamento com névoa a alta pressão, é um outro método de resfriamento para casas de vegetação. Nesse sistema a água é pulverizada no ar sobre as plantas com uma pressão de 3447 a 6895Pa através de um pequeno bocal, com vazão 1,9 a 2,8 litros por hora. Uma fina névoa preenche a casa de vegetação, resultando no ar resfriado.

O uso do resfriamento através da refrigeração mecânica (ar condicionado) é limitado pela grande quantidade de calor que deve ser removido de dentro do ambiente de produção, desumidificação do ar, o capital investido nos equipamentos, os custos operacionais e os problemas de manutenção (CHURCH et al., 1981).

MONTERO et al. (1981) destacam que umidades relativas muito altas, acima de 90%, diminuem a taxa de transpiração das folhas e para umidades muito baixas, inferiores a 50%, podem resultar em altos níveis de transpiração causando estresse hídrico nas plantas. Os autores relatam que um sistema de resfriamento evaporativo pode ser capaz de conservar a umidade relativa da casa de vegetação entre 80 – 85%.

Segundo BAILEY (1990), em regiões com climas de inverno brandos, muitas vezes, experimentam altas temperaturas de verão que limitam o período de produção efetiva em casa de vegetação. Se as altas temperaturas externas do ar estão associadas com baixa umidade absoluta, o resfriamento evaporativo pode providenciar um caminho efetivo na redução do estresse térmico e hídrico sobre as plantas e desta forma poderá permitir um alongamento no período de produção.

Segundo FANG (1995) não existe projeto universal para resfriamento de casa de vegetação, contudo, a estrutura da mesma precisa ser suficientemente flexível para promover ventilação e resfriamento evaporativo em situações climáticas diferentes e ser suficientemente resistente para suportar ventos fortes.

2.8. Controle de Umidade Relativa

BARBEE et al. (1973) relatam que a umidade relativa é uma importante variável controlada em projeto de simulações, visto que, a mesma depende da pressão, evaporação, transpiração e temperatura ambiente e é fundamental no controle do crescimento de plantas, na prevenção de doenças, na determinação das cargas de aquecimento ou resfriamento e na redução do uso de água pelas plantas.

Segundo a ASHRAE (1981), umidades muito altas ou muito baixas podem afetar o crescimento da planta pela influência de fatores secundários, como por exemplo, as altas umidades trazem problemas às plantas através de patógenos e as baixas umidades trazem problemas de transpiração, por isso controlar e manter a umidade numa faixa satisfatória ao desenvolvimento vegetal é de fundamental importância.

O controle da alta umidade através da ventilação, normalmente pode ser usada para reduzir a umidade interna em casas de vegetação em períodos quentes, uma vez que umidade acima de 90% é considerada crítica no controle de doenças e por isso deve ser evitada (ASHRAE, 1978).

A manutenção de valores preestabelecidos de umidade relativa do ar dentro de uma casa de vegetação é um fator importante para o melhor desenvolvimento das culturas, mantendo as condições fitossanitárias em níveis controláveis e propiciando valores que permitam um controle da temperatura (REILLY, 1994).

O autor cita que, geralmente, todo o vapor d'água produzido dentro de uma casa de vegetação é realizado pela transpiração, pela evaporação do solo e pelos sistemas de resfriamento evaporativo. Quando a umidade relativa do ar atinge valores muito altos (indesejáveis), pode ser feita uma remoção por ventilação.

Segundo TRIGUI et al. (1993), o controle apropriado da umidade em casas de vegetação é fundamental para manter o crescimento e a transpiração da produção e, desta forma, evitar deficiências nutricionais e desenvolvimento de doenças. Em virtude desta necessidade, os autores desenvolveram um modelo aproximado de transpiração da cultura e um gerenciamento heurístico (baseado em conhecimentos práticos anteriores, conhecimentos prévios) da casa de vegetação, elaborando uma proposta de controle estratégico baseado nos níveis de transpiração acumulada durante 24h em função do crescimento da cultura e do déficit de pressão de vapor ajustada dinamicamente.

TIBBITTS (1978), comenta que a importância dos níveis de umidade dentro de uma casa de vegetação, na regulação e crescimento de plantas, já foram bem documentados e que os estudos dos anos 70 se voltaram para promover um controle adequado de umidade e assegurar a uniformidade de resposta das plantas, pois os níveis adequados de umidade são difíceis de serem obtidos e de manterem por longos períodos de tempo. O mesmo autor comenta que o monitoramento da umidade, em ambientes controlados, foram objetos de considerável incerteza na época, devido a dificuldade de obter medidas precisas, pois muitos sensores operam continuamente, mesmo estando descalibrados e muitos tinham resposta maiores que um minuto e não conseguiam marcar mudanças rápidas na umidade durante um ciclo de aquecimento ou resfriamento em câmaras ou providenciar leituras para qualquer instante particular.

HANAN (1990) explicita que a umidade relativa é um dos parâmetros mais difícil de se controlar em casas de vegetação e esta é fortemente influenciada pela temperatura e umidade externa. O mesmo autor relata que para temperaturas amenas (0 a 12^{o}C), uma pequena mudança na temperatura pode ter um efeito marcante na

porcentagem de umidade relativa sem afetar, notadamente, o déficit de pressão de vapor, já para temperaturas acima de 20^{o}C o efeito da mudança em % de umidade relativa pode ser drástico.

MARTINEZ (1994) relata que uma das características do ar em casas de vegetação é seu elevado grau de umidade, conseqüente da baixa troca de ar, e comenta que isto deve-se à deficiências no projeto e a ventilação ineficiente.

O controle da umidade relativa, quando se usa a aplicação da ventilação forçada, associada aos meios porosos, em clima subtropical do Estado de São Paulo é mais eficiente quando a temperatura interna de casas de vegetação se elevam em épocas de inverno, devido a grande diferença de umidade relativa do ar externo e interno, podendo propiciar um melhor desempenho do sistema de resfriamento adiabático do ar. Nas regiões de verão chuvoso, a ocorrência de alta umidade relativa do ar, diminui a eficiência dos processos de resfriamento evaporativo. A utilização incorreta do processo de resfriamento evaporativo, instaladas nas casas de vegetação, pode aumentar ainda mais a umidade relativa do ar.

2.9. Aplicações de Software no Controle Climático e na Automatização das Casas de Vegetação

É sabido que os homens estão sujeitos a erros devido ao cansaço ou à distração durante o desenvolvimento de um certa atividade e agem diferentemente entre si. O mecanismo automático, utilizado no controle da produção em diversas áreas do conhecimento, pelo contrário, não sofre tal influência, portanto não sendo prejudicial à homogeneidade da produção.

A aplicação da automatização nas casas de vegetação podem proporcionar vantagens ao desenvolvimento da produção nos seguintes aspectos:

- melhor controle: mais preciso; mais seguro;
- redução de mão de obra: com uma casa de vegetação automatizada, serão necessários menos pessoas trabalhando, diminuindo o trânsito, desfavorecendo a entrada de doenças;
- otimiza o consumo de energia elétrica: Com o mercado cada vez mais competitivo, é necessário usar alternativas que diminua o consumo de energia;
- melhora a qualidade do produto: Uma casa de vegetação com clima, umidade e injeção de CO_2 perfeitamente controlada, produzirá uma cultura com melhor qualidade;
- obtenção de um histórico: Com o histórico da produção em mãos, pode-se analisar um processo e , se for necessário, tomar algumas medidas para a produção futura;
- confiabilidade.

Segundo VOGEL et al. (1989), no início dos anos 70 os estudos agronômicos e a fisiologia das plantas em ambientes protegidos foram acompanhados com o auxílio dos computadores. Estes estudos abriram caminhos e possibilidade para o controle automático do crescimento e dos processos de formação de rendimentos na casa de vegetação. Com os modelos dinâmicos de formação de rendimentos é possível calcular a dependência do rendimentos e de outros parâmetros frente à temperatura, intensidade de radiação e concentração de CO_2 em função dos conhecimentos dos dados específicos e de densidade das plantas para qualquer período durante a estação de crescimento.

Segundo JONES et al. (1984), a tecnologia moderna de controle em ambientes de crescimento fechado envolve o uso de microcomputadores e microprocessadores. Estes dispositivos trabalham com os controles de sinais discreto (on-off = liga-desliga) e contínuo. Os aparelhos operam através da varredura (exploração) de um número de sensores, desempenho, cálculo e comparações, atuando no controle digital e/ou analógico e armazenando os dados.

Segundo HASLAM et al. (1981), a instrumentação é a aplicação de instrumentos para monitoramento, sensitividade e medição em diversas áreas do conhecimento, tais como: controle de qualidade e testes de produtos; monitoramento de saúde, segurança e custos; sistemas de controle; pesquisa e desenvolvimento. Nesta concepção, a instrumentação é conhecida como uma multidisciplina que envolve a física, a mecânica, os fluídos, a termodinâmica, a química e os princípios elétricos. O sucesso da instrumentação depende de uma correta medição que por sua vez depende da calibração e manutenção periódica dos instrumentos.

Apesar dos instrumentos mecânicos serem comumente usados na engenharia, com o advento da modernidade e disseminação das tecnologias houve um grande aumento da utilização de equipamentos eletrônicos, uma vez que, estes possuem rápida velocidade de resposta e facilidade com que os sinais elétricos podem ser amplificados e transmitidos por longas distâncias.

Segundo LANGHANS (1978), o controle do aquecimento automático de uma casa de vegetação pode ser feito com auxílio de sensores de temperatura, que alimentam o computador através dos dados recolhidos internamente à casa de vegetação. A fim de controlar a temperatura de uma forma mais diferenciada, pode-se deixar os computadores trabalhando com diferentes sensores, tais como: sensores

internos para medir a temperatura a nível da planta, sensores externos, para medir a temperatura fora da casa de vegetação e sensores que meçam a temperatura da água a ser circulada. Utilizando esses sensores, além de proporcionar uma temperatura estável dentro da casa de vegetação, adquire-se também uma redução no consumo de energia.

Segundo TAKAKURA et al. (1994), o aquecimento de piso é uma técnica promissora usada para aquecer a casa de vegetação utilizando-se de energia de baixa qualidade, ou seja, utilizando energia barata. A grande inércia térmica dos sistemas de aquecimento requer algumas formas de controle antecipado (prognosticado). Os autores desenvolveram um modelo para analisar efetivamente a lógica de controle de realimentação prévia. A lógica do controle básico foi estabelecida e verificada para o controle da temperatura do ar, através da entrada de energia somente pelo piso. Os autores sugerem, ainda, uma combinação do controle de realimentação prévia e do controle de realimentação como sendo o próximo passo a ser estudado.

Segundo LANGHANS (1978), o principal objetivo do sombreamento é reduzir a luminosidade dentro da casa de vegetação, que por sua vez proporcionará uma redução de temperatura. Para automatizar o sombreamento de uma casa de vegetação, é necessário um sensor de luminosidade que fornecerá dados ao computador central, que por sua vez comandará a abertura ou fechamento do sistema de sombreamento.

Segundo o mesmo autor, o sistema de janelas foi desenvolvido a fim de aumentar/diminuir a circulação de ar de uma casa de vegetação, regulando assim a temperatura ambiente. Portanto, para automatizar o sistema de aberturas ou fechamento de janelas de uma casa de vegetação a utilização da estação meteorológica será de grande auxílio para fornecer dados ao computador. Assim, se a

temperatura externa do ar diminuir, o computador fechará as janelas gradualmente a fim de conservar a temperatura ambiente sem ter que usar o aquecimento. Quando a temperatura externa aumentar o computador mandará um comando para abrir as janelas aumentando assim a circulação do ar, proporcionando dessa forma um ambiente mais adequado para a produção.

HANSEN et al. (1996), trabalhando com crisântemo, no período de janeiro à março, observou em seu experimento que o sistema de controle de clima diminuiu o consumo de energia em 27% com uma produção inalterada de matéria seca num período com irradiação limitada como Janeiro (inverno no hemisfério Norte), e um decréscimo do consumo de energia de 17 a 23%, durante os outros dois meses, com um acréscimo da produção

BOILY (1999), descreve que as modernas casas de vegetação oferecem um grande potencial para a produção de produtos de alto valor comercial. Estas fazem uso de equipamentos, tais como, telas de sombreamento ou térmica, sistemas de nebulização, iluminação suplementar, cultivo hidropônico e controle computadorizado de aquecimento e ventilação. Desta maneira, os equipamentos utilizados na automação e controle permitem um aperfeiçoamento dos parâmetros ambientais assim como da temperatura, luz, concentração de CO_2, volume de ar e substrato, nutrientes, etc.

A utilização de microcomputadores na automatização e controle em casas de vegetação está sendo muito utilizada em todas as partes do mundo, principalmente nos países que detém maiores economias de mercado e as mais recentes tecnologias em "software" e "hardware".

Segundo BLISKA JR & HONÓRIO (1996), o avanço da informática propiciou aos agricultores dos países desenvolvidos uma economia de mão-de-obra e energia nas

diversas operações de manejo envolvidos na casa de vegetação. A automação do fornecimento da solução nutritiva, da ventilação, do controle fotoperiódico ,do sombreamento artificial, da movimentação das cortinas, da concentração constante dos níveis de CO_2, controladas por microcomputadores garantem uma exploração máxima do potencial do ambiente protegido, além de aumentar a eficiência do desempenho da cultura.

TING et al. (1989) desenvolveram um "software" de fácil utilização para avaliar a viabilidade econômica da produção de tomates em ambientes controlados na casa de vegetação. Este software foi escrito na linguagem "BASIC" e realizava os cálculos de custos e rendas na estrutura associada com as condições de desempenho/operação.

KORTHAUS et al. (1989) elaboraram um algoritmo para estudar o ambiente térmico da casa de vegetação ventilada mecanicamente. Este algoritmo foi desenvolvido em cima do estado constante do balanço de energia com a transferência de calor estimada no tempo.

WALKER et al. (1983) trabalhando com o desempenho de superfícies aquecidas em casa de vegetação, modelaram e compararam quatro algoritmos para determinar a razão de fluxo de água ótima para o aquecimento.

OKUSHIMA et al. (sem data) desenvolveram um sistema suporte para o desempenho da ventilação natural da casa de vegetação baseada na aerodinâmica computadorizada. O sistema pôde prognosticar a distribuição do fluxo de ar, da temperatura, da umidade relativa e da concentração de gás sobre várias condições da casa de vegetação, incluindo as configurações e arranjos nas aberturas dos ventiladores, as plantas e as condições meteorológicas.

JIN & HONG (1993), elaboraram um algoritmo para o controle da concentração de CO_2, considerando o crescimento da planta. O crescimento das plantas foi representado pelo peso da matéria fresca das plantas e a razão do consumo de CO_2 medido pelo método do tempo real indestrutível (consumo de CO_2 medido dentro de uma câmara em tempo real sem destruir a folha da planta) .

MARSH & ALBRIGTH (1991) escreveram uma algoritmo para selecionar a temperatura economicamente ótima para a produção hidropônica da alface. A temperatura ótima do ar diariamente selecionada foi a temperatura que maximizava a diferença entre o valor da produção e o custo das modificações ambientais implantadas. Para o período do experimento a temperatura "ótima" economicamente viável foi de 25^oC.

JONES et al. (1988) desenvolveram um instrumento de simulação de custos para avaliar a lucratividade da produção de tomate em função da diferença de temperatura baseado no modelo físico da casa de vegetação, dados histórico do tempo e dados histórico da produção.

JEWETT & SHORT (1992) desenvolveram um software e um algoritmo em um IBM – PC para o controle da irradiação solar dentro da casa de vegetação através de sistema de sombreamento de 5 estágios controlados automaticamente pelo computador. O algoritmo de controle da irradiação usou um esquema de alimentação avançada, baseada na medida da irradiação externa e um modelo de transmissividade da casa de vegetação de vidro para controle da irradiação próxima ao ponto desejado.

DUNCAN et al. (1981) apresentaram um modelo de simulação que descreve os fluxos de energia transiente na casa de vegetação. Para a validação, calibração e sensibilidade do modelo, os autores realizaram uma análise de certos dados do

aquecimento no inverno, mostrando o efeito da conservação da energia total. O uso simulado de um cortinado térmico noturno mostrou um potencial de redução de 17% do requerimento de aquecimento.

Prognosticar as respostas do rendimento da produção em um ambiente dinâmico é um elemento essencial para o desenvolvimento de ótimas estratégias de controles para a casa de vegetação, (JONES et al. ,1989). Nesse intuito, ou autores desenvolveram um modelo de crescimento dinâmico e rendimento de tomate (TOMGRO) especificamente para unir os modelos físicos do ambiente de produção e otimizar a temperatura e as concentrações de dióxido de carbono na produção de tomates. Os experimentos foram realizados em cima de duas combinações de CO_2 (350 e 950μL/L) e três temperaturas noturnas (12, 16 e 20^oC), mantendo-se a temperatura diurna em torno de 28^oC para todos os tratamentos. O modelo descreveu sucessivamente o desenvolvimento, crescimento e rendimento para todas as combinações de temperatura e CO_2. Os autores concluíram numa análise preliminar que o modelo simulou uma redução, no fruto de 200 dias, de 30% quando a temperatura foi diminuída de 28/16 para 28/12^oC (diurna/noturna) e também que houve um aumento de 18% no rendimento simulado quando aumentou-se o CO_2 de 350 para 950μL/L para o cultivo de 200 dias, com temperaturas diurnas/noturnas de 28/16^oC.

Dois modelos de simulação desenvolvidos separadamente foram unidos e usados para avaliar as diferentes estratégias de controle do ambiente na Flórida para a produção de tomates em casas de vegetação (JONES et al. 1990). O "*software*" POLY-2® simulou a ação dos equipamentos no ambiente controlado e o "*software*" TOMGRO® simulou o crescimento, desenvolvimento, quantidade e tempo de rendimento de tomates. A

simulação mostrou que o ponto ótimo de temperatura desejada depende diretamente do preço do combustível, do valor dos tomates e da localização das estruturas. Com os dados dos custos de combustíveis e dos preços de tomates (setembro/outubro 1990) a simulação demostrou que o ponto ótimo desejado para a produção seria 24^{o}C.

VAN HENTEN (1994), desenvolveu um modelo dinâmico de crescimento de produção de alface (*Lactuca sativa* L.) previamente usado no estudo da otimização do clima da casa de vegetação. O modelo descreve o comportamento dinâmico de duas variáveis estado, a massa seca estrutural (parede celular e citoplasma) e a massa seca não-estrutural (glicose, sacarose e amido), como sendo afetadas pela incidência da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), pela concentração de CO_2 e pela temperatura do ar na casa de vegetação. O modelo foi validado pois mostrou com satisfatória precisão a produção de matéria seca das alfaces cultivadas de acordo com a prática padrão de horticultura.

SIGRIMIS E RERRAS (1996), desenvolveram e testaram uma estrutura de modelo linear para rastrear e diagnosticar o comportamento da casa de vegetação com um sistema de multi-entrada-multi-saída (MIMO) e permitir o controle otimizado. O modelo é possível desde que se faça um monitoramento das variáveis no processo, transforme os parâmetros não lineares em lineares antes de entrar no modelo linearizado e que as condições de excitação do sistema de ruído seja dominada.

2.10. Sistema de Medidas, Erro e Controlador

Segundo HASLAM et al. (1981), qualquer sistema de medida simples pode ser representado basicamente pelo diagrama de três blocos. Este diagrama apresenta os

seguintes componentes: um transdutor; um condicionador de sinal e um registrador , como mostrado na Figura 1.

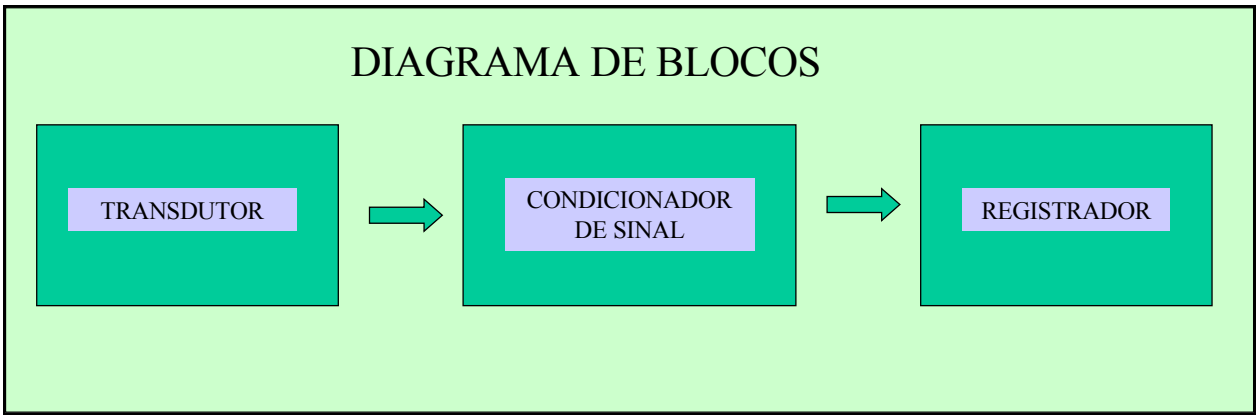

Figura 1. Diagrama de bloco de um sistema de medida básico

O mesmo autor destaca que atualmente a tecnologia dos processos de controle e instrumentação envolve “basicamente” os condicionadores de sinais analógicos e digitais, os sensores térmicos, mecânicos e ópticos e os controladores analógicos e digitais (computadores). Estes sistemas de controles são compostos pelos princípios de funcionamento, o qual abrange o processo, o controle humano, o automático e/ou servomecânico (robótica).

Todo sistema de controle possui uma avaliação que consiste em identificar a performance do sistema, sua estabilidade, regime constante, sua regulação transiente e seus critérios de respostas (resposta cíclica ou não). Esta avaliação do sistema de controle é realizada pela variável erro que expressa a diferença entre a constante de saída ou valor de referência e a variável controlada.

O controlador em um processo, segundo JOHNSON (1997), monitora o resultado de uma medida da variável controlada e determina uma saída apropriada para o elemento final de controle. Nesse aspecto, o controlador é considerado, de certa forma, um computador analógico ou digital, pneumático ou eletrônico, que, usando medidas de

entradas, resolve certas equações para calcular a saída. Os controladores apresentam-se em modelos discretos, contínuos e compostos.

2.11. Sistema de Processamento e Aquisição de dados

O processamento dos dados de um sistema de controle pode ser digital ou analógico. A representação destes dados exprime como a magnitude de algumas variáveis físicas é representada no controle fechado, como por exemplo, se a saída de um sensor temperatura é expressa por uma voltagem, como a magnitude desta voltagem varia com a temperatura

A conversão de dados é feita por aparelhos chamados conversores de sinais. Estes aparelhos especiais são empregados para converter voltagens analógicas em uma representação digital (*analog-to-digital converters* (ADCs)) ou vice-versa (*digital-to-analog converters* (DACs)).

Os condicionadores de sinais (piezoelétrico ou extensiométrico) tem a função de alimentar de forma apropriada os sensores, amplificar ou atenuar o sinal gerado, isolar o sinal eletricamente, linearizar e filtrar os sinais.

Os conversores de sinais tem a finalidade de transformar grandezas, como por exemplo, freqüência/tensão; freqüência/corrente; corrente/tensão; tensão/corrente; CA/CC (corrente alternada / corrente contínua) e isolar eletricamente.

O processo de aquisição de dados é composto pelo fenômeno físico, pelo transdutor, pelo condicionador de sinal e pelo sistema de aquisição de dados, conforme apresentado na Figura 2.

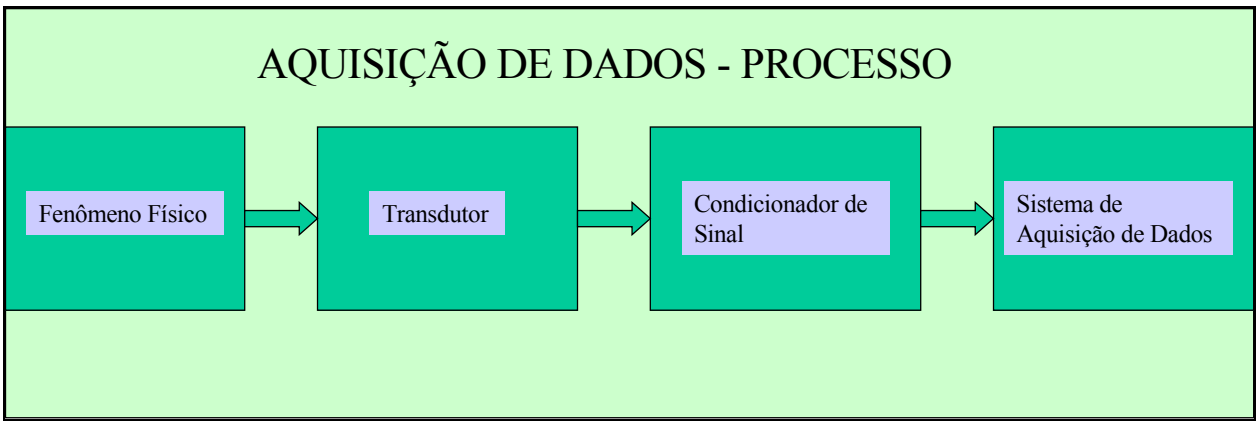

Figura 2. Processo de aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados via microcomputador é exemplificado pela Figura 3.

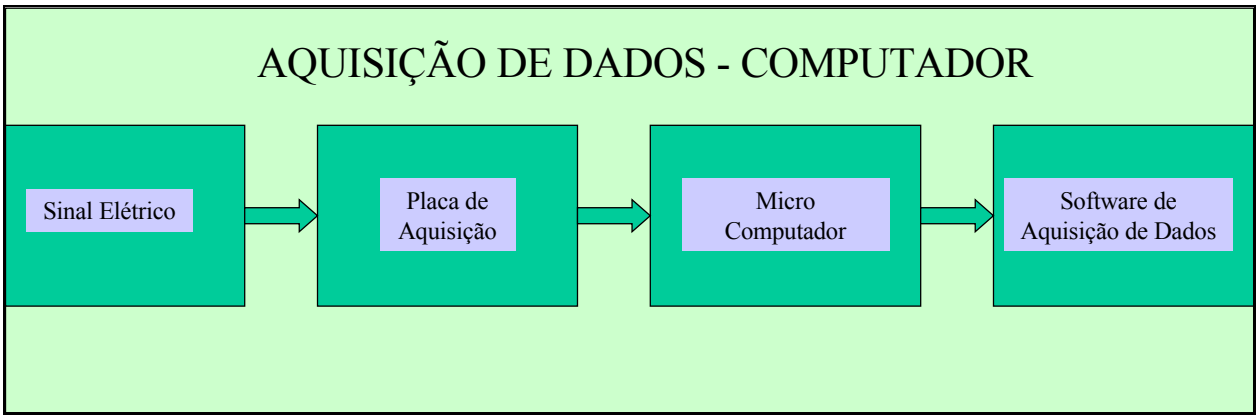

Figura 3. Aquisição de dados via computador

Existem várias aplicações dos computadores nos processos industriais, evidentemente a redução de custos e o preço dos computadores adicionado ao aumento da rentabilidade e velocidade das operações causaram um enorme aumento na utilização dos mesmos nesta área. Um exemplo muito prático da utilização dos computadores nos processos industriais é a aplicação dos Controladores de Lógica Programável (Programable Logic Controllers - PLCs)

III. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e Aspectos Gerais dos Experimentos

O desenvolvimento desta pesquisa foi conduzido em casas de vegetação no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas - SP, no período de março a setembro de 2000 (outono e inverno no hemisfério Sul).

Utilizou-se para este experimento três casas de vegetação idênticas feitas de estrutura metálica de aço com dimensões de 6,5m de largura, 11,0m de comprimento, 3,0m de pé-direito, 2,0m de altura acima do pé-direito e altura da cumeeira de 5,0m, possuindo uma porta com largura de 1,17m e altura de 2,05m, tendo um perímetro de 36,0m, com área de piso de 71,5m^2 e volume de 286m^3. O telhado é do tipo duas águas, com inclinação de 31.6^0, sendo o material lateral e do telhado constituído por plástico transparente (PEBD - Polietileno de Baixa Densidade) com 0,20mm de espessura tratado contra raios ultravioleta.

As casas de vegetação (A) e (C) estão na direção Norte-Sul enquanto a casa de vegetação (B) está na direção Leste-Oeste (Figuras 4 e 5). A casa de vegetação (A), foi considerada casa de vegetação testemunha, não possuiu injeção de CO_2 e nem controle automático de climatização (resfriamento evaporativo - RE), apenas manejo das cortinas em eventuais necessidades (altas ou baixas temperaturas, velocidade do vento muito alta etc.). A casa de vegetação (B) possuiu injeção de CO_2 mas não possuía controle automático de temperatura e umidade relativa (resfriamento evaporativo - RE), apenas manejo de cortinas para amenizar os efeitos de temperatura e otimizar a injeção de CO_2. A casa de vegetação (C) possuiu injeção de CO_2 e controle automático para altas temperaturas (resfriamento evaporativo - RE). Em todas as casas

de vegetação o sistema de cultivo foi em fluxo laminar de solução (NFT) com 4 bancadas cada (I).

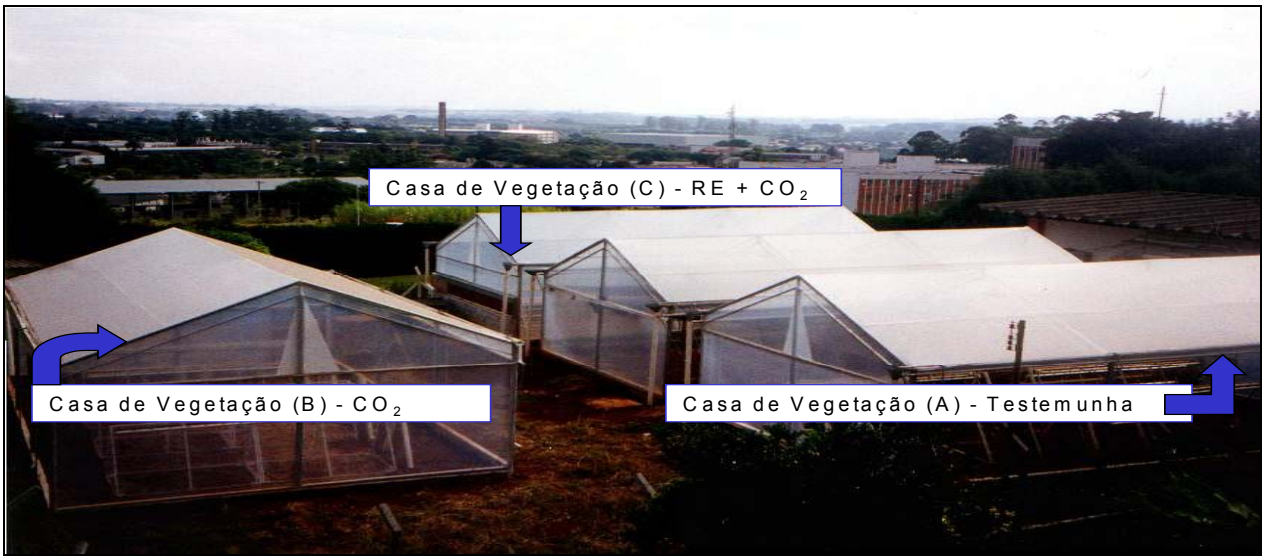

Figura 4. Distribuição espacial das casas de vegetação utilizadas no experimento (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

A Figura 5 mostra o esquema da planta baixa do experimento e a direção do vento predominante na região.

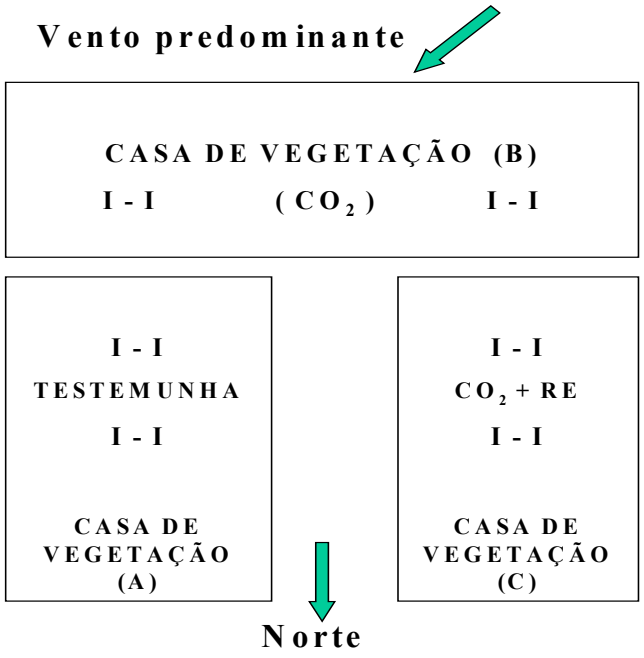

Figura 5. Esquema da planta baixa do experimento com a direção do vento predominante (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

A bancada inclinada feita de estrutura metálica possui seção transversal em formato triangular com dimensões de 4,0m de comprimento por 1,40m de largura basal (A) e 1,37m de altura (B) e 1,54m de lado (C). Possui 12 canais de cultivo (6 canais de cada lado de polietileno adquiridos comercialmente com 0,10m de diâmetro, distanciados 0,105m horizontalmente (H) e 0,20m verticalmente (V). Os canais possuíam uma declividade de 3% para o escoamento da solução nutritiva por gravidade (Figura 6).

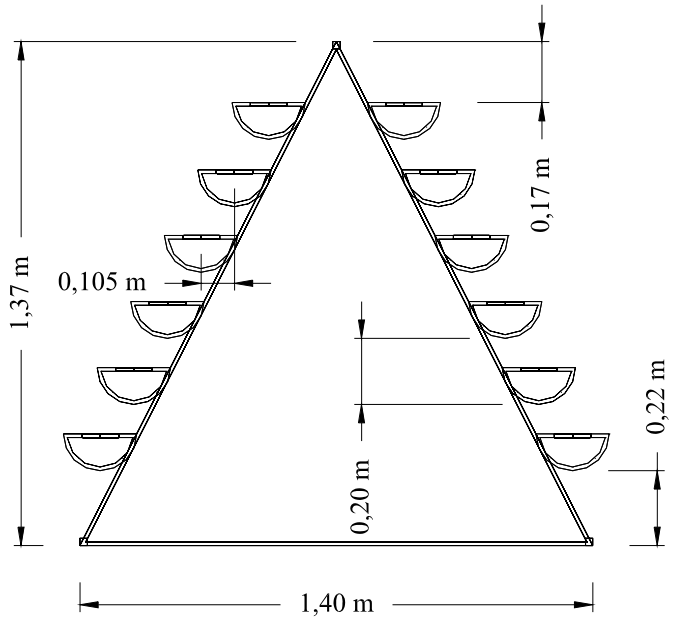

Figura 6. Vista da seção das bancadas e canais de cultivo (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Nos experimentos realizados foram coletados, internamente às casas de vegetação, as temperaturas internas do ar, foliares, de bulbo seco e úmido (psicrômetro), de entrada e saída do meio poroso, radiações solares total, fotossinteticamente ativa (PAR) e ultra violeta (UV - em 254, 312 e 365nm), concentrações de CO_2.

Os dados externos às casas de vegetação (velocidade do vento a 2m de altura, temperatura do ar e umidade relativa) foram obtidos da estação meteorológica da FEAGRI/UNICAMP, que dista, aproximadamente, 70m das casas de vegetação, através do CEPAGRI (Centro de Ensino e Pesquisa em Agricultura). O período de produção foi de março a setembro (outono e inverno no hemisfério Sul), onde realizou-se um cultivo de 25/05/00 à 29/06/00 e, outro ensaio de 13/07/00 à 21/08/00, datas do transplante para os canais e da colheita, respectivamente.

Durante os experimentos realizados sorteou-se 6 plantas por bancadas de cada casa de vegetação e coletou-se a massa fresca ao longo do desenvolvimento vegetal para averiguar o comportamento do crescimento da produção. A coleta foi realizada após o 14, 21, 28 e 35^0 dias do transplante para o experimento realizado de 25/05/00 à 29/06/00 e no 21, 28, 35 e 38^0 para o experimento realizado de13/07/00 à 21/08/00. Para todos os dias coletados realizou-se uma análise estatística para determinar a existência de diferença de crescimento entre as distintas casas de vegetação.

Procedeu-se a desinfecção do sistema (reservatórios e canais de cultivo) com hipoclorito, entre cada experimento, afim de promover uma higienização do local.

3.2. Aquisição e Distribuição das Mudas e, Transporte da Solução Nutritiva

As mudas foram adquiridas diretamente de um produtor de mudas da região, sendo produzidas em substrato PLANTIMAX ®. Foram transplantadas para os canais de cultivo quando possuíam cerca de três folhas por planta, sendo distribuídas nos canais com espaçamento de 0,25m entre si, perfazendo uma disposição total de 15 plantas por canal (Figura 7).

Figura 7. Obtenção e disposição das mudas (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

O fornecimento da solução nutritiva utilizou três reservatórios de fibra com capacidade de 2000 litros/cada, 2 bombas do tipo centrífuga de 3,67kW, e tubulação principal de PVC de 50mm, com derivações de 25mm. Destas derivações até os canais de distribuição, a solução foi conduzida por mangueiras de 19,05mm, que, dispostas em cada lado da bancada, distribuíram por meio de orifícios de 3,5mm, a solução nutritiva em cada canal de cultivo do sistema (Figura 8).

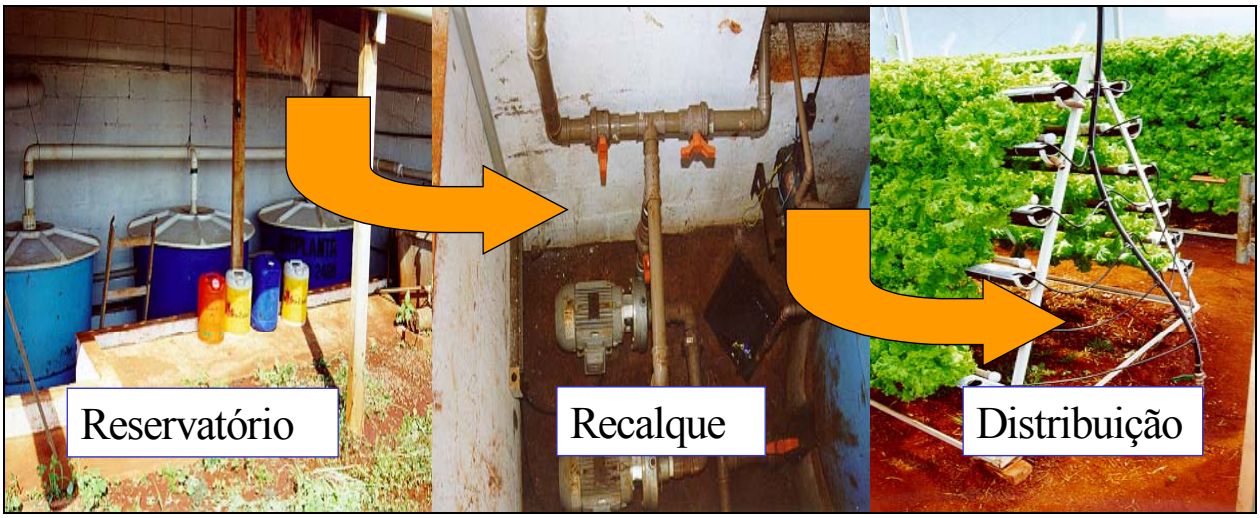

Figura 8. Distribuição da solução nutritiva (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

O sistema de coleta da solução, após o fornecimento às plantas, foi feito por gravidade, através de tubos de PVC de 0,10m de diâmetro, encaixados nas pontas dos canais em cada lado da bancada de cultivo.

A solução nutritiva fornecida à nutrição das plantas, conhecida como Kristalon Laranja, foi adquirida comercialmente. Esta formulação não permitia a correção da solução nutritiva em função do balanço de nutrientes, que continha a água de origem. A reposição de nutrientes consumidos pela planta durante o desenvolvimento experimental foi feita pela solução estoque, ou seja a solução de reposição para correção. A formulação da solução nutritiva e da solução de reposição seguiu as concentrações da Tabela 2.

Tabela 2. Solução nutritiva utilizada nos experimentos

SOLUÇÃO NUTRITIVA – DOSAGEM (g/1000L)					
PRODUTO	**KRISTALON N – P – K – Mg (6 – 12 – 36 – 3)**	**NITRATO DE CÁLCIO (HYDRO)**	**TENSO COQUITEL**	**TENSO FERRO**	**C. E. (CONDUTIVIDADE ELÉTRICA)**
ALFACE	800	800	50	10	2,0
SOLUÇÃO NUTRITIVA PARA CORREÇÃO – DOSAGEM (g/5L)					
ALFACE	1000	1000	50	10	
OBS: 250mL de cada solução de correção para cada (0,1 mS/cm) /1000L					

Na água utilizada para preparo da solução foram feitas análises química e biológica, não sendo encontrados coliformes fecais e outros organismos. Os valores da concentração de nutrientes, presente na água de origem, não foram considerados para a formulação da solução nutritiva, uma vez que a mesma foi adquirida comercialmente e não permitia efetuar tais cálculos.

Para o acionamento da bomba, que realizava o fornecimento da solução nutritiva, utilizou-se um temporizador eletromecânico da marca FLASH, responsável pela automação do tempo de circulação da solução. O temporizador foi programado para operar intermitentemente a cada 10 minutos, das 6:00 às 11:00 horas e das 14:00 às 19:00 horas. No intervalo das 11:00 às 14:00 o sistema operou 20 minutos ligado e 10 desligado . Já para o período noturno, manteve-se ligado às 00:00 e 3:00 horas por mais 10min.

O sistema foi dimensionado para fornecer uma vazão de 1,5L/min para cada canal de cultivo.

3.3. Controle da solução nutritiva e manejo da produção

Foram monitorados, diariamente, o pH e a condutividade elétrica da solução nutritiva e procurou-se manter seus valores entre 5,5-6,5 e 1,7-2,0mS/cm, respectivamente, evitando assim desequilíbrios na solução, que poderiam prejudicar a eficiência de absorção de nutrientes. A condutividade elétrica da solução nutritiva foi monitorada por um condutivímetro portátil TDST Testr (0-19,9mS/cm) e as leituras de pH foram feitas com peagâmetro digital portátil pHTestr .

Devido a dificuldade de se calcular a quantidade necessária de ácido ou base de acordo com o valor de pH lido, uma vez que a titulação ácido/base em laboratório consumia muito tempo, a correção do mesmo foi feita por tentativa, ou seja adicionou-se uma pequena quantidade do modificador, homogeneizou-se a solução e mediu-se o novo pH, até que se alcançasse o valor desejado. Para correção do pH, diminuindo ou aumentando seu valor, quando necessário, foram utilizados o ácido nítrico ou o hidróxido de sódio, respectivamente.

Observou-se também, diariamente, durante todo o período do experimento o aparecimento de doenças, pragas e outras desordens nutricionais.

3.4. Sensores de Temperaturas

Para caracterizar as temperaturas internas do ar das casas de vegetação foram utilizados 12 sensores de temperatura (termopares para gases - Tipo T com precisão de $\pm$ 0,5^{o}C), sendo 4 sensores por casa de vegetação. Estes 4 sensores foram distribuídos em duas bancadas de cultivo e em duas alturas (0,50 e 0,90m do piso), para caracterizar bem a temperatura no local de produção, foram colocados dentro de tubos de PVC de 50mm de diâmetro com comprimento de 200mm revestidos com papel alumínio para minimizar o efeito do aquecimento pela radiação solar (Figura 9).

Figura 9. Modelo dos termopares utilizado no experimentos e do Psicrômetro (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Para obtenção da umidade relativa interna da casa de vegetação foram utilizados quatro sensores de temperatura, dois de bulbo úmido e dois de bulbo seco, onde cada par é denominado – psicrômetro aspirado (Figura 9). Na casa de vegetação C utilizou-se termopares tipo T e na casa de vegetação B termopares tipo J (ambos com precisão de $\pm$ 0,5^{o}C). Os psicrômetros aspirados foram construídos com um tubo de PVC de

75mm de diâmetro e 400mm de comprimento colocados internamente a um tubo de 100mm de diâmetro e com o mesmo comprimento (400mm), perfazendo uma câmara fechada entre os dois tubos, nas duas extremidades, para recepção de água destilada. Na parte interna do tubo de 75mm, aberta, instalou-se os termopares que compunham o sistema e um microexaustor em uma das extremidades. Um dos sensores foi envolvido com uma mecha de algodão e esta levada até a câmara fechada que continha água destilada através de um orifício de 5mm (sensor de temperatura de bulbo úmido. O outro sensor ficou instalado no interior do tubo e foi responsável pela obtenção da temperatura de bulbo seco.

Para obtenção da temperatura foliar (Figura 10), utilizou-se três sensores de temperatura (termopar de contato - Tipo T com precisão de $\pm$ 0,5^{o}C), um em cada casa de vegetação, que se localizavam a meia altura da bancada de cultivo. Estes foram fixados às plantas quando as mesmas possuíam tamanho adequado das folhas que suportassem o sensor.

Figura 10. Termopar de contato para medida da temperatura foliar (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Para a medição das temperaturas de entrada e saída do meio poroso, utilizou-se 2 termopares para gases - Tipo T, localizados a meia altura do meio poroso. O sensor interno, saída do ar do meio poroso, foi colocado em uma câmara de proteção, para evitar que o mesmo molhasse, feita de PVC de 50mm de diâmetro por 200mm de comprimento com um cotovelo de 90^0 na parte inferior da câmara e entrada voltada para o meio poroso afim de canalizar o ar de saída. Esta câmara foi envolvida por papel alumínio para minimizar o efeito do aquecimento por radiação. O sensor externo, entrada do ar no meio poroso) possuiu o mesmo tipo de proteção, porém com o cotovelo de 90^0 fixado na parte superior e voltado para fora do meio poroso (Figura11).

Figura 11. Termopares de entrada e saída do meio poroso (CVE - C) (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

O acionamento dos exautores (Figura 12), que compunham o sistema de resfriamento evaporativo, foi feito por um termostato elétrico da marca EMIT, protegido dos efeitos da radiação através de uma câmara feita de PVC de 100mm de diâmetro por 400mm de comprimento, revestida com papel alumínio e com um microventilador na extremidade inferior, para garantir maior precisão de leitura. O monitoramento da temperatura de acionamento do termostato foi feio por um sensor de temperatura

(termopar para gases - Tipo T). O sistema foi montado a 1,50m de altura do solo e regulado para acionar quando a temperatura ultrapassasse 25^0C.

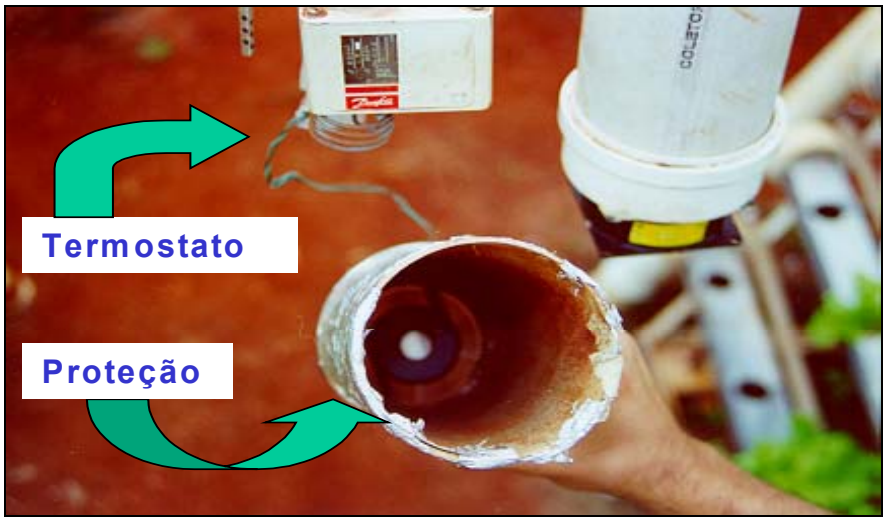

Figura 12. Termostato para acionamento dos exautores (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Todas as leituras dos termopares foram coletadas instantaneamente em um sistema de aquisição de dados Travellogger com 48 canais (placa de aquisição) ligado a um microcomputador (Fifura 13). Os dados foram armazenados pelo "software Insta Trend" versão 5.0. O armazenamento dos dados foi feito a cada 10 minutos para uma melhor caracterização da temperatura horária.

Figura 13. Sistema de aquisição de dados (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

3.5. Sistema de Resfriamento Evaporativo

O sistema de resfriamento evaporativo instalado na casa de vegetação C, o qual é baseado no princípio da evaporação da água retirando energia térmica do ar e aumentando a umidade relativa do mesmo, é composto pelo meio poroso de celulose e dois exaustores que succionavam o ar interno.

O meio poroso com dimensões (6,5 x 0,54 x 0,10)m foi instalado na face Sul da casa de vegetação e está apoiado sobre uma parede de alvenaria, os dois exautores estão instalados na face norte (Figura 14).

Figura 14. Sistema de Resfriamento Evaporativo - meio poroso (PAD) e exaustores (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

A umidificação do meio poroso foi feita por bomba centrífuga de 0,55kW (¾CV) instalada em um sistema fechado com reservatório de 500L.

Para o controle do funcionamento do sistema instalou-se um termostato elétrico em um tubo de PVC de 100mm com 0,40m de comprimento revestido com papel alumínio para proteger dos efeitos da radiação e com microventilador na extremidade superior. A peça montada com o termostato foi instalada com a sucção a 1,5m do piso e foi regulado para acionar o sistema quando a temperatura ultrapassasse 25^{o}C.

Para medir o tempo de funcionamento do sistema de resfriamento evaporativo, alimentado pelo motor de um dos ventiladores, instalou-se um temporizador eletromecânico, sem reserva de marcha, que funcionou como um marcador de tempo. O temporizador foi acertado no primeiro dia de cultivo, dia em que a muda foi transplantada para os canais, às 12:00h e no dia seguinte anotou-se o número de horas de funcionamento no mesmo horário, acertando o mesmo novamente. Este procedimento foi feito ao longo de todo o período de cultivo tendo-se portanto o comportamento do funcionamento do sistema e consequentemente o consumo de energia.

3.6. Transporte, Distribuição e Medição do CO_2

O fornecimento suplementar de CO_2 para as casas de vegetação (B e C) foi realizado por um sistema manual de controle da vazão, através de regulagem de abertura das válvulas eletrônicas reguladoras de fluxo. No entanto, o tempo de funcionamento do sistema foi controlado, automaticamente, por um temporizador eletromecânico.

O sistema de injeção de CO_2 procurou fornecer o gás diretamente à planta, o mais próximo possível, com o intuito de economizar o gás e propiciar uma atmosfera rica em CO_2 ao redor da planta, facilitando a captação pelo vegetal.

O CO_2 foi aplicado das 9:00 às 12:00H, em dois períodos, das 9:00 às 10:00 da manhã com as cortinas laterais fechada na casa de vegetação B, quando a temperatura permitia, para um melhor aproveitamento do gás e das 11:00 as 12:00 com as laterais abertas.

Para a condução do CO_2, montou-se o seguinte sistema: um ventilador da marca ELIAM®, modelo VSE 04, pressão de 80mmca e vazão ar de 11m^3/min, com motor de indução trifásico 220V, potência de 0,18kW, 60Hz. A canalização principal era de 75mm, derivação de 50mm, de onde surgiram as linhas secundárias com 19,05mm possuindo furos distanciados de 25cm com diâmetros de 1mm a 1,5mm.

Os acessórios do sistema eram: cilindro de gás tipo K com capacidade de 25kg com válvula-registro controladora de pressão; válvula solenóide ligada á válvula registro com duas saídas; duas válvulas eletrônicas controladoras de fluxo da marca Cole Parmer P-33116-50, com vazão regulável de 0 a 25 l/min (uma para a casa de vegetação B e outra para a casa de vegetação C); um temporizador eletromecânico para acionamento das válvulas e ventiladores no período de aplicação do gás (Figura 15).

Figura 15. Sistema de fornecimento de CO_2 (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

A variação da concentração de CO_2 no interior da casa de vegetação foi medida por um registrador da marca DICKSON, com sensor infravermelho e escala de 0-2200μL/L e indicada em gráfico circular de papel. O aparelho também possuía um mostrador digital com escala de 0-10000μL/L. Como só existia apenas um registrador, o mesmo foi utilizado alternadamente nas casas de vegetação B e C procurando ajustar a

vazão de gás necessária, sendo este ajuste feito em função da concentração lida no mostrador digital durante a aplicação. Cada gráfico registrou as concentrações de 7 dias.

Procurou-se manter dentro do ambiente de cultivo uma atmosfera com concentração de 800-1000μL/L (de duas a três vezes a concentração normal atmosférica).

4.7. Medição da Radiação Total, Par e Ultravioleta

A radiação total foi coletada através de piranômetros (Li-Cor Li-200SZ com precisão de ± 0,5%), instalados apenas na casa de vegetação C, um instalado a 0,30m abaixo do plástico de cobertura e o outro no lado exterior sobre o plástico na cumeeira (Figura 16). Os piranômetros tiveram a finalidade de avaliar a quantidade de radiação que penetrava no interior de uma casa de vegetação coberta com o PEBD no período de cultivo.

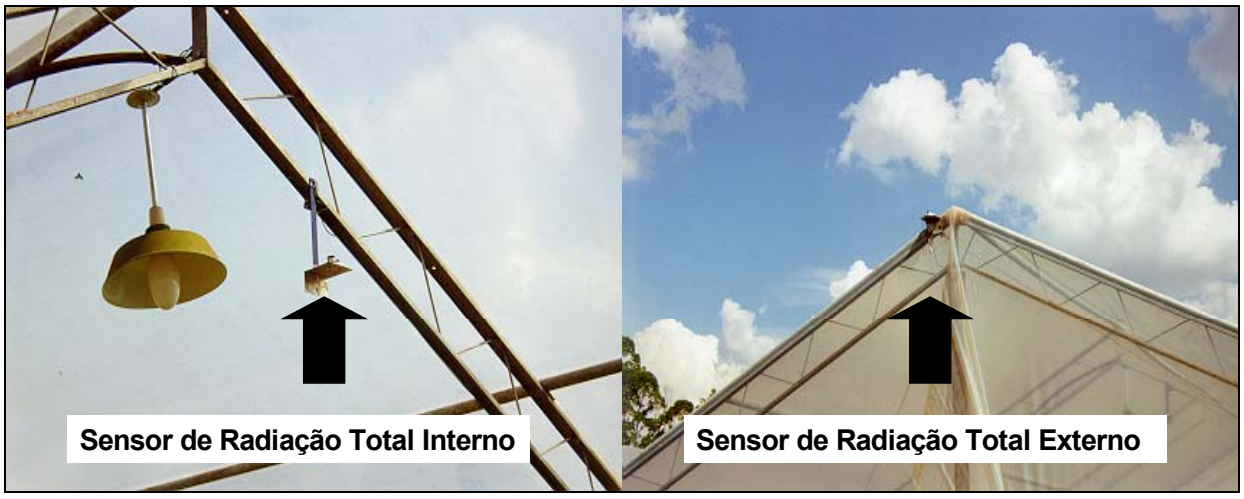

Figura 16. Localização dos sensores de radiação total (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi medida através de 6 sensores Quantum (Li-Cor Li 190SA com precisão de ± 0,5%) instalados em duas alturas (0,70m e 1,37m da bancada). Estes sensores tiveram a finalidade de comparar radiação PAR nos sistemas de cultivo (Figura 17).

Figura 17. Sensor de Radiação PAR (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Os dois piranômetros e os 6 sensores Quantum foram ligados num sistema de aquisição de dados (Li-Cor Li-1400 - Radiômetros) que armazenavam os dados diariamente de hora em hora, entre 7:00 e 17:00h (Figura 18).

Figura 18. Medidores de Radiação Total e PAR (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

A radiação ultravioleta foi medida por seis sensores Cole Parmer para três comprimentos de ondas 254, 312 e 365nm no horário da 12:00 horas, três sensores foram instalados internamente a casa de vegetação C, acima do último canal de cultivo e três sensores instalados externamente, todos a uma altura de 1,37m. A aquisição da medida foi feita por um radiômetro portátil da Cole Parmer VLX 3W (Figura 19).

Figura 19. Sensores de radiação UV e medidor de UV (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

4.8. Caracterização dos Tratamentos e Procedimento Estatístico para Análises

Foram realizados os seguintes tratamentos:

Tratamento 1. Cultivo hidropônico em NFT sem injeção de gás e sem resfriamento evaporativo, casa de vegetação (A), testemunha;

Tratamento 2. Cultivo hidropônico em NFT com injeção de gás e sem resfriamento evaporativo, casa de vegetação (B);

Tratamento 3. Cultivo hidropônico em NFT com injeção de gás e com resfriamento evaporativo, casa de vegetação (C);

Para comparação dos tratamentos, foram analisados a massa fresca e a massa seca, número de folhas e análise química da planta.

Os fatores externos, solução nutritiva, ventilação natural, nível de CO_2 e resfriamento evaporativo foram controlados, à medida do possível, para não interferir nas análises.

O peso matéria fresca foi determinado em balança analítica no horário das 7:30 às 8:30H da manhã (Figura 20). O delineamento estatístico utilizado para a avaliação do peso da matéria fresca foi o inteiramente casualizado (DIC), onde cada bancada (quatro bancadas inclinadas por casa de vegetação) foi uma unidade experimental. A coleta das amostras foi aleatória, através de sorteio de duas plantas por canal, eliminando os efeitos de bordadura, ou seja, os canais inferiores e superiores e as plantas inicial e final de cada canal.

Figura 20. Pesagem da massa fresca dos experimentos (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

O peso da matéria seca foi determinado através do método da estufa a 60^{o}C à peso constante. O delineamento estatístico utilizado para avaliação do peso da matéria seca foi o inteiramente casualizado, considerando cada bancada uma repetição. Das

plantas colhidas para determinação de massa fresca sorteou-se, de cada bancada de cultivo, quatro plantas para serem submetidas à secagem.

O número de folhas foi comparado utilizando as mesmas plantas colhidas para ao peso da matéria fresca e o mesmo procedimento estatístico.

As análises químicas das folhas para determinação da quantidade de macro e micronutrientes presentes nas plantas nos diferentes tratamentos foram realizadas por empresa idônea. Os nutrientes determinados foram: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, cobre, zinco, boro, sódio e alumínio. Para realização da comparação entre os tratamentos coletou 32 folhas aleatoriamente, das quatro bancadas, considerando como média geral de cada tratamento a média geral em porcentagem de nutrientes contidos na amostra homogeneizada.

As variáveis respostas foram, portanto, os aspectos fisiológicos de crescimento e desenvolvimento: massa da matéria fresca, massa da matéria seca, número de folhas e análise química da planta, escolhida aleatoriamente.

Para a realização das análises estatísticas, através do "software ESTAT", foram avaliados:

Avaliação (1): Tratamento (1) X Tratamento (2)

Avaliação (2): Tratamento (2) X Tratamento (3)

Avaliação (3): Tratamento (1) X Tratamento (3)

Avaliação (1): Comparação entre a produção do ambiente com injeção de gás (CO_2) e sem resfriamento evaporativo e a produção do ambiente sem injeção de CO_2 e sem resfriamento evaporativo.

Avaliação (2): Comparação entre a produção do ambiente com resfriamento evaporativo e com injeção de gás (CO_2) e a produção do ambiente com injeção de CO_2 e sem resfriamento evaporativo.

Avaliação (3): Comparação entre a produção do ambiente com resfriamento evaporativo e com injeção de gás (CO_2) e a produção do ambiente sem injeção de CO_2 e sem resfriamento evaporativo.

Tabela de análise de variância (ANOVA) para as 3 avaliações.

Tabela 3. Análise de variância para a avaliação (1)

Fonte de Variação (FV)	Graus de Liberdade (GL)
Tratamentos (1 e 2)	1
Resíduos	6
Total	7

Tabela 4. Análise de variância para a avaliação (2)

Fonte de Variação (FV)	Graus de Liberdade (GL)
Tratamentos (2 e 3)	1
Resíduos	6
Total	7

Tabela 5. Análise de variância para a avaliação (3)

Fonte de Variação (FV)	Graus de Liberdade (GL)
Tratamentos (1 e 3)	1
Resíduos	6
Total	7

4.9. Relação Benefício - Custo

A análise econômica do projeto foi feita através da relação benefício – custo e da taxa de rentabilidade, segundo HOFFMANN, et al. (1978).

Segundo HOFFMANN et al. (1978), a implantação de um projeto é justificada se os rendimentos esperados forem superiores ao montante de recursos investidos, ou seja, permitir a remuneração do capital investido e a amortização dos financiamentos efetuados.

Para verificar a viabilidade econômica de projetos utiliza-se a análise de benefício-custo. Esta relação é o quociente entre o valor atual das rendas (Ra) a serem obtidas e o valor atual dos custos (Ca), incluindo os investimentos necessários ao desenvolvimento do projeto. Para obter o valor atual correspondente a um montante (valor nominal) a ser recebido ou pago daqui a *n* anos, deve-se multiplicar por

$$\frac{1}{(1+r)^n}$$

onde *r* é a taxa de juros. Esta taxa de juros empregados nos cálculos deve ser aquela correspondente ao custo de oportunidades do capital, isto é, a taxa de juros máxima que poderia ser obtida investindo em outros empreendimentos. Nestas condições, um projeto só será implantado se

$$\frac{Ra}{Ca} > 1$$

O custo total é explicitado pela fórmula:

$$C = X * V_U + F$$

onde,

C = custo total

X = volume de produção

Vu = custo variável unitário

F = custo fixo.

A receita total é dada pela fórmula:

$$R = X * P$$

onde,

R = receita total; X = volume de produção; P = preço médio.

IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa foram obtidos a partir de dois ensaios de produção de alface em três ambientes distintos, com o intuito de avaliar as respostas da cultura frente à modificação na atmosfera interna de casas de vegetação, nos períodos de outono e inverno de 2000.

Foram avaliados os dados climáticos ocorridos internamente e externamente às casas de vegetação diariamente e no período das 9:00 às 12:00h, horário que ocorreu a aplicação de CO_2.

Avaliou-se, também, qual dos ambientes proporcionou melhor produção em função das tecnologias adotadas e qual a melhor resposta em termos de viabilidade econômica em função da análise de investimento.

4.1. Condições climáticas no primeiro ensaio (25/05/00 à 29/06/00 - Outono)

4.1.1. Temperaturas no ensaio de Outono

Os dados climáticos de temperaturas internas do ar coletados para este primeiro ensaio estão compreendidos no período de 01/06/00 a 29/06/00 devido à um problema de retorno de voltagem no neutro da rede elétrica, prejudicando os dados iniciais do experimento.

As médias diárias de temperatura interna do ar das casas de vegetação (CV) e da temperatura externa do ar podem ser observadas e analisadas a partir da Figura 21.

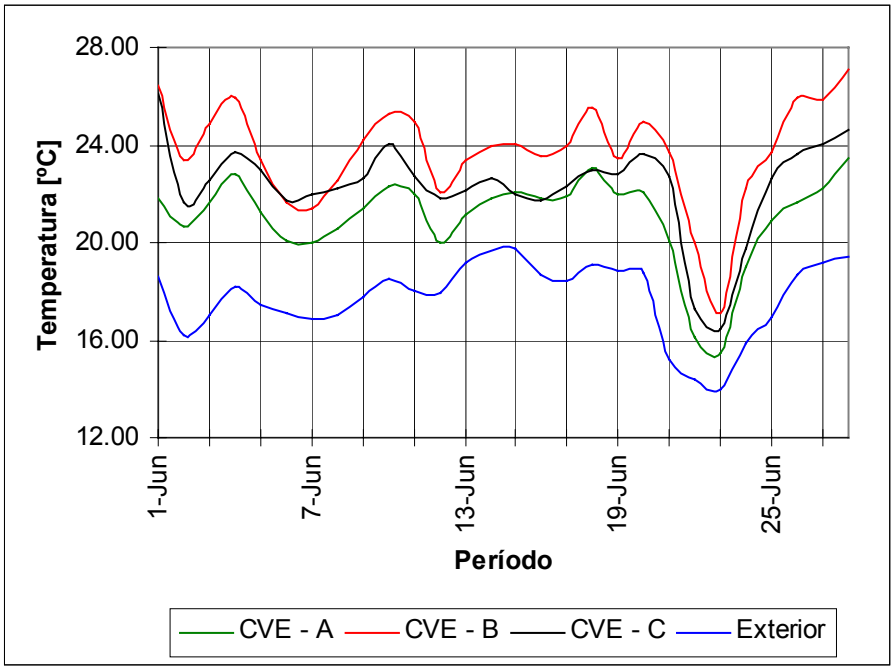

Figura 21. Média de temperatura diária do ar no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Considerando as médias diárias do período coletado, nos três ambientes, as temperaturas do ar interno foram sempre maiores que a do ar externo, devido à ação da radiação solar incidente, conforme explicitado em literatura, que geraram acúmulo de energia, independente do tipo de orientação ou controle das casas de vegetação.

Observou-se também que as médias diárias de temperatura do ar não seguiram uma tendência de declínio ao longo do período de produção tendo uma variação oscilatória, havendo apenas uma queda brusca no período de 21 a 24/06/2000 devido a entrada de uma frente fria, mas não prejudicando o desenvolvimento experimental.

A casa de vegetação A apresentou média diária de temperatura do ar inferior às casas de vegetação B e C. Em relação a casa de vegetação C, este fato deve ter ocorrido pois a casa de vegetação C era fechada e somente renovava o ar quando o exaustor era acionado (25ºC), como as temperaturas externas não foram muito elevadas, essa renovação de ar era possível somente quando a temperatura era

superior a 25ºC, situação na qual o sistema de resfriamento evaporativo era acionado. Já para a casa de vegetação B, isto deve ter ocorrido por esta última possuir uma área de exposição à radiação solar maior devido a orientação da cumeeira no sentido Leste-Oeste.

Tabela 6. Médias de temperaturas do ar no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Temperatura média do ar no período de produção				**Temperatura média do ar das 9:00 às 12:00h**			
CVE – A	CVE - B	CVE - C	Externa	CVE – A	CVE - B	CVE - C	Externa
21,1	23,8	22,3	17,8	26,8	30,1	25,2	22,3

CVE - Casa de vegetação

Analisando-se a Tabela 6, observa-se que a média diária de temperatura externa do ar foi de 17,8ºC e as temperaturas do ar interno das casas de vegetação A, B e C foram de 21,1; 23,8 e 22,3ºC respectivamente, e para o período das 9:00 às 12:00h, que era o horário de aplicação de CO_2, a média de temperatura externa do ar foi de 22,3ºC e as das casas de vegetação A, B e C foram de 26,8; 30,1 e 25,2ºC, respectivamente.

Comparando os valores médios diários com os valores do período das 9:00 às 12:00h da temperatura interna do ar entre as casas de vegetação A e C, através da Tabela 7, observa-se que a temperatura na casa de vegetação C foi menor que a casa de vegetação A no período das 9:00 às 12:00h, indicando que houve influência da atuação do sistema de resfriamento evaporativo, acionado neste horário, em função da elevação da temperatura.

No período diário e das 9:00 às 12:00h a casa de vegetação B apresentou temperaturas do ar superiores à casa de vegetação A devido a orientação L-O e ao fechamento da cortina lateral face Sul durante algumas horas do dia no decorrer do

experimento, pois na maioria do período de cultivo a velocidade do vento estava muito alta, fazendo com que algumas plantas tombassem dos canais e a concentração de CO_2 diminuísse.

Analisando a Figura 22, tem-se que a casa de vegetação C seguiu uma tendência mais atenuada da temperatura do ar no período das 9:00 as 12:00h, período de aplicação de CO_2, comparada à temperatura interna do ar nas demais casas de vegetação e externa. Isso ocorreu devido ao acionamento do sistema de resfriamento evaporativo que, manteve a temperatura sempre numa faixa de 20 à 27ºC.

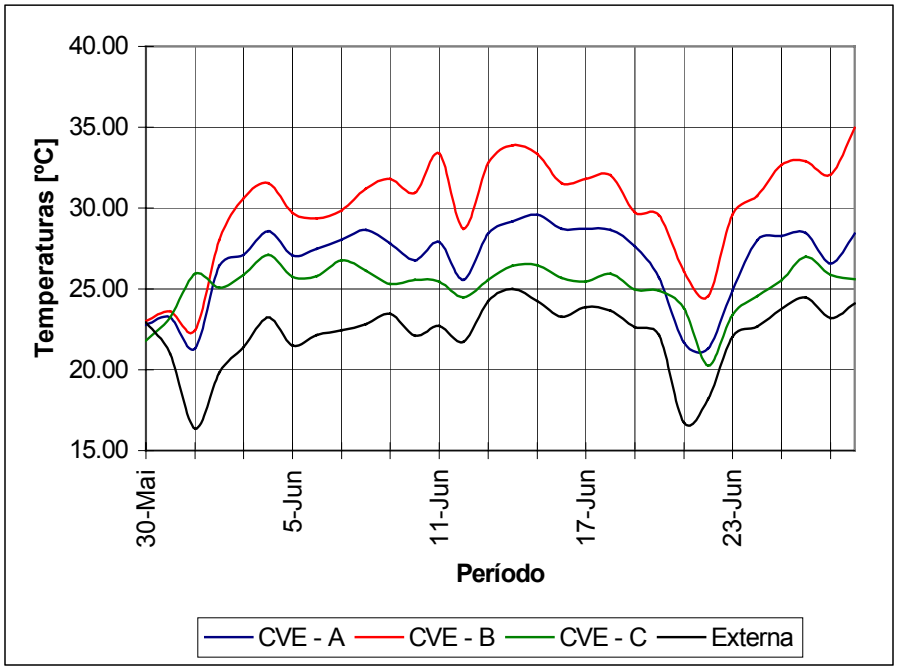

Figura 22. Médias de temperatura do ar no horário de aplicação de CO_2 (9:00 às 12:00h) no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

4.1.2. Umidade relativa no ensaio de Outono

No dia 21 de junho, devido à chuva (Figura 23), a umidade relativa (UR) do ar das casas de vegetação B, C e do exterior, foram próximas.

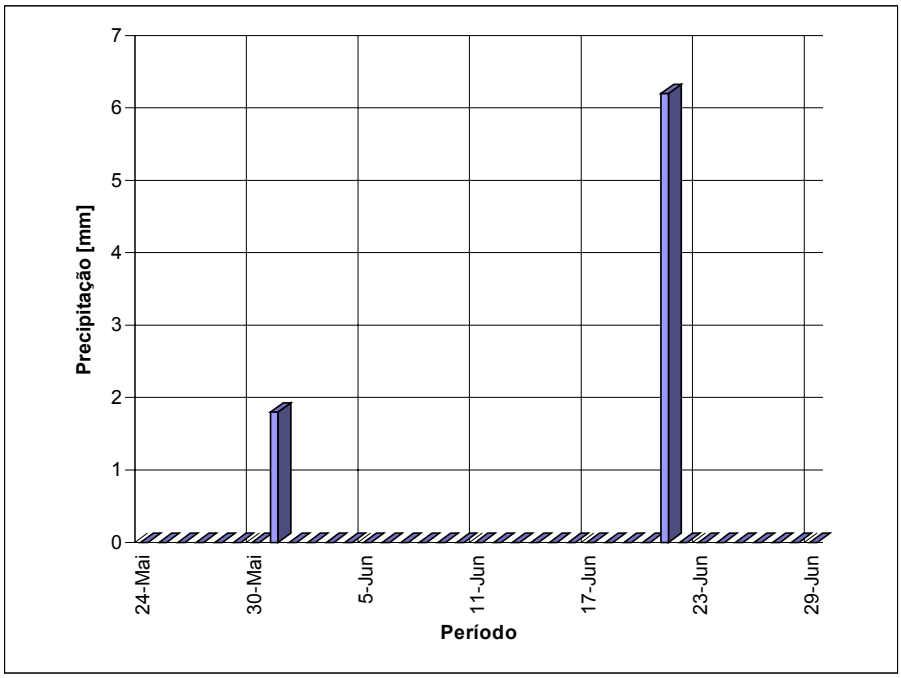

Figura 23. Precipitação ocorrida durante o ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Através da análise da Figura 24, tem-se que a umidade relativa do ar da casa de vegetação C foi sempre superior à casa de vegetação B e a do ar externo, devido ao resfriamento evaporativo durante períodos do dia em que o sistema era acionado.

A umidade relativa do ar da casa de vegetação B e a do ar externo seguiram a mesma tendência ao longo do período de produção (Figura 24). No entanto a casa de vegetação C foi a que manteve a umidade relativa do ar num patamar quase constante.

Observou-se também que houve uma queda muito grande na umidade relativa externa do ar no dia 23/06/00 devido a entrada de uma frente fria seca ocorrida no dia 21/06/00 acarretando um declínio na temperatura e umidade do ar.

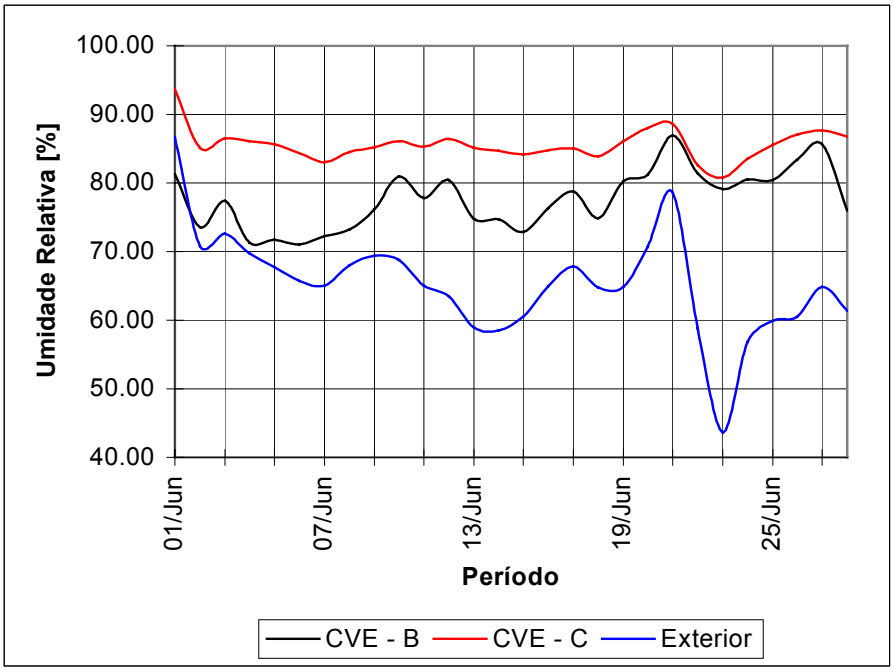

Figura 24. Umidade relativa média diária do ar no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

A casa de vegetação C foi a que apresentou maior média diária de umidade relativa do ar (85,59%), enquanto que a casa de vegetação B apresentou média de (77,66%). A umidade relativa do ar da casa de vegetação C manteve-se numa faixa de variação de 81 a 90%, enquanto que na casa de vegetação B a variação foi de 71 a 87% (Tabela 7).

Tabela 7. Média de umidade relativa do ar no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Umidade relativa média do ar no período de produção			**Umidade relativa média do ar das 9:00 ás 12:00h**		
CVE - B	CVE - C	Exterior	CVE - B	CVE - C	Exterior
77,66	85,59	65,31	67,42	76,63	50,61

CVE - Casa de vegetação

Na Figura 25, onde se tem as médias de umidade relativa do ar no período das 9:00h às 12:00h percebe-se que a umidade relativa do ar da casa de vegetação C manteve-se sempre superior à da casa de vegetação B e a do exterior, pois nesse

horário, devido à radiação solar e ao aumento da temperatura, o sistema de resfriamento já estava funcionando e, por conseguinte, a umidade relativa aumentava.

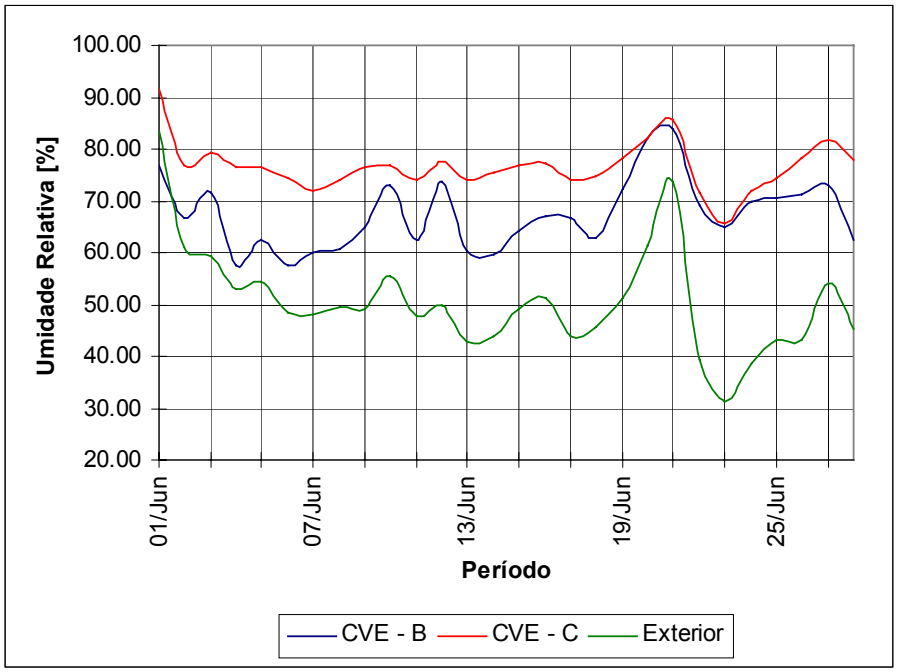

Figura 25. Média de umidade relativa do ar no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

As médias de umidade relativa do ar, no horário das 9:00 as 12:00h, foram de 67,42 e 76,63 para as casas de vegetação B e C, respectivamente. Na casa de vegetação C, a umidade relativa do ar manteve-se com uma variação de 65 a 90%, enquanto que a variação da casa de vegetação B foi de 58 a 85%.

4.1.3. Concentração de CO_2 no ensaio de Outono

Pelas Figuras 26 e 27, vê-se que o sistema de enriquecimento de CO_2 mostrou-se deficiente em manter a concentração dentro de uma faixa constante desejada. O controle de vazão do sistema de enriquecimento foi realizado manualmente, abrindo ou fechando os controladores de vazão, e não por um controlador eletrônico. Isso dificultou

muito o trabalho pois, dependendo das condições climáticas, principalmente da velocidade do vento, obteve-se grandes variações de concentração de CO_2.

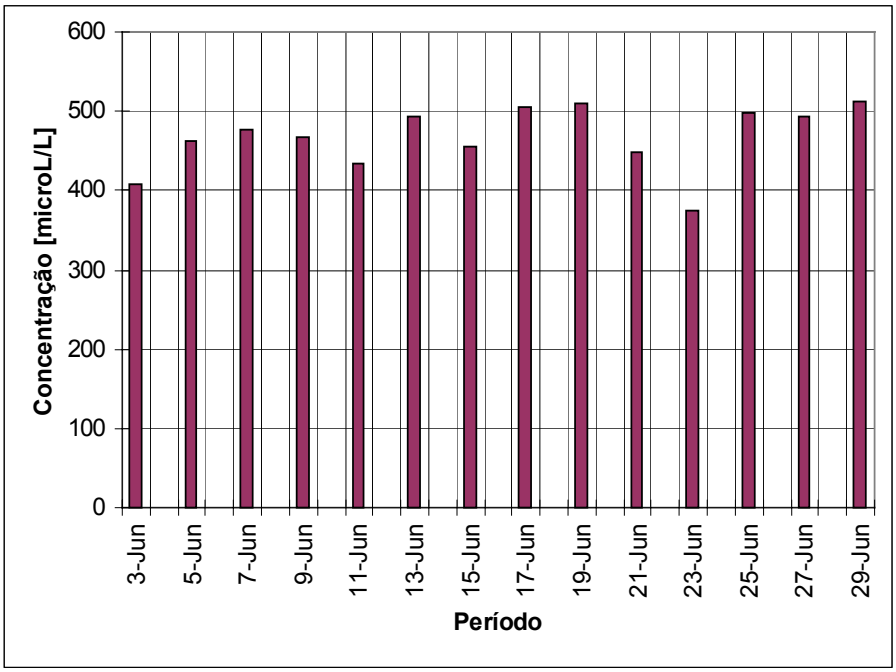

Figura 26. Média de concentração de CO_2 na casa de vegetação B no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

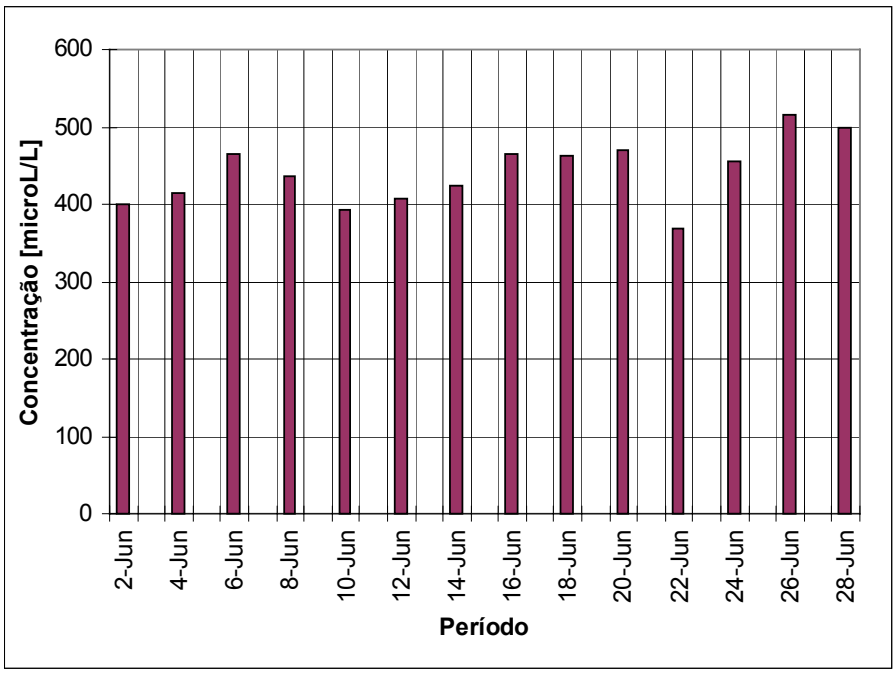

Figura 27. Média de concentração de CO_2 na casa de vegetação C no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Observou-se, também, que aumentando a vazão do sistema de aplicação de CO_2, não aumentava consideravelmente a concentração interna da casa de vegetação B devido a velocidade do vento e, da casa de vegetação C, quando os exaustores do sistema de resfriamento evaporativo estava funcionando.

Mantendo o sistema de fornecimento do gás com vazão de 5,0L/min, para ambas as casas de vegetação (B e C), observou-se que em certo momentos a concentração de CO_2 chegava-se a picos de 3600μL/L podendo ocasionar queimaduras nas bordas das folhas da alface, conforme verificado em experimentos anteriores e explicitado em literatura.

Regulando a válvula de acionamento no sistema de injeção de gás ao longo do experimento, observou-se que a melhor vazão para as casas de vegetação B e C eram de 3,5L/min e 2,5L/min, respectivamente. Com estas vazões conseguia-se reduzir os picos de concentração e minimizar o desperdício de gás.

Analisando os gráficos de médias diárias de concentração de CO_2 com os de médias do período de aplicação das 9:00 às 12:00h (Figuras 28 e 29) para efeito da porcentagem de incremento do gás na atmosfera de cultivo, observa-se que as concentrações médias diárias para as duas casas de vegetação B e C foram de 467μL/L e 441μL/L respectivamente e, para o horário de aplicação, de 617μL/L e 560μL/L. Isso significa que o sistema de injeção conseguiu elevar, mesmo possuindo deficiência no controle de acionamento, a concentração média de CO_2 no período de aplicação.

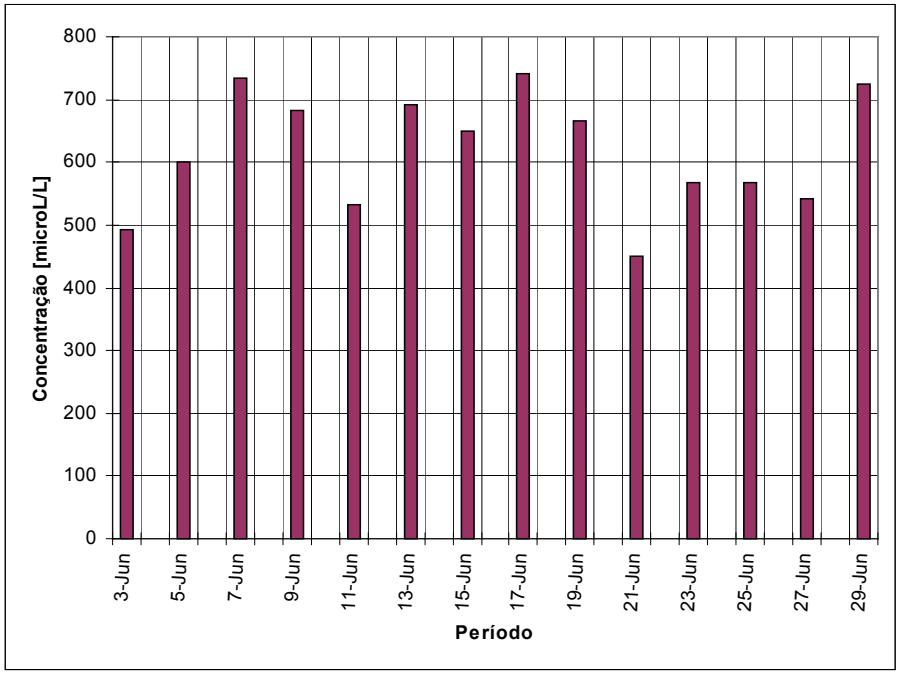

Figura 28. Média de concentração de CO_2 no horário das 9:00 às 12:00hna casa de vegetação B no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

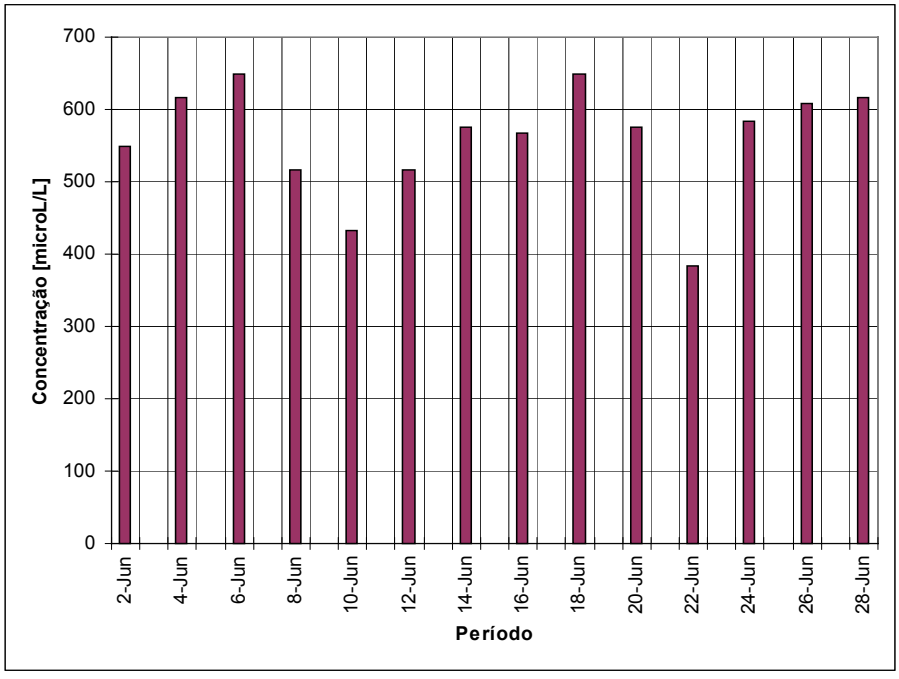

Figura 29. Média de concentração de CO_2 no horário das 9:00 às 12:00h na casa de vegetação C no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

A velocidade do vento à 2m de altura (Figura 30), foi um parâmetro importante para avaliar a eficiência do sistema de aplicação de CO_2 da casa de vegetação B, visto que, a casa de vegetação C sendo fechada, a única influência que a concentração do gás recebia era em função dos exaustores que renovam o ar interno.

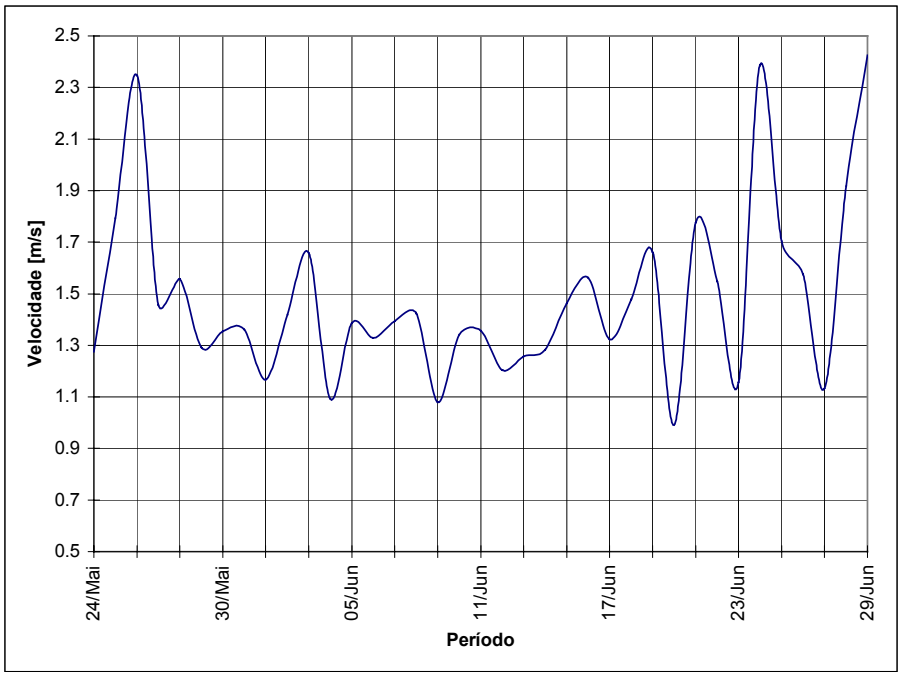

Figura 30. Média diária de velocidade do vento à 2m de altura no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Pela Figura 31, percebeu-se que, quando velocidade do vento aumentava, a concentração de CO_2 possuía uma tendência a diminuir, mesmo assim, observou-se picos de concentração do gás em altas velocidades do vento, ocorridas devido ao fechamento da cortina lateral (face Sul) para diminuir os efeitos do vento sobre as plantas, que causavam tombamento das mesmas nos canais de cultivo.

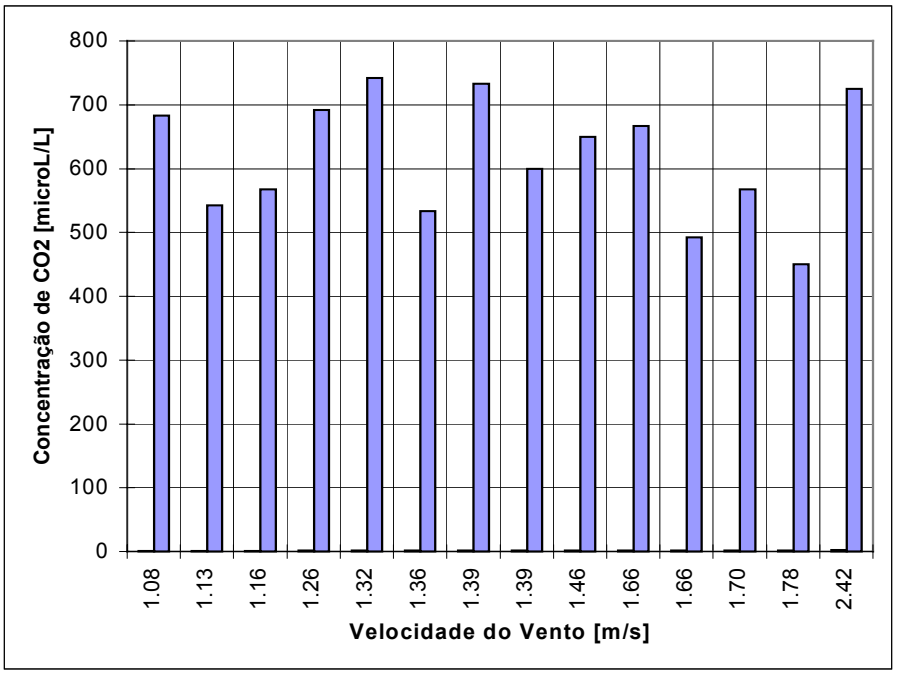

Figura 31. Relação entre concentração de CO_2 (casa de vegetação B) com a velocidade do vento no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Os dados de velocidade do vento foram obtidos através do posto meteorológico da FEAGRI-UNICAMP, distante, aproximadamente, 70m do local do experimento.

4.1.4. Radiações total, UV e PAR no experimento de 25/05/00 à 29/06/00

Na Figura 32 tem-se a radiação total interna e externa às casas de vegetação. Observou-se que os valores externos (média de 332,64W/m^2) são maiores que os internos (média de 262,77W/m^2), conforme já constatado em experimentos anteriores e citados em literatura pertinente, ocorrendo, portanto uma redução de radiação pelo filme plástico de aproximadamente 21% da intensidade de radiação diária, ou seja, com passagem de 79% do total.

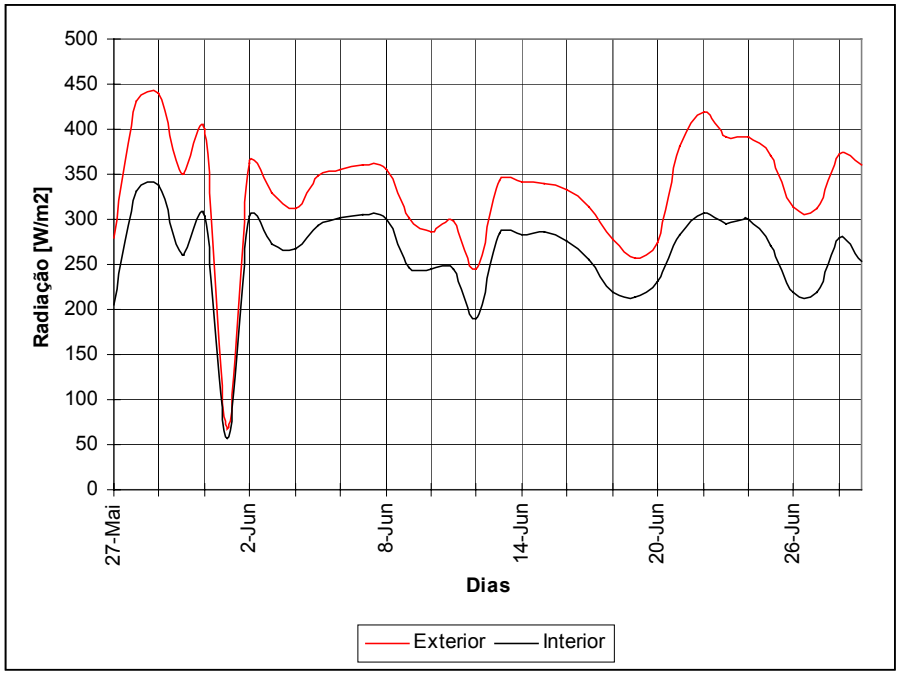

Figura 32. Médias diárias de radiação total interna e externa às casas de vegetação no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Foi também observado, analisando-se a Figura 32, que o comportamento da radiação solar, ao longo do experimento, apresentou uma tendência de decréscimo da intensidade de radiação até a metade do experimento (27/05 a 12/06/2000), excetuando um pico inferior no dia 01/06/2000 (chuva), e ocorreu uma tendência de acréscimo na intensidade de radiação na segunda metade do experimento (12/06 a 29/06/2000), causado principalmente pela nebulosidade e porcentagem de dias claros.

As Figuras 33 e 34 mostram o comportamento da radiação ultravioleta para os comprimentos de onda de 312 e 365nm respectivamente. Para o comprimento de onda de 254nm, as medidas apresentaram valor igual à zero, devido ao horário de amostragem (12:00h), onde a radiação ultravioleta para esse comprimento de onda é praticamente inexistente.

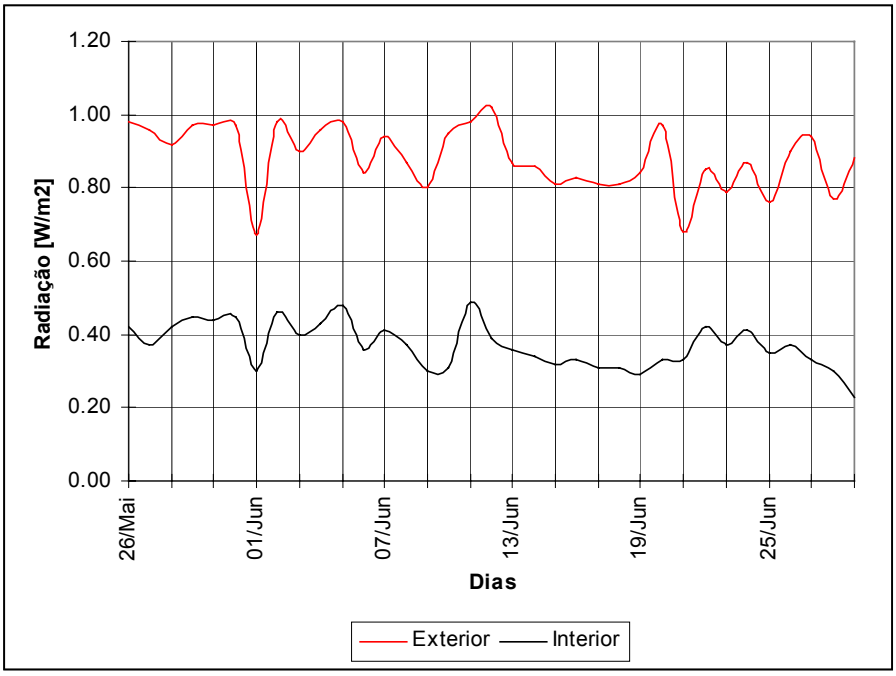

Figura 33. Radiação ultravioleta para o comprimento de onda 312nm no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

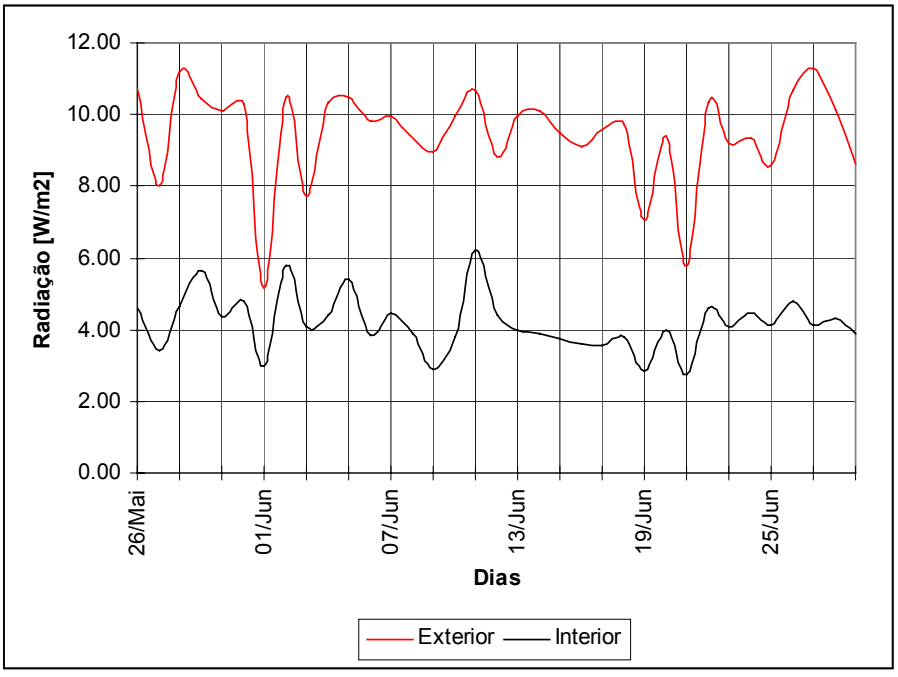

Figura 34. Radiação ultravioleta para o comprimento de onda 365nm no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Para o comprimento de onda de 312nm, o filme plástico permitiu a passagem de somente 42,04% do total incidente (médias: interior = 0,37W/m^2; exterior = 0,88W/m^2), já para o comprimento de onda de 365nm, o filme plástico permitiu a passagem de 44,13% do total incidente (médias: interior = 4,17W/m^2; exterior = 9,45W/m^2). Isso mostra que o plástico de cobertura das casas de vegetação, mesmo após um ano de uso, possui ainda, boa resistência à ação dos raios ultravioletas, degradantes de materiais plásticos a ele expostos.

As Figuras 35, 36 e 37 mostram as médias de radiação PAR no período das 9:00h às 12:00h das três casas de vegetação em duas alturas 0,70m e 1,37m. É importante salientar que relacionando os dados da radiação PAR no horário de aplicação com os dados de CO_2, possibilita conhecer a relação entre a disponibilidade da quantidade de energia à planta e a concentração de CO_2, no horário de aplicação do gás, Figuras 38 e 39.

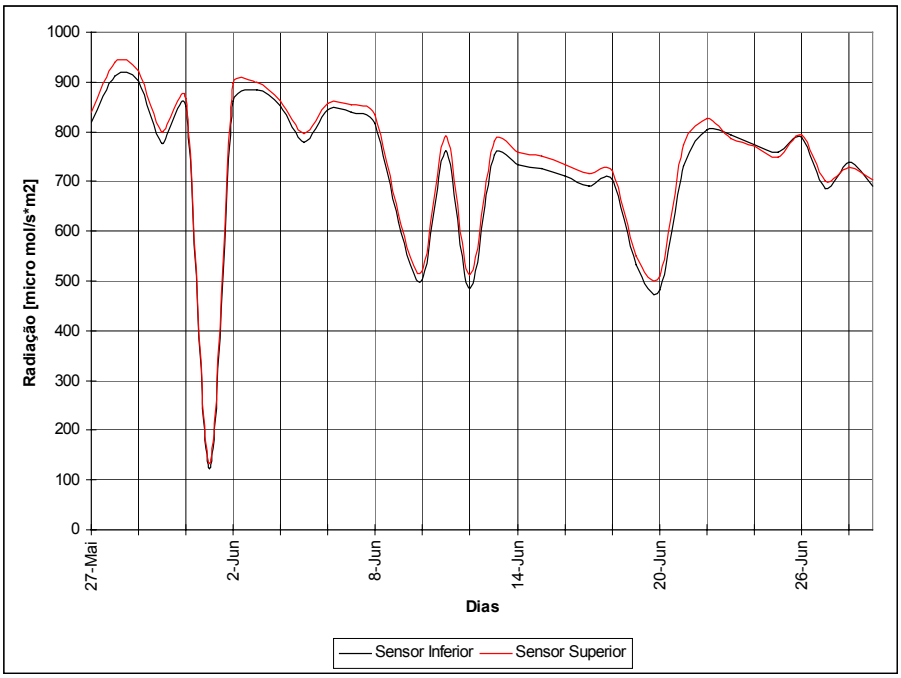

Figura 35. Média de radiação PAR na casa de vegetação A no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

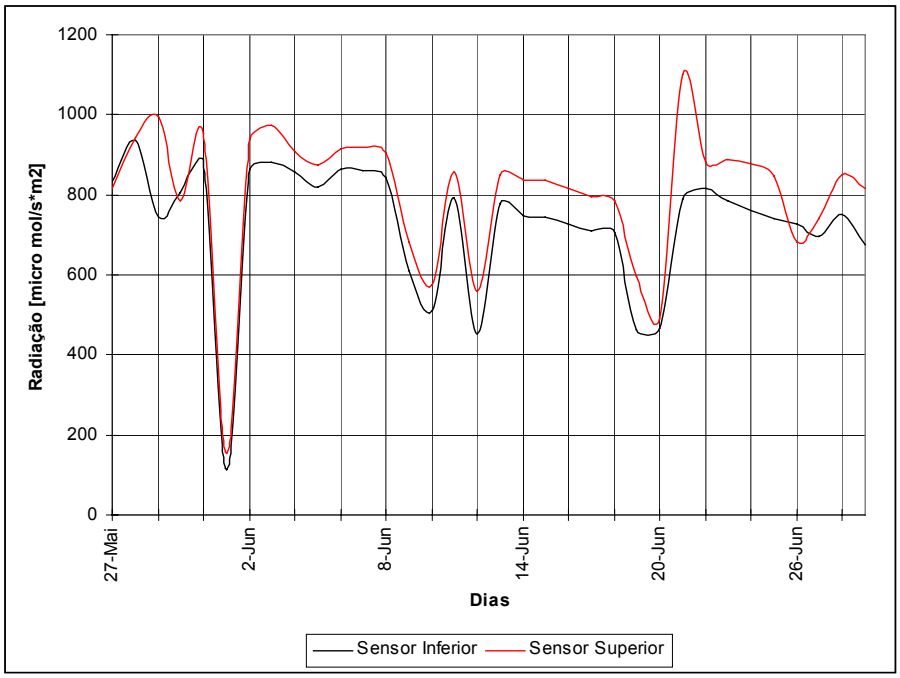

Figura 36. Média de radiação PAR na casa de vegetação B no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

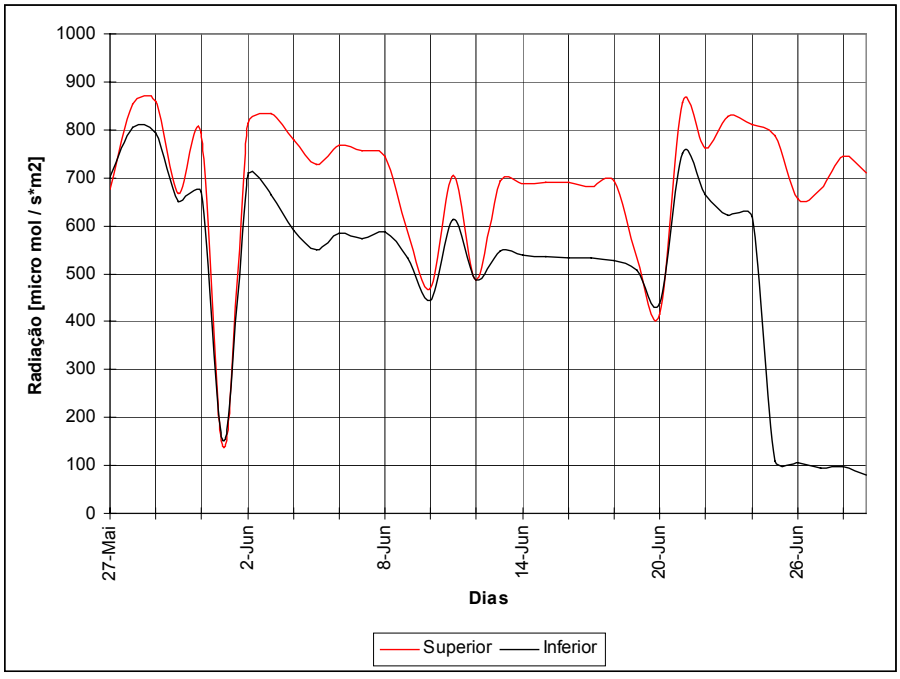

Figura 37. Média de radiação PAR na casa de vegetação C no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

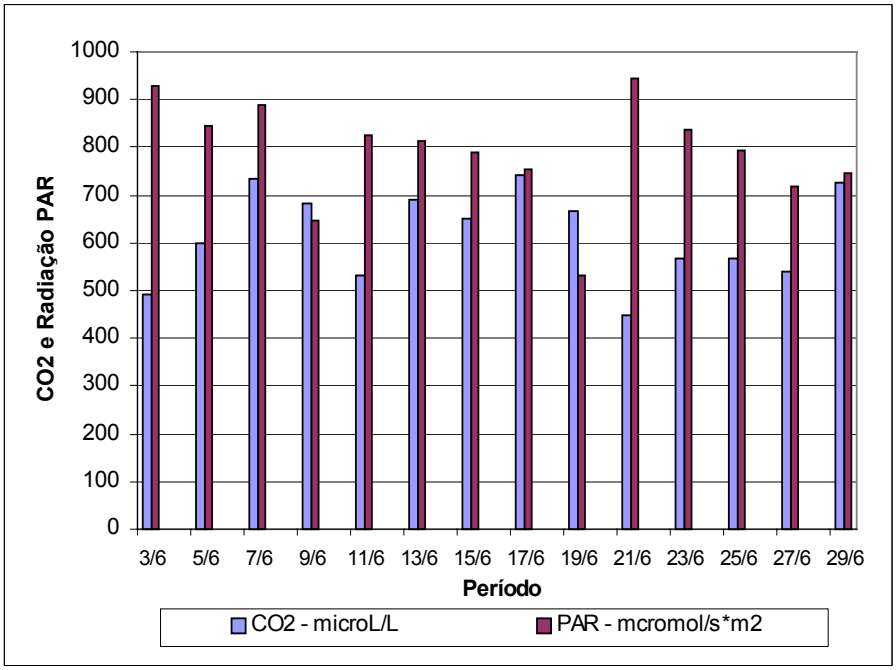

Figura 38. Concentração de CO_2 e Radiação PAR na casa de vegetação B, no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

A Figura 38 descreve a distribuição da quantidade de energia PAR e concentração de CO_2, na casa de vegetação B, disponível à planta no horário de aplicação do gás. Através desse gráfico é possível avaliar quais dias, durante o experimento, estavam mais ou menos propícias as realizações da fotossíntese, em função destes parâmetros. Nos dias 03 e 21/06 observa-se que existem maior disponibilidade de radiação PAR às plantas, comparado aos demais dias, no entanto, tem-se a menores concentrações de CO_2 disponível, isso pode ter ocorrido devido as altas velocidades de vento. Para os demais dias a disponibilidade de CO_2 e o comportamento da distribuição da radiação PAR foram favoráveis às plantas, auxiliando no aumento da taxa de assimilação do gás, promovendo uma maior taxa fotossintética, conseqüentemente, aumentando o ganho de massa fresca.

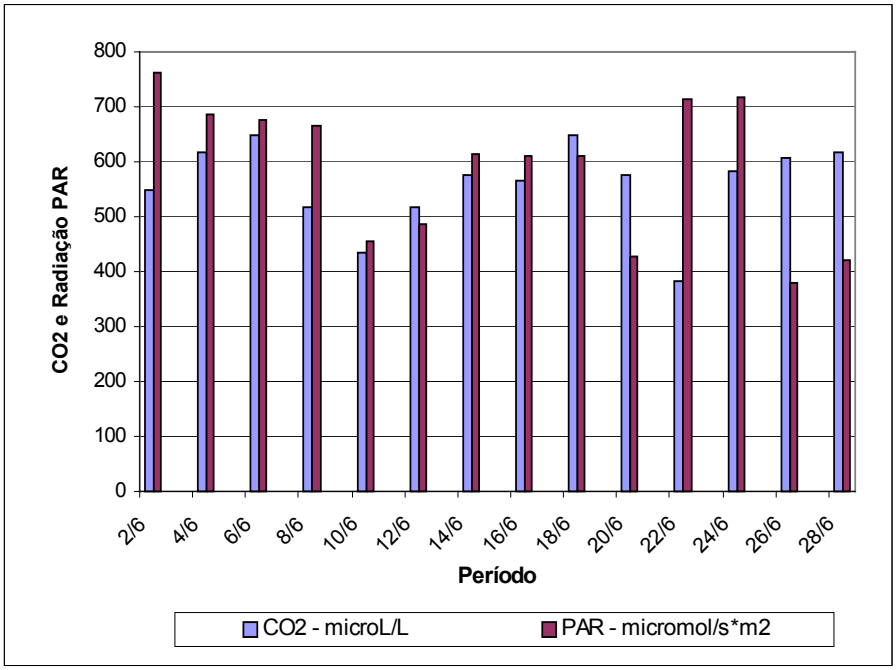

Figura 39. Concentração de CO_2 e Radiação PAR na casa de vegetação C, no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

A Figura 39 descreve a distribuição da quantidade de energia PAR e concentração de CO_2, na casa de vegetação C, disponível à planta no horário de aplicação do gás. Através desse gráfico é possível avaliar as condições similares à casa de vegetação B, como por exemplo, no dia 23/06 observa-se que tem a maior disponibilidade de radiação PAR às plantas, comparada aos demais dias, no entanto, tem-se a menor concentração de CO_2 disponível, isso pode ter ocorrido devido ao acionamento, com maior freqüência, dos exaustores que realizavam o resfriamento evaporativo. A taxa de variação da disponibilidade de gás e da distribuição da radiação PAR, ao longo de todo o período, foi mais uniforme na casa de vegetação C do que na B, ou seja, esses dois parâmetros estavam mais bem distribuídos e disponibilizados às plantas, facilitando a realização da fotossíntese e, conseqüentemente, aumentado o ganho de massa fresca.

Para o sensor superior, as médias da radiação PAR para as casas de vegetação A, B e C foram de 744, 807 e 693μmol/s*m^2, respectivamente. Para o sensor inferior, as médias para as casas de vegetação A, B e C foram de 727, 727 e 512μmol/s*m^2, respectivamente. Nota-se que para as três casas de vegetação, o sensor superior, localizado à 1,37m do solo, recebeu maior quantidade de radiação PAR durante todo o período de cultivo, comparado ao sensor inferior, localizado à 0,70m do solo, e, em média, receberam 2%, 9% e 26%, respectivamente. Na casa de vegetação C, após o dia 24 de junho, a radiação PAR do sensor inferior, indicou valores bem abaixo do esperado, isso deve ter ocorrido devido a um possível sombreamento do sensor causado por alguma planta ou algum tipo de encrostamento.

4.2. Análise de produtividade no experimento de 25/05/00 à 29/06/00

Nesse experimento, acompanhou-se o desenvolvimento vegetal através do peso da matéria fresca de 24 plantas escolhidas aleatoriamente de cada casa de vegetação (6 de cada bancada), onde as mesmas foram pesadas no 14°, 21º, 28º e 35º dias, após o transplante para os canais de cultivo. As médias de peso da matéria fresca e o gráfico do desenvolvimento vegetal podem ser vistos na Tabela 8 e Figura 40.

Tabela 8. Acompanhamento do peso da matéria fresca, em gramas, das plantas ao longo do desenvolvimento de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Dias de Leitura	CVE - A	CVE - B	CVE - C
14º dia	19,9	22,9	31,1
21º dia	64,4	76,0	101,9
28º dia	78,7	99,6	131,3
35º dia	111,5	152,8	200,2

Pela Tabela 9, tem-se que para as casas de vegetação A e C, o maior crescimento ocorreu do 14º ao 21º dia, em que as plantas cresceram 44,50 e 70,80g, respectivamente em uma semana. Para a casa de vegetação B, o maior incremento de massa das plantas ocorreu do 28º ao 35º dias (53,20g).

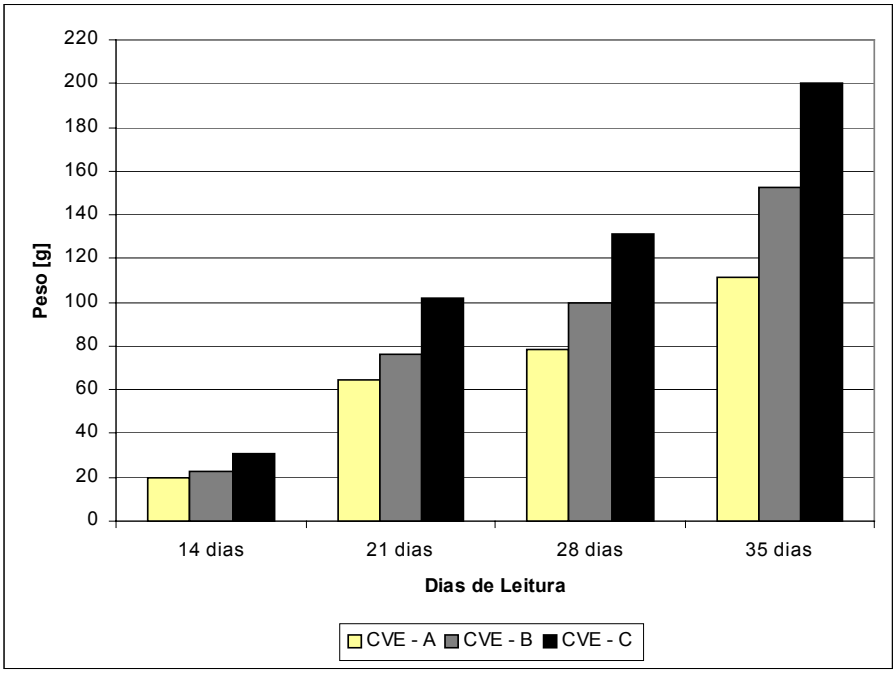

Figura 40. Acompanhamento do incremento de massa fresca das plantas no ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Analisando a Figura 40, que ilustra o incremento de massa fresca nos três diferentes tipos de ambientes utilizados no desenvolvimento experimental, observa-se que em todo período de produção o incremento de massa fresca da casa de vegetação C foi sempre maior que o da casa de vegetação B e este sempre superior ao da casa de vegetação A.

Os resultados dos parâmetros de produtividade, tais como, massa fresca, massa seca, quantidade de água e número de folhas por planta no período do desenvolvimento experimental são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9. Parâmetros de Produtividade do ensaio de Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Tratamento	Massa fresca [g]	Massa seca [g]	Massa de água [g]	Número de folhas por planta
CVE - A	118,50 $_a$	8,54 $_a$	109,96	14,12 $_a$
CVE - B	140,05 $_b$	9,13 $_a$	130,92	14,75 $_a$
CVE - C	183,40 $_c$	11,38 $_b$	172,02	16,97 $_b$

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

A partir dos valores médios de massa fresca, após análise estatística, verificou-se haver diferença significativa entre a produção obtidas nas três casas de vegetação, onde a produção média de massa fresca da casa de vegetação C foi maior que a produção da casa de vegetação B e que esta foi maior que a casa de vegetação A, em um nível de 5% de significância. Já para a massa seca e número de folhas por planta, houve diferença significativa a um nível de 5% entre a casa de vegetação C comparada às casas de vegetação A e B, ou seja, em média de produção de massa seca e número de folhas das plantas da casa de vegetação C foi maior que as plantas das casas A e B, todavia entre as casas de vegetação A e B não houve diferença estatística para a massa seca e número de folhas a um nível de 5% de significância.

Dessa maneira, a aplicação de dióxido de carbono sem resfriamento do ambiente, casa de vegetação B, foi benéfico para a produção vegetal, pois mesmo não diferindo estatisticamente em massa seca e número de folhas em relação à casa de vegetação A, a massa fresca, que regula o preço do produto no mercado, foi superior. A aplicação de dióxido de carbono simultaneamente com o resfriamento evaporativo, casa de vegetação C, mostrou-se o melhor ambiente de produção em todos os parâmetros analisados estatisticamente.

Uma comparação da porcentagem de produção de massa fresca, massa seca, massa de água e número de folhas por planta para os três tipos de ambientes estão apresentadas a seguir:

Massa fresca: Casa de vegetação C (23,63%) > Casa de vegetação B (15,38%) > Casa de vegetação A

Massa Seca: Casa de vegetação C (19,78%) > Casa de vegetação B (6,46%) > Casa de vegetação A

Massa de água: Casa de vegetação C (23,89%) > Casa de vegetação B (19,06%) > Casa de vegetação A

Nº de folhas: Casa de vegetação C (13,08%) > Casa de vegetação B (4,27%) > Casa de vegetação A

4.3. Condições climáticas ocorridas no segundo ensaio (14/07/00 à 20/08/00 - Inverno).

4.3.1. Temperaturas no ensaio de Inverno

As médias de temperatura interna do ar das casas de vegetação e do exterior para o período de produção compreendido entre 14/07 e 20/08/00, podem ser vistas na Tabela 10. A Figura 41 mostra o comportamento dessas temperaturas ao longo deste desenvolvimento experimental.

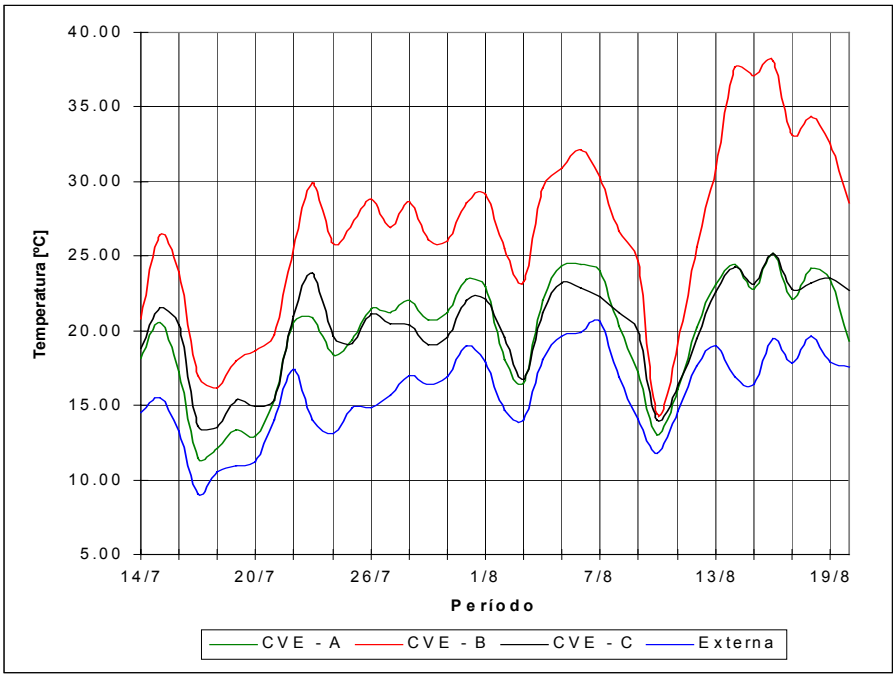

Figura 41. Médias diárias de temperatura do ar no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Conforme já observado no experimento de 25/05 a 29/06/200, as médias diárias de temperatura do ar de todo o período, nos três ambientes, foram sempre maiores que a externa, devido à ação da radiação solar e do tipo de instalação.

Analisando o gráfico da Figura 41 observa-se que a temperatura ao longo do período possuiu uma tendência de elevação, ocorrendo alguns declínios bruscos em função da entrada de frentes fria na região, devido a época do ano.

A casa de vegetação B apresentou temperaturas mais elevadas que a casa de vegetação A devido ao fechamento da cortina lateral face Sul durante alguns dias, em função da alta velocidade do vento, fazendo com que algumas plantas tombassem dos canais e a concentração de CO_2 diminuísse, conforme já explicitado no experimento de 25/05 a 29/06/2000.

Tabela 10. Médias de temperaturas no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Temperatura média do ar no período de produção				Temperatura média do ar das 9:00 às 12:00h			
CVE - A	CVE - B	CVE – C	Externa	CVE - A	CVE - B	CVE - C	Externa
19,84	26,79	20,17	15,87	26,43	32,95	24,94	19,67

CVE - Casa de vegetação

Analisando a Figura 42, tem-se que a casa de vegetação C foi a única que não seguiu a mesma tendência de temperatura no período de aplicação de CO_2, que era das 9:00 as 12:00h. Isso ocorreu devido ao acionamento do sistema de resfriamento evaporativo que, manteve a temperatura sempre numa faixa de 20 à 28ºC, fato este, também, observado no experimento de 25/05 a 29/06/2000.

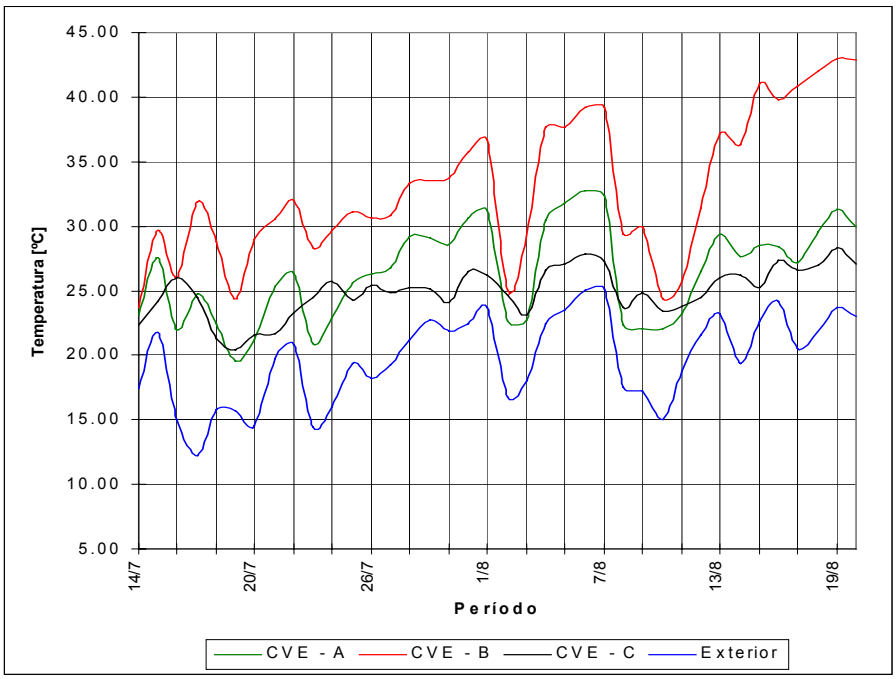

Figura 42. Médias de temperatura no horário de aplicação de CO_2 (9:00 às 12:00h) no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Novamente, conforme observado também no experimento realizado no período de 25/05 a 29/06/2000, percebe-se que nos três tratamentos, no horário de aplicação

de CO_2, a temperatura interna do ar foi sempre maior que a externa. A casa de vegetação B, não acompanhou a casa de vegetação A devido ao fechamento da cortina lateral face Sul, o que resultou em temperaturas superiores.

4.3.2. Umidade relativa no ensaio de Inverno

Através da análise da Figura 43 tem-se que a umidade relativa do ar da casa de vegetação C foi, na maioria do período, superior à casa de vegetação B e ao ar externo, devido ao resfriamento evaporativo durante algum período do dia. Exceto nos dias 15 e 23 de julho, 15 e 16 de agosto onde, devido à chuva, Figura 44, a umidade relativa do ar da casa de vegetação B foi superior, fato também observado no experimento de 25/05 a 29/06/2000 quando chovia.

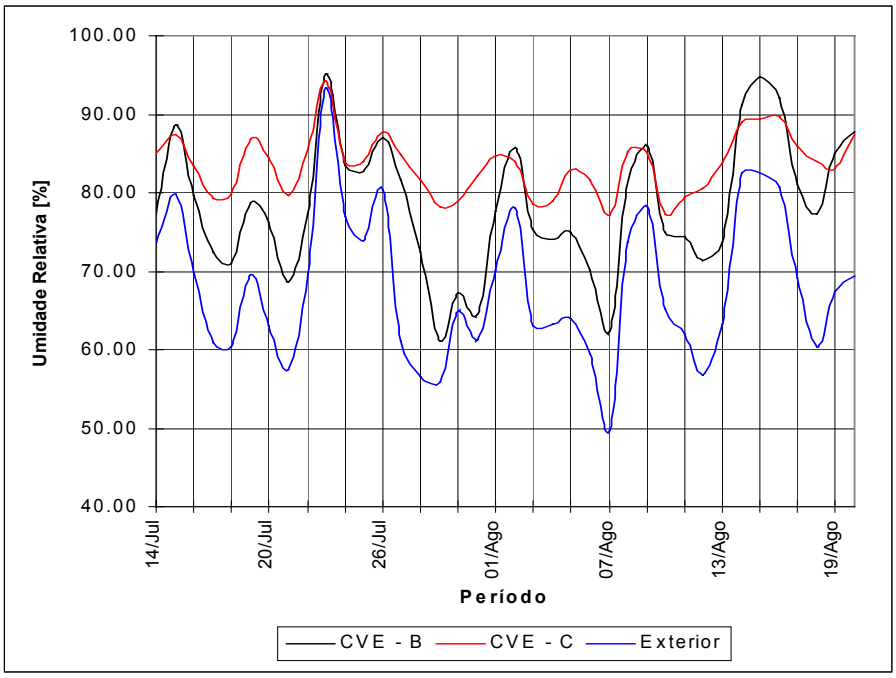

Figura 43. Umidade relativa média diária no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

As umidades relativas do ar da casa de vegetação B e do ar externo seguiram a mesma tendência, o que não ocorreu na casa de vegetação C, onde houve influência

do sistema de resfriamento evaporativo, fato também observado no experimento de 25/05 a 29/06/2000.

A umidade do ar (UR) da casa de vegetação C manteve-se numa pequena faixa de variação (77 a 87%), enquanto que na casa de vegetação B apresentou elevada variação (62 a 92%). A casa de vegetação C foi a que apresentou maior média diária (83,54%), enquanto que a casa de vegetação B apresentou a menor média (78,33%), Figura 11.

Tabela 11. Média de umidade relativa do ar no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Umidade relativa média do ar no período de produção			**Umidade relativa média do ar das 9:00 ás 12:00h**		
CVE – B	CV E- C	Exterior	CVE - B	CVE - C	Exterior
78,33	83,54	68,08	66,48	73,92	54,64

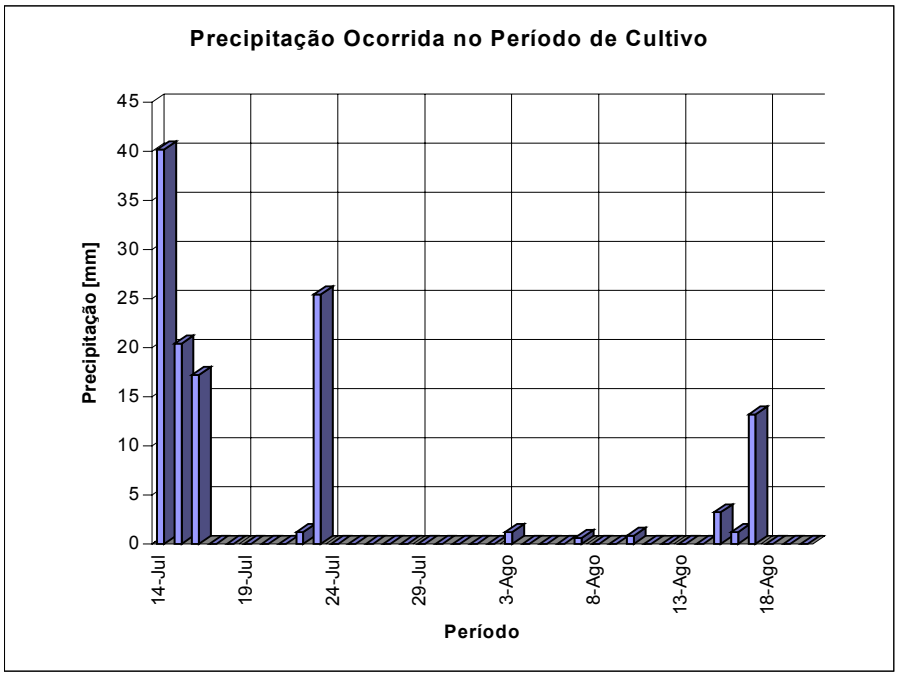

Figura 44. Precipitação ocorrida no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

A Figura 44 mostra o comportamento da ocorrência de precipitação ao longo do desenvolvimento experimental no período de 14/07 à 20/08/2000

A Figura 45 mostra o comportamento da umidade relativa do ar no horário de aplicação do CO_2.

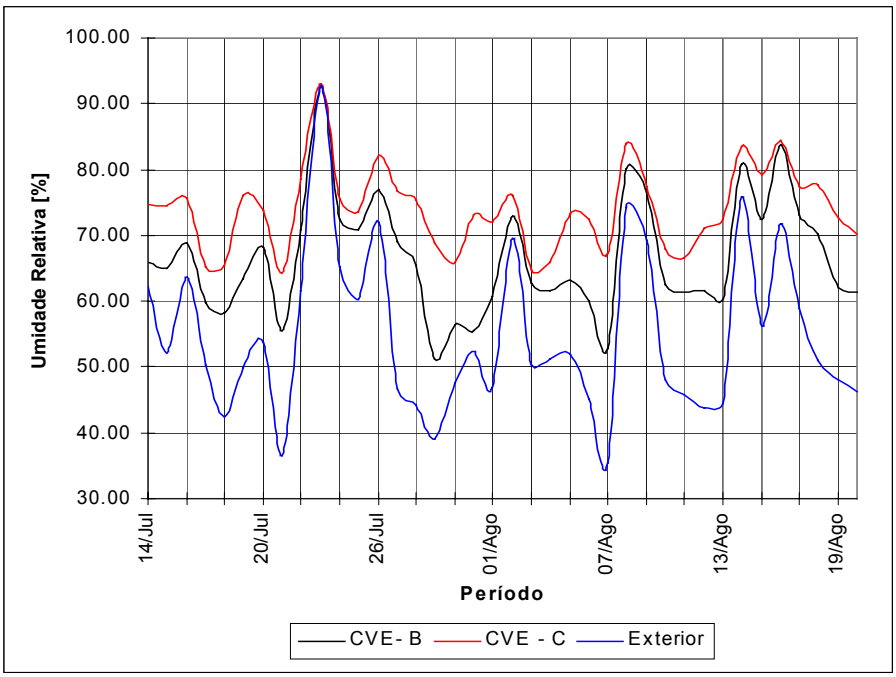

Figura 45. Média de umidade relativa do ar no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

As médias de umidade relativa do ar neste horário, foram de 66,48 e 73,92 para as casas de vegetação B e C, respectivamente.

Novamente percebe-se que na casa de vegetação C, a umidade relativa do ar manteve-se em uma faixa com pouca variação (65 a 80%), tendo um pico no dia 23 de julho devido a ocorrência de chuva. Nos dias de chuva, a umidade relativa do ar das casas de vegetação e do exterior, tende a se igualar. Nesses dias, ocorre a diminuição da eficiência no processo de evaporação da água e a umidade relativa do ar caminha para valores cada vez mais próximos da saturação do ar.

4.3.3. Concentração de CO_2 no ensaio de Inverno

As Figuras 46 e 47 mostram a distribuição da concentração de CO_2 diária e a distribuição da concentração de CO_2 no horário de aplicação, respectivamente. Mesmo sabendo que o sistema de enriquecimento atmosférico com CO_2 mostrou-se deficiente em manter a concentração dentro de uma faixa constante desejada, em função do controle manual, já explicitado no experimento anterior, manteve-se a mesma regulagem da válvula de vazão do gás, pois apresentavam-se diferenças estatísticas na média de produção de matéria fresca para os tratamentos realizados no período de 25/05 a 29/06/2000.

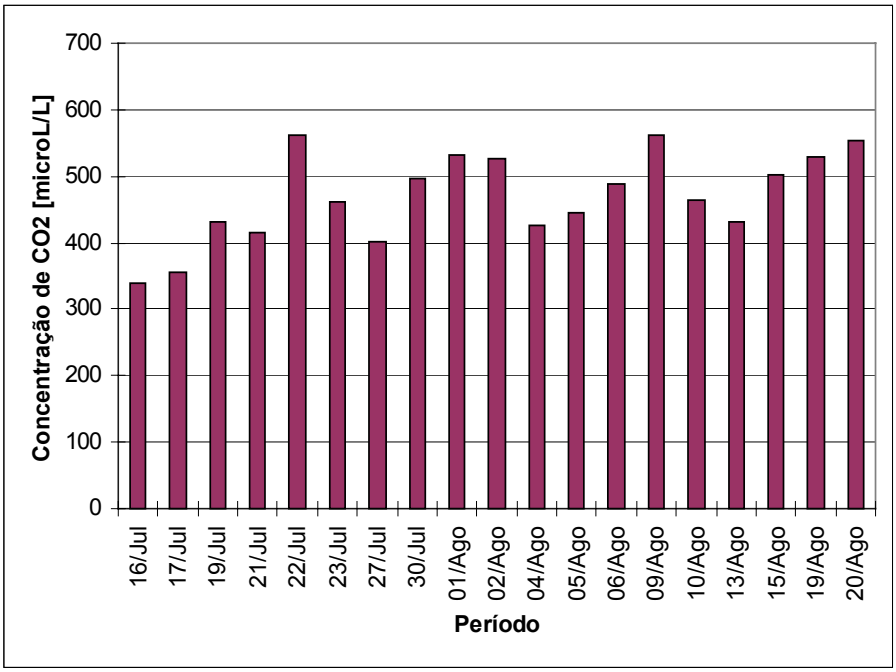

Figura 46. Média de concentração de CO_2 diária na casa de vegetação B no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

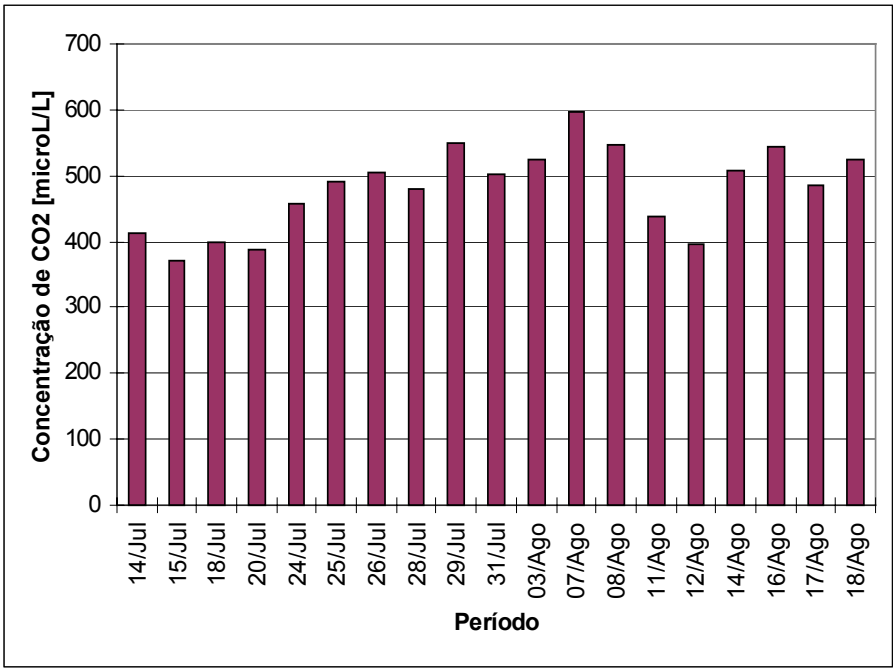

Figura 47. Média de concentração de CO_2 diária na casa de vegetação C no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Através das Figuras 46 e 47 é fácil notar que a distribuição diária da concentração de dióxido de carbono na casa de vegetação C é bem mais uniforme, ao longo de todo experimento, do que na casa de vegetação B. A explicação para este fato é que a casa de vegetação C, sendo fechada, só havia movimentação de ar quando os exaustores eram acionados.

Analisando-se os gráficos de médias diárias de concentração de CO_2 com os de médias do período de aplicação das 9:00 às 12:00h (Figuras 48 e 49) para efeito da porcentagem de incremento do gás na atmosfera de cultivo, observa-se que na casa de vegetação C este incremento foi mais uniforme do que na casa de vegetação B. As concentrações médias diárias para as duas casas de vegetação B e C foram de 470μL/L e 480μL/L respectivamente e para o horário de aplicação de 612μL/L e 612μL/L, respectivamente.

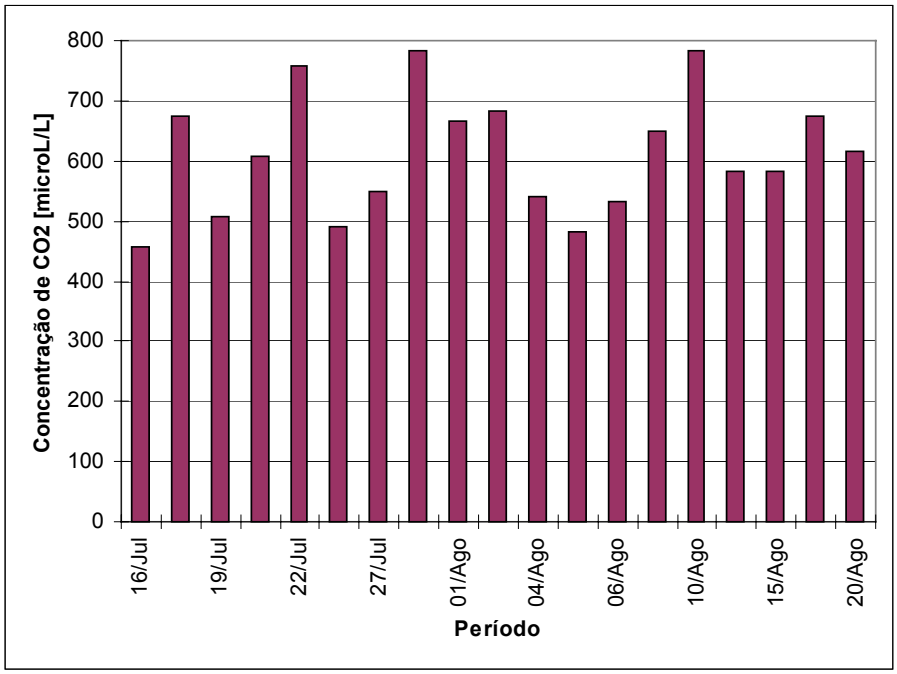

Figura 48. Média de concentração de CO_2 no horário das 9:00 às 12:00h na casa de vegetação B no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

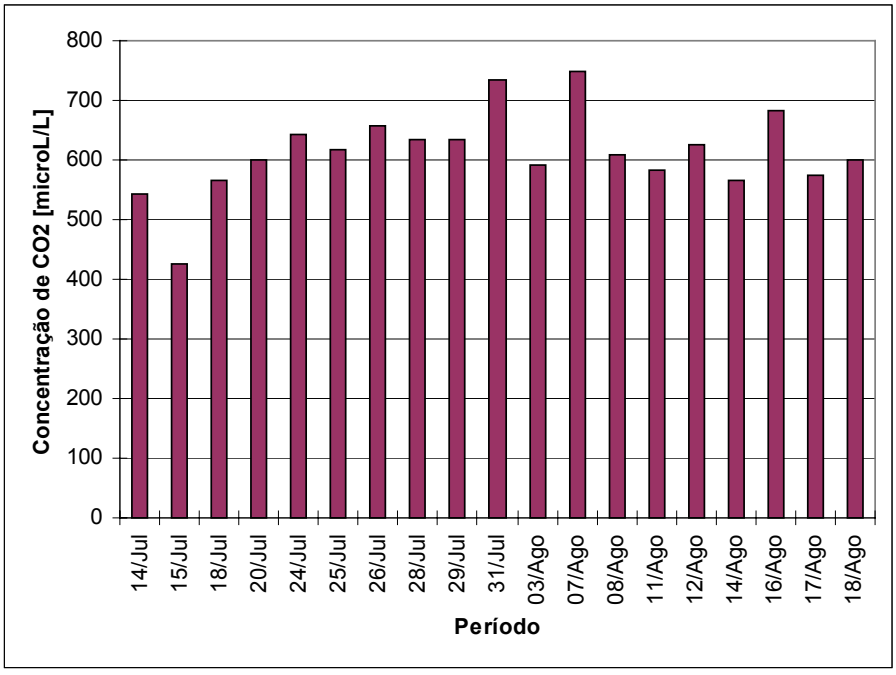

Figura 49. Média de concentração de CO_2 no horário das 9:00 às 12:00h na casa de vegetação C no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

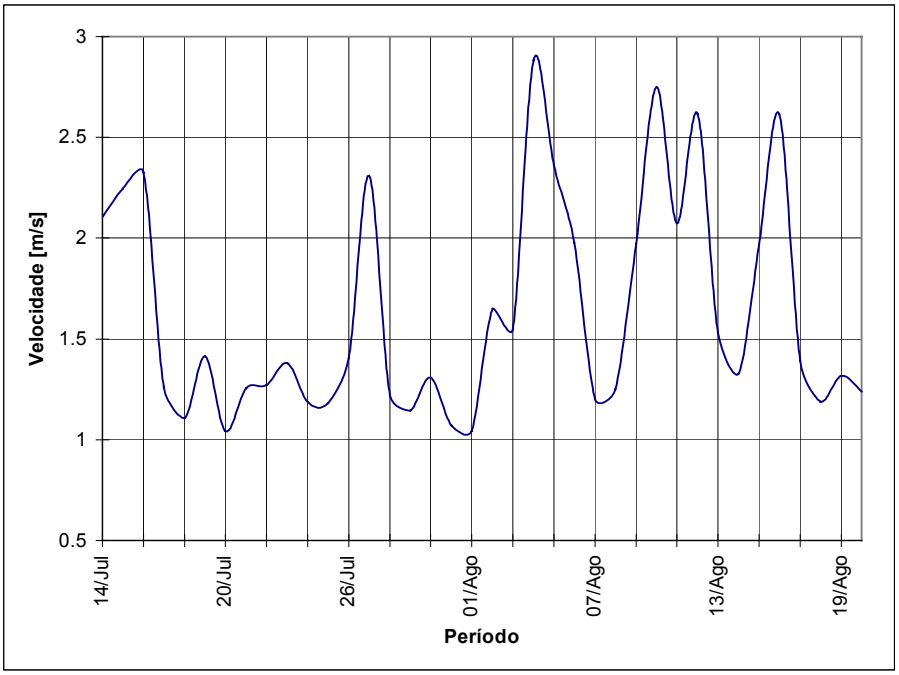

Figura 50. Médias de velocidade do vento à 2m de altura das 9:00 às 12:00h no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

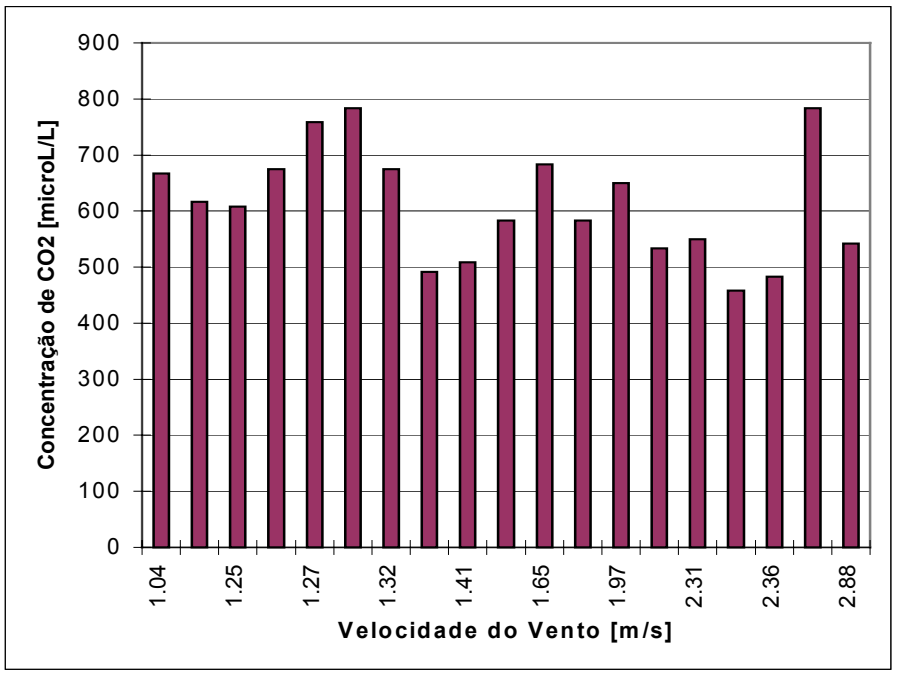

Figura 51. Relação entre a concentração de CO_2 na CVE - B e a velocidade do vento no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Novamente, a velocidade do vento à 2m de altura (Figura 50), foi um parâmetro importante para avaliar a eficiência do sistema de aplicação de CO_2 da casa de vegetação B (Figura 51), observando que foram realizados os mesmos procedimentos de manejo e mostrando a dificuldade de se manter a concentração de gás desejada em casa de vegetação aberta.

4.3.4. Radiações total, UV e PAR no ensaio de Inverno

Na Figura 52 tem-se a radiação total externa e interna às casas de vegetação. Os valores externos médios encontrados foram de 380W/m^2 e 286W/m^2, respectivamente.

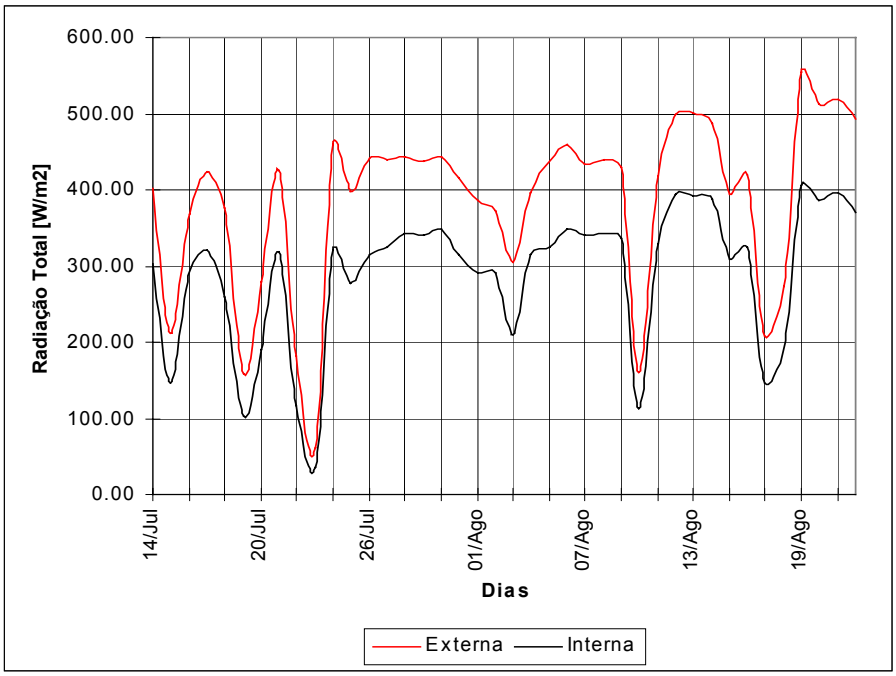

Figura 52. Médias diárias de radiação total interna e externa às casas de vegetação no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

O filme plástico permitiu a redução de radiação para dentro da estrutura de aproximadamente 24,8%, ou seja, penetraram na estrutura cerca de 75,2% da radiação total. No experimento anterior o filme plástico havia promovido a passagem de 79% da

radiação total incidente e neste experimento apenas 75,2%, mostrando que ainda possui boa transparência à radiação total.

As Figuras 53 e 54 mostram o comportamento da radiação ultravioleta para os comprimentos de onda de 312 e 365nm, respectivamente. Para o comprimento de onda de 254nm, as medidas, novamente, como constatado em experimentos anteriores, apresentaram valor igual à zero, devido ao horário de amostragem (12:00h), onde a radiação ultravioleta, nesse comprimento de onda, é praticamente inexistente.

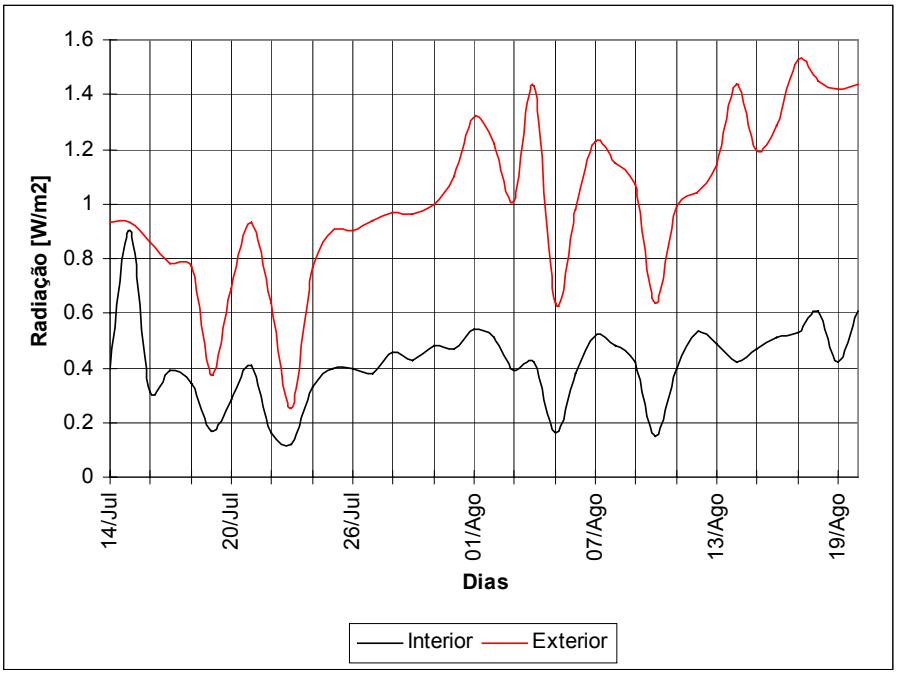

Figura 53. Radiação ultravioleta para o comprimento de onda de 312nm no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

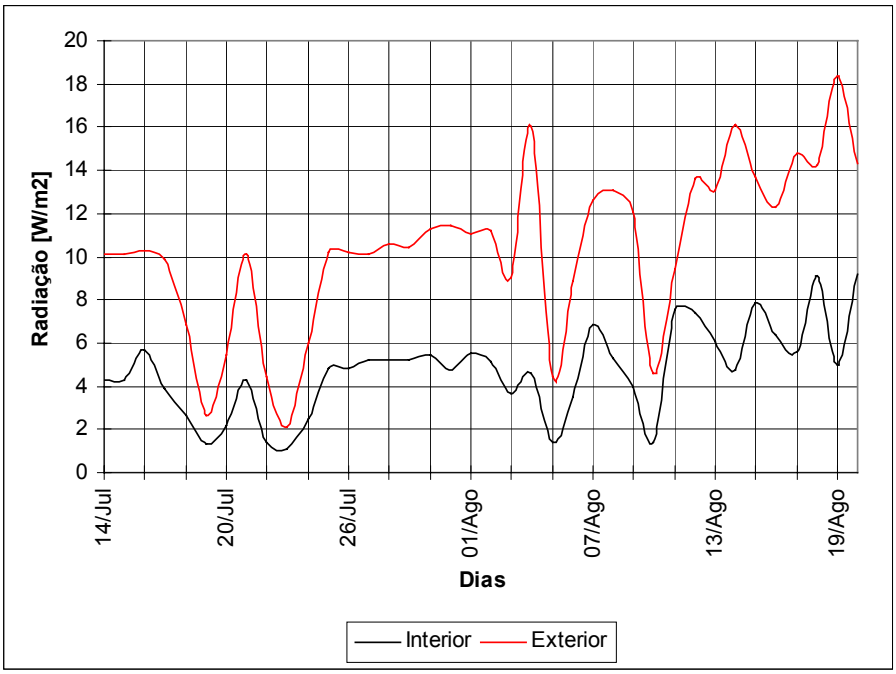

Figura 54. Radiação ultravioleta para o comprimento de onda de 365nm no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Para o comprimento de onda de 312nm, o filme plástico permitiu a passagem de somente 41,6% do total incidente (médias: interior = 0,42W/m^2; exterior = 1,01W/m^2), já para o comprimento de onda de 365nm, o filme plástico permitiu a passagem de 45,3% do total incidente (médias: interior = 4,71W/m^2; exterior = 10,40W/m^2). No experimento anterior o filme plástico permitiu a passagem de 42,04% do comprimento de 312nm e de 44,13% do comprimento de onda 365nm, mostrando ainda a boa resistência à passagem de radiação ultravioleta.

As Figuras 55, 56 e 57 mostram as médias de radiação PAR no período das 9:00h às 12:00h das três casas de vegetação. Os gráficos relacionando os dados da radiação PAR no horário de aplicação com os dados de CO_2 possibilita conhecer a relação entre a disponibilidade da quantidade de energia à planta e a concentração de CO_2, no horário de aplicação do gás, Figuras 58 e 59.

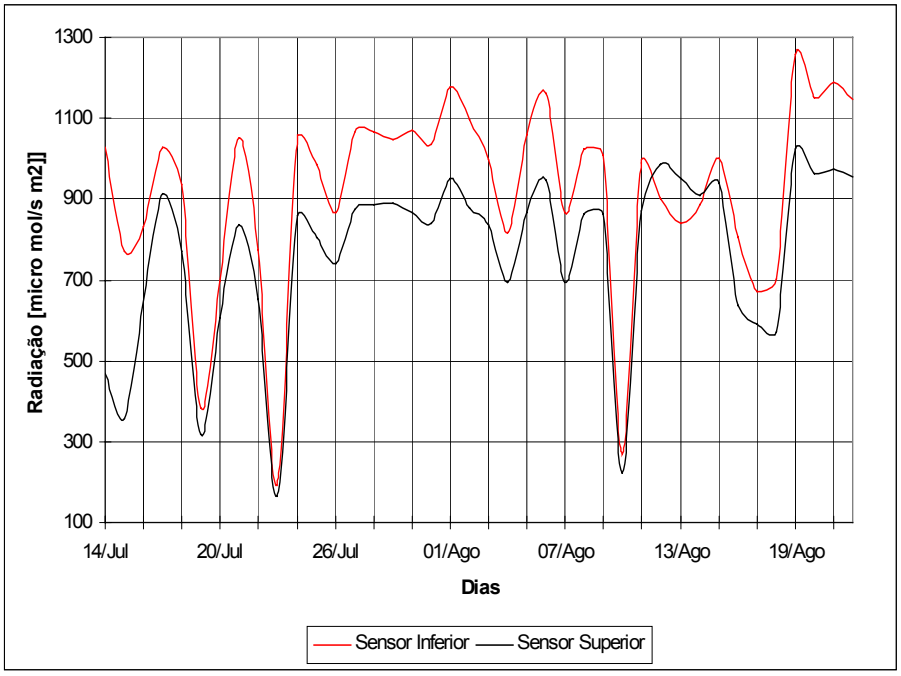

Figura 55. Média da 9:00 às 12:00h de radiação PAR na casa de vegetação A no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

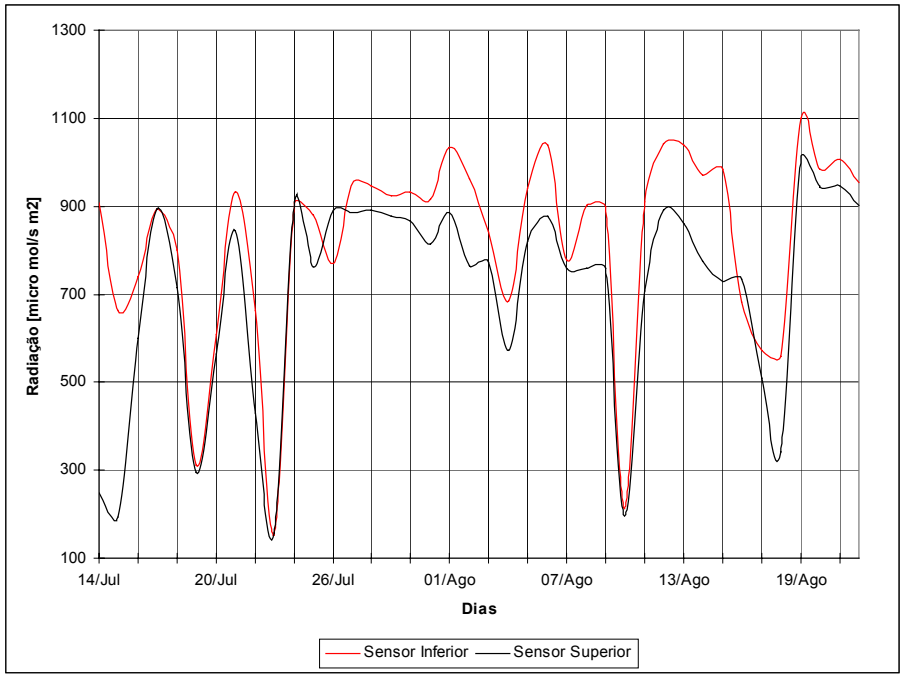

Figura 56. Média da 9:00 às 12:00h de radiação PAR na casa de vegetação B no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

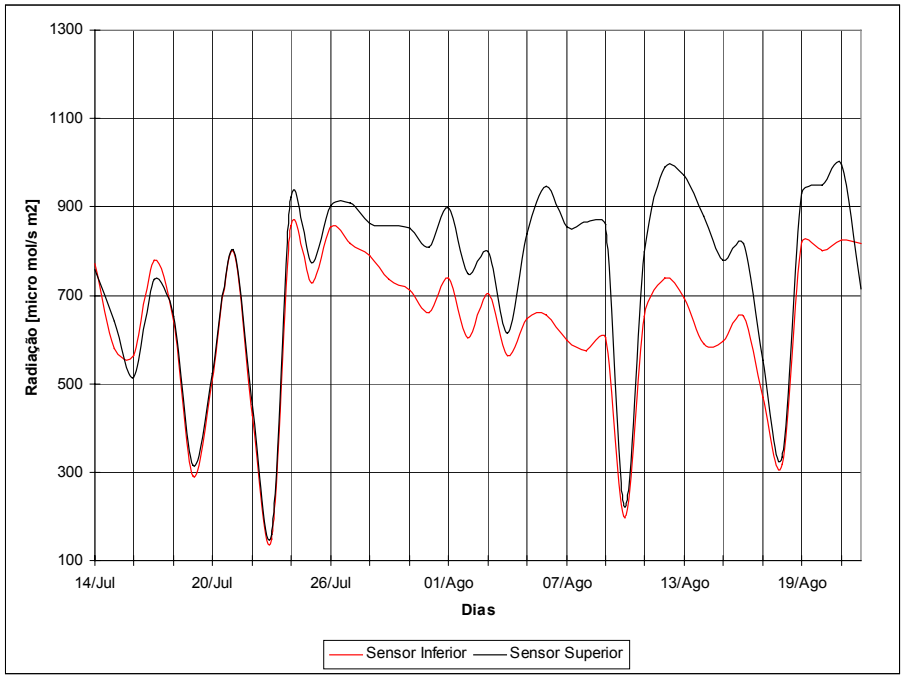

Figura 57. Média da 9:00 às 12:00h de radiação PAR na casa de vegetação C no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Nota-se pelas Figuras 55 e 56 que os sensores inferiores das casas de vegetação A e B apresentaram maiores quantidades de radiação PAR que os sensores superiores. Em média, foram maiores em 16,1% e 14,7%, respectivamente. No entanto, em experimentos anteriores, esses sensores sempre registraram menores quantidades de radiação em relação aos sensores superiores. Provavelmente, ocorreu alguma obstrução que promoveu estes resultados, tais como, sombreamento do sensor pela planta ou algum encrostamento de poeira. Já na Figura 57, o sensor inferior obteve menor quantidade de radiação PAR que o sensor superior, em média 17,2% menor, revelando o que sempre ocorreu em experimentos anteriores.

Para o sensor superior, as médias para as casas de vegetação A, B e C, no horário das 9:00 às 12:00h, foram de 757, 697 e 760μmol/s*m^2, respectivamente. Para

o sensor inferior, as médias para as casas de vegetação A, B e C foram de 902, 817 e 629μmol/s*m^2, respectivamente.

Comparando as médias da radiação PAR para as três casas de vegetação, a casa de vegetação A recebeu 9,1% mais que a casa de vegetação B, e esta, 9,6% mais que a C. Comparando a casa de vegetação A e C, a casa de vegetação A, recebeu, em média, 17,88% a mais de radiação PAR.

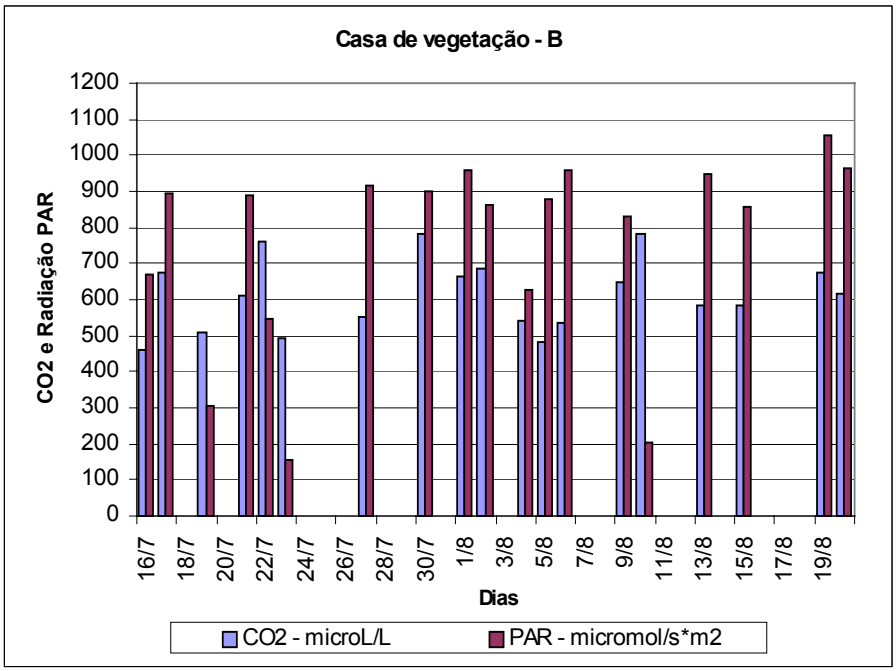

Figura 58. Concentração de CO_2 e Radiação PAR na casa de vegetação B, no horário das 9:00 às 12:00h no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

A Figura 58 descreve a distribuição da quantidade de radiação PAR e concentração de CO_2, na casa de vegetação B, disponível à planta no horário de aplicação do gás. Nos dias 19/07, 23/07 e 10/08 observa-se pouca disponibilidade de radiação PAR às plantas, comparada aos demais dias, com uma concentração regular de CO_2, isso ocorreu devido a entrada de frente fria na região, ocasionando dias nublados. Observa-se, também, que não existe uma uniformidade na taxa de

disponibilidade da radiação PAR e de concentração de CO_2, embora os dados de disponibilidade de CO_2 e radiação PAR apresentem uma certa similaridade, o que prejudicou a assimilação destes parâmetros pelas plantas, conseqüentemente reduzindo o ganho de massa fresca quando comparada com experimento realizado em 25/05 a 29/06/00.

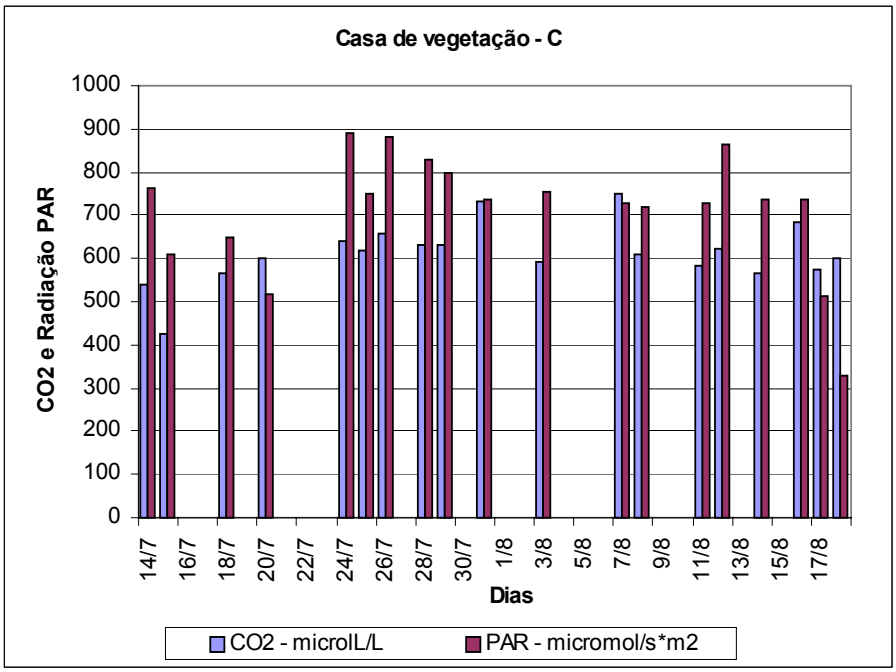

Figura 59. Concentração de CO_2 e Radiação PAR na casa de vegetação C, no horário das 9:00 às 12: no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

A Figura 59 descreve a distribuição da quantidade de energia PAR e concentração de CO_2, na casa de vegetação C, disponível à planta no horário de aplicação do gás. A distribuição bem mais uniforme da taxa de disponibilidade destes parâmetros para as plantas, ao longo de todo o experimento, mostra que o enriquecimento com dióxido em ambientes com baixa movimentação de ar, conforme explicitado em literatura, distribuem melhor o gás e possibilita às plantas aumentarem a taxa fotossintética e, conseqüentemente, aumentar o ganho de massa fresca.

4.4. Análise de produtividade no ensaio de Inverno

Nesse experimento, novamente realizou-se o mesmo procedimento adotado no experimento anterior, ou seja, acompanhou-se o peso de 24 plantas escolhidas aleatoriamente de cada casa de vegetação (6 de cada bancada), onde as mesmas foram pesadas no 21°, 28º, 35º e 38º dias após o transplante para os canais de cultivo. Os dias de análise de massa fresca desse experimento foram diferentes do anterior devido ao aparecimento de fungos na produção (item 4.6. Comentários).

As médias de peso da matéria fresca e o aumento da massa fresca ao longo do período de produção podem ser vistos na Tabela 12 e Figura 60.

Tabela 12. Acompanhamento do peso da matéria fresca, em gramas, no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Dias de Leitura	CVE - A	CVE - B	CVE - C
21º dia	25,5	31,4	32,2
28º dia	52,9	62,2	68,8
35º dia	96,3	110,3	122,4
38º dia	116,7	130,7	147,9

Pela Tabela 12, tem-se que para as casas de vegetação A, B e C o maior crescimento (em peso) ocorreu do 28º ao 35º dia, no qual as plantas cresceram 43,40; 48,10 e 53,60g, respectivamente.

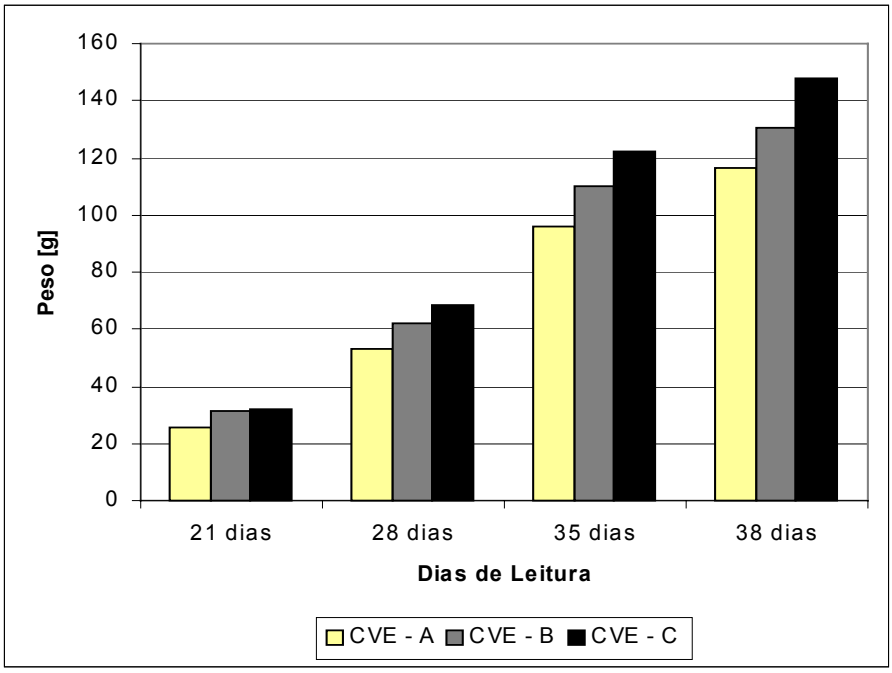

Figura 60. Acompanhamento do incremento da massa fresca no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Analisando a Figura 60, que ilustra o comportamento do incremento de massa fresca nos três diferentes tipos de ambientes, observa-se que em todo período de produção este incremento na casa de vegetação C foi sempre maior que os da casa de vegetação B e este sempre superior ao da casa de vegetação A.

Tabela 13. Parâmetros de produtividade no ensaio de Inverno (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Tratamento	Massa fresca [g]	Massa seca [g]	Massa de água [g]	Número de folhas por planta
CVE - A	126.62 $_a$	8.13 $_a$	118.49	13.15 $_a$
CVE - B	138.56 $_a$	8.53 $_a$	130.03	13.97 $_a$
CVE - C	177.86 $_b$	9.54 $_b$	168.32	16.08 $_b$

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey

Os resultados dos parâmetros de produtividade como produção de massa fresca, massa seca, quantidade de água e número de folhas por planta são mostrados na Tabela 13.

A partir dos valores médios de massa fresca, massa seca e número de folhas, apresentados na Tabela 13, após análise estatística, verificaram-se haver diferenças significativas entre a casa vegetação C e as casas de vegetação A e B, ou seja, a produção média de massa fresca, matéria seca e número de folhas da casa de vegetação C foram maiores que a produção das casas de vegetação A e B, a um nível de 5% de significância. No entanto, comparando a casas de vegetação A e B em relação aos parâmetros acima citados, verificou-se que estas não diferem estatisticamente a um nível de 5% de significância.

Dessa maneira, a aplicação de dióxido de carbono na casa de vegetação B não surtiu o efeito esperado em relação a produção de matéria fresca como ocorreu no experimento anterior em comparação com os resultados obtidos na casa de vegetação A (sem aplicação de CO_2). Porém, a aplicação de dióxido de carbono simultaneamente com o resfriamento evaporativo (casa de vegetação C), mostrou-se o melhor ambiente de produção em todos os parâmetros analisados estatisticamente.

Uma comparação da porcentagem de produção de massa fresca, massa seca, massa de água e número de folhas por planta para os três tipos de ambientes estão apresentadas a seguir:

Massa fresca: Casa de vegetação C (22.09%) > Casa de vegetação B (8.62%) > Casa de vegetação A

Massa Seca: Casa de vegetação C (10.59%) > Casa de vegetação B (4.69%) > Casa de vegetação A

Massa de água: Casa de vegetação C (22.75%) > Casa de vegetação B (8.87%) > Casa de vegetação A

N.º de folhas: Casa de vegetação C (13.12%) > Casa de vegetação B (5.87%) > Casa de vegetação A

4.5. Quantidade de nutrientes absorvidos pela plantas nos experimentos de Outono e Inverno

A absorção de nutrientes pelas plantas nos três ambientes estudados, para os dois experimentos, está explicitado na Tabela 14.

Tabela 14. Nutrientes absorvidos pelas plantas durante os experimentos (FEAGRI/UNICAMP, 2000).

	Experimento Outono			Experimento Inverno		
Nutrientes	**CV - A**	**CV - B**	**CV - C**	**CV - A**	**CV - B**	**CV - C**
Nitrogênio (%)	3.82	4.06	4.12	4.46	4.25	4.41
Fósforo (%)	0.63	0.74	0.75	0.84	0.81	0.87
Potássio (%)	7.5	6.3	6.3	10	9.2	9.3
Cálcio (%)	1.13	1.01	0.94	0.88	0.92	0.92
Magnésio(%)	0.19	0.19	0.17	0.15	0.15	0.15
Enxofre (%)	0.26	0.25	0.25	0.29	0.28	0.27
Ferro (ppm)	235	278	264	99	91	75
Manganês (ppm)	108	64	48	68	73	52
Cobre (ppm)	5	7	5	5	5	5
Zinco (ppm)	26	32	33	34	28	28
Sódio (ppm)	1600	1400	1400	1200	1100	1050
Boro (ppm)	28	21	20	30	28	27
Alumínio (ppm)	110	152	104	16	28	20
Cobalto (ppm)	Valores menores que 0,01			Valores menores que 0,01		
Molibdênio (ppm)	Valores menores que 0,01			Valores menores que 0,01		

A quantidade de Ferro, Sódio e Alumínio absorvidas pelas plantas do experimento de 25/05/00 à 29/06/00 foram muito superiores em relação ao experimento de 14/07/00 à 20/08/00 para todos os tratamentos realizados. Os demais nutrientes ficaram na mesma proporção para os dois experimentos.

4.6. Comentários

No experimento realizado no período de 25/05 à 29/06/00 observou-se no 21^0 dia após o plantio, por volta das 8:00h da manhã, um enorme estresse sofrido pelas plantas (Figura 61), ou seja, as plantas começaram a murchar e as raízes começaram a escurecer, no entanto, as plantas não atingiram o PMP (Ponto de Murcha Permanente), o qual poderia levar a perda do experimento, ocasionando apenas um atraso do ciclo de produção. Imediatamente coletou-se o valor da condutividade (1,6mS/cm) e do pH (7,2), constatando-se, em seguida, especialistas da área de fisiologia para averiguar o problema.

A identificação do problema não ficou clara, pois o que havia causado tamanho estresse, poderia ser ou a elevação do pH, ou desbalanceamento completo da solução ou algum tipo de patógenos. Independente da causa, no entanto, trocou-se a solução nutritiva e realizou-se uma análise química da antiga solução (Tabela 15) e uma análise fitopatológica das raízes escurecidas ,

As plantas com as raízes escurecidas foram submetidas a uma análise fitopatológica pela pesquisadora do IAC, Dra. Maria Aparecida Tanaka que detectou a presença do fungo *Rhizoctonia solan*i e teceu o seguinte comentário: " ...embora ele seja patogênico à alface, não se pode ter certeza que é o causador dos sintomas observados, pois, como eu te expliquei, se as raízes morreram ou sofreram algum estresse, ele pode agir como um oportunista....".

Figura 61. Estresse causado a planta no 21^0 dia no experimento realizado no Outono (FEAGRI/UNICAMP, 2000)

Para efeito de comparação da quantidade de nutrientes contidos na solução utilizada, montou-se a Tabela 15.

Tabela 15. Concentração da solução (IAC) e Análise química (ICASA)

Nutriente	Concentração (mg/L) - (IAC)	Análise Química (μL/L)
$N\text{-}NO_3$	143,500	N = 0,06
$N\text{-}NH_4$	3,800	
P	29,900	P = 41
K	282,500	K = 290
Ca	72,200	Ca = 155
Mg	28,000	Mg = 42
$S\text{-}SO_4$	36,782	S = 35
B	0,272	B = 0,42
Fe	0,720	Fe = 0,78
Mn	0,400	Mn = 0,11
Zn	0,044	Zn = 0,06
Cu	0,048	Cu = 0,08
Mo	0,078	Mo = 0,15
---	---	**Na = 30

A Tabela 16 expressa os valores da concentração utilizada no experimento (análise química realizada pelo Instituto Campineiro de Análise de Solo e Adubo - ICASA), e a concentração necessária para um bom desenvolvimento nutricional da

cultura de alface. A solução nutritiva utilizada para a comparação foi a solução descrita em Furlani (1998).

No experimento realizado no período 14/07 à 20/08/00 constatou-se dois problemas durante o manejo da produção.

O primeiro problema foi detectado após aquisição das mudas, via produtor, antes de serem transplantadas para os canais de cultivo. As mudas apresentavam escurecimento das raízes (podridão) e iniciava-se o processo e formação de novas raízes após serem transplantadas para os canais de cultivo. As mudas com podridão nas raízes foram submetidas a uma análise fitopatológica no, que novamente detectou a presença do fungo *Rhizoctonia solani*.

Para análise da germinação e do vigor das sementes (Brasil, 1992), colocaram-se 100 sementes em KNO_3, com quatro repetições, para germinar à temperatura de 20^{o}C. Após o quarto e sétimo dia, contou-se as sementes germinadas e os valores expressos em porcentagem encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16. Análises de germinação de sementes

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE GERMINAÇÃO EM % (14/08/2000)												
DATA	**Germinador**				**Luz por 30 minutos**				**10^{o}C por 3 dias**			
17/08	62	59	49	55	49	54	56	49	-	-	-	-
21/08	26	23	10	13	42	38	35	38	89	100	92	96
24/08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	*88*	*82*	*59*	*68*	*91*	*92*	*91*	*87*	*89*	*100*	*92*	*96*
MÉDIA	**74,25**				**90,3**				**94,3**			

Foi observada, através dos tratamentos realizados (Tabela 16), que as sementes não foram a propulsora do problema ocorrido com as mudas de alface, uma vez que o teste de germinação mostrou um alto índice, além do fato das sementes analisadas não apresentarem os referidos fungos.

Realizou-se, também, uma análise fitopatológica de mudas retiradas diretamente do viveiro da BIOMUDAS (local de onde se adquiriam as mudas), observado-se a presença de raízes com indícios de podridão e que continham o mesmo fungo. Pode-se concluir que o problema ocorrido estava ligado à própria produção de mudas, uma vez que esta era realizada externamente ao local de produção e o controle fitopatológico poderia ser inadequado.

O segundo problema foi observado no 13^{o} dia após o transplante, pois houve aparecimento de fungos Míldio (*Bremia Lactucae*) na folha da alface. O aparecimento deste fungo pode ter sido devido à elevação da umidade relativa, pois ocorreram chuvas nos 10 e 11^{0} dias após o transplante. O controle foi realizado com fungicida.

4.7 Análise econômica dos investimentos

A análise de investimento do projeto foi realizada seguindo a metodologia de HOFFMANN et al. (1978), e considerou o custo total por unidade produzida e não pela produção total anual, sendo uma planta de alface igual a uma unidade produzida. Foi considerado como custo fixo, a depreciação e o capital investido e como custo variável, os gastos com energia elétrica, remuneração do empregado, mudas, nutrientes, consumo de CO_2, embalagens e manutenção. Em cada casa de vegetação produziram-se 768 plantas de alface.

4.7.1 Custos fixos

4.7.1.1. Depreciação

A depreciação (D) foi calculada para as instalações (I) e para os equipamentos, considerando uma vida útil de 10 anos (10% ao ano), Tabela 17.

Tabela 17. Depreciação

Material	Custo total (R$)	Depreciação anual (R$)	Depreciação diária (R$)	Custo diário por unidade (R$)
I (CVE - A)	2900,00	290,00	0,795	0,00103
I (CVE - B)	2900,00	290,00	0,795	0,00103
I (CVE - C)	5700,00	570,00	1,562	0,00203
2 Ventiladores - CO_2 (V)	700,00	70,00	0,192	0,00025
2 Bombas sucção solução - (BSS)	894,00	89,40	0,245	0,00032

Portanto, para cada casa de vegetação CVE - A, CVE - B e CVE - C e para cada período de experimento, de 25/05 a 29/06/00 e 14/07 0 20/08/00, a depreciação foi calculada, da seguinte maneira:

a) Depreciação para casa de vegetação A = D (CVE - A)

$$D(CVE-A) = (I + BSS) * PP$$

onde,

I - instalação

BSS = bomba de sucção da solução

PP = período de produção

D (CVE - A) = 0,0486 (25/05 a 29/06/00)

D (CVE - A) = 0,0513 (14/07 a 20/08/00)

b) Depreciação para a casa de vegetação B = D (CVE - B)

$$D(CVE-B) = (I + BSS + V) * PP$$

onde,

V = ventiladores

D (CVE - B) = 0,0576 (25/05 a 29/06/00)

D (CVE - B) = 0,0608 (14/07 a 20/08/00)

c) b) Depreciação para a casa de vegetação C = D (CVE - C)

$$D(CVE-C)=(I+BSS+V)*PP$$

D (CVE - C) = 0,0936 (25/05 a 29/06/00)

D (CVE - C) = 0,0988 (14/07 a 20/08/00)

4.7.1.2. Custo dos investimentos

Tabela 18. Custo dos investimentos (CI)

Material	Valor (R$)	Juros anual (R$)	Juros diário (R$)	Custo diário por unidade (R$)
CVE - A	2900,00	348	0,953	0,00124
CVE - B	2900,00	348	0,953	0,00124
CVE - C	5700,00	684	1,874	0,00244
Bancadas de cultivo - (BB)	790,00	94,80	0,260	0,00011
Canais de cultivo (Hydrogood) - (CC)	1156,76	138,81	0,381	0,00016
Tubulações condução solução (TCS)	2406,00	288,72	0,791	0,00034
Reservatórios da solução (RS)	1020,00	122,40	0,335	0,00014
Controlador de tempo (bombas) (CTB)	75,00	9,00	0,025	0,00001
2 Bombas sucção solução - (BSS)	894,00	107,28	0,29	0,00012
Tubulações condução (CO_2) - (TCC)	1604,00	192,48	0,527	0,00034
Controlador de tempo (CO_2) - (CTC)	162,40	19,49	0,053	0,00003
2 Válvulas solenóides (CO_2) - (VSC)	3751,70	450,20	1,233	0,00080
2 Ventiladores - CO_2 (V)	700,00	84	0,230	0,00015
Serviços de Montagem (SM)	150,00	18	0,049	0,00002

Os custos de investimento (CI) foram calculados em função dos gastos com aquisição de cada casa de vegetação, com os materiais utilizados para montagem do sistema hidropônico, com os materiais gastos nos sistema de distribuição de da solução nutritiva e do sistema de CO_2 e com serviços de montagem, e estão explicitados pela Tabela 18.

Considerando um rendimento anual de 12% para o capital investido, segundo HOFFMANN et al. (1978) e também que o produtor disponha de área para implantação das casas de vegetação, os custos fixos de investimentos, para cada casa de vegetação, será:

a) Custo de investimentos na casa de vegetação A = CI (CVE - A)

$$CI(CVE-A) = (PCV + BB + CC + TCS + RS + CTB + BSS + SM) * PP$$

onde

PCV = Preço da casa de vegetação

BB = Bancadas de cultivo

CC = Canais de cultivo

TCS = Tubulações de condução da solução

RS = Reservatórios da solução

CTB = Controlador de tempo das bombas de sucção da solução

BBS = Bomba de sucção da solução

SM = Serviços de Montagem

PP = período de produção

CI (CVE - A) = 0,07704 (25/05 a 29/06/00)

CI (CVE - A) = 0,08132 (14/07 a 20/08/00)

b) Custo de investimentos na casa de vegetação B = CI (CV - B)

$$CI(CVE-B) = (PCV + BB + CC + TCS + RS + CTB + BSS + SM + V + TCC + CTC + VSC) * PP$$

onde.

V = ventiladores do CO_2

TCC = Tubulações de condução do CO_2

CTC = Controlador de tempo do CO_2

VSC = Válvulas solenóides do CO_2

CI (CVE - B) = 0,12456 (25/05 a 29/06/00)

CI (CVE - B) = 0,13148 (14/07 a 20/08/00)

c) Custo de investimentos na casa de vegetação C = CI (CVE - C)

$$CI(CVE-C) = (PCV + BB + CC + TCS + RS + CTB + BSS + SM + V + TCC + CTC + VSC) * PP$$

CI (CVE - C) = 0,16776 (25/05 a 29/06/00)

CI (CVE - C) = 0,17708 (14/07 a 20/08/00)

4.7.2. Custos variáveis

4.7.2.1. Custo com energia elétrica

Os gastos com energia elétrica foram contabilizados em função do consumo das bombas de sucção da solução nutritiva, dos ventiladores de fornecimento de CO_2, dos exaustores e bomba do sistema de resfriamento evaporativo PAD, considerando o valor de 1kWh igual a R$ 0,16465, para o meio rural, fornecido pela CPFL (Companhia

Paulista de Força e Luz). Todos os equipamentos foram considerados, trabalhando, em potência máxima.

Todos os equipamentos e seu consumo teórico, como se estivessem trabalhando na potência máxima, estão explicitados na Tabela 19.

Tabela 19. Custo com energia elétrica

Equipamento	Potência máxima (kW)	Tempo de funcionamento	Custo diário (R$)	Custo diário por unidade (R$)
Bomba sucção da solução (BBS)	3,680	7h por dia	4,241	0,00184
Ventilador CO_2 - (V)	0,117	2h por dia	0,039	0,00003
Exaustores PAD +	1,661	186h (36 dias)	1,413	0,00184
Bomba - (EPB)		139h (38 dias)	1,000	0,00130

A bomba de sucção que fornecia a solução nutritiva possui uma potência máxima nominal de 3,680kW e trabalhou 7 horas por dia. O ventilador do sistema de enriquecimento atmosférico com dióxido de carbono possui uma potência nominal máxima de 0,117 kW e operou o sistema 2 horas por dia. Os dois exaustores e a bomba do sistema de resfriamento evaporativo, com potências máximas nominais de 0,736kW, 0,373kW e 0,552kW respectivamente, que somados possuem 1,661kW, trabalharam 186 e 139 horas para os experimentos realizados no período de 25/05 a 29/06/00 e no período de 14/07 a 20/08/00, respectivamente.

Portanto os custos com energia elétrica (CEE) para as casas de vegetação foram os seguintes:

a) Custo de energia elétrica na casa de vegetação A = CEE (CVE - A)

$$CEE(CVE - A) = BSS * PP$$

CEE (CVE - A) = 0,06624 (25/05 a 29/06/00)

CEE (CVE - A) = 0,06992 (14/07 a 20/08/00)

b) Custo de energia elétrica na casa de vegetação B = CEE (CVE - B)

$$CEE(CVE-B) = (BSS + V) * PP$$

CEE (CVE - B) = 0,06732 (25/05 a 29/06/00)

CEE (CVE - B) = 0,07106 (14/07 a 20/08/00)

c) Custo de energia elétrica na casa de vegetação C = CEE (CVE - C)

$$CEE(CVE-C) = (BSS + V + EPB) * PP$$

onde,

EPB = exaustores PAD + bomba PAD

CEE (CVE - C) = 0,13356 (25/05 a 29/06/00)

CEE (CVE - C) = 0,12046 (14/07 a 20/08/00)

4.7.2.2. Custo com mão-de-obra

Os custos com mão-de-obra foi calculado, baseado no valores fornecidos pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA, abril de 2000), considerando um trabalhador mensalista com remuneração média de R$216, 92 (Tabela 20).

Tabela 20. Salários rurais, Estado de São Paulo, Abril de 2000

Categoria	Valor menor	Valor Maior	Valor Médio	Moda	Mediana	Número de informantes
Diarista a seco[1]	3,80	30,00	10,17	10,00	10,00	473
Volante[1]	4,70	20,00	10,45	10,00	10,00	438
Administrador[2]	175,00	1.014,00	434,80	400,00	400,00	457
Tratorista[2]	180,00	600,00	294,93	300,00	300,00	465
Mensalista[2]	151,00	350,00	216,92	200,00	200,00	470
Capataz[2]	151,00	600,00	305,25	300,00	300,00	315

[1]Valores expressos em R$/dia.
[2]Valores expressos em R$/mês.
Fonte: Instituto de Economia Agrícola e Coordenadoria de Assistência Técnica Integral.

Para o cálculo dos custos com mão-de-obra para manutenção, tratos culturais e manejo das casas de vegetação, foi considerado que um trabalhador é capaz de cuidar de 1000m^2 de área de produção de alface em casas de vegetação, e nos experimentos realizados, a casa de vegetação possui 71,5m^2. O custo de mão de obra está explicitado na Tabela 21.

Tabela 21. Custo com mão-de-obra

Mão-de-obra	Custo Mensal por 1000m^2 (R$)	Valor Mensal por 71,5m^2 (R$)	Custo diário (R$)	Custo diário por unidade (R$)
1 mensalista	216,92	15,51	0,517	0,00067

Portanto, o custo com mão de obra (CMO) foi o seguinte:

$$CMO(CVE-A) = CMO(CVE-B) = CMO(CVE-C) = CUPD * PP$$

onde,

CUPD = custo por unidade produzida diária

PP = período de produção

CMO = 0,02412 (25/05 a 29/06/00)

CMO = 0,02546 (14/07 a 20/08/00)

4.7.2.3. Custo com mudas

Em cada experimento utilizou-se 11 bandejas de mudas no valor de R$46,20, que diluídos, para as três casas de vegetação, resulta num custo por unidade produzida, em cada casa de vegetação, de R$0,02005.

4.7.2.4. Custo com solução nutritiva

A Tabela 22 descreve os sais utilizados na composição da solução nutritiva e seus respectivos preços.

Tabela 22. Valores dos sais utilizados na solução nutritiva

Nutriente	Custo por kg (R$)
Kristalon Laranja	4,41
Nitrato de Cálcio	1,00
Tenso Cocktail	35,00
Tenso Ferro	35,00

Utilizando a solução nutritiva descrita na metodologia com os valores dos nutrientes descritos na Tabela 22, tem-se o custo com a solução nutritiva calculados da seguinte maneira:

Para o experimento realizado em 25/05 a 29/06/00, utilizou-se 2 soluções e 6 estoques totalizando um custo de R$122,04, que diluídos para as três casas de vegetação, resulta num custo por unidade produzida, em cada casa de vegetação, de R$0,05296.

Para o experimento realizado em 14/07 a 20/08/00, utilizou-se 1 solução e 4 estoques totalizando um custo de R$68,52, que diluídos para as três casas de vegetação, resulta num custo diário por unidade produzida, em cada casa de vegetação, de R$0,02974.

4.7.2.5. Custo com consumo de CO_2

O custo do consumo de gás (CCG) foi calculado no valor no cilindro de gás e a quantidade fornecida para cada casa de vegetação. Em ambos os experimentos a

vazão de gás para as casas de vegetação B e C foram de 3,5L/min e 2,5L/min, respectivamente.

No experimento realizado em 25/05 a 29/06/00 utilizou-se 4,5 cilindros no valor de unitário de R$21,25, totalizando R$95,63 e, no experimento realizado em 14/07 a 20/08/00, utilizou-se 3,5 cilindros no valor unitário de R$24,25, totalizando R$84,88.

Portanto, o custo do consumo de gás, para cada casa de vegetação foi calculado pela seguinte fórmula:

$$CCG(CVE) = \frac{CTG * VA}{6}$$

onde,

CTG = custo total do gás consumido

VA = Vazão utilizada

a) Custo do consumo de gás na casa de vegetação B = CCG (CV - B)

CCG (CVE - B) = 0,07263 (25/05 a 29/06/00)

CCG (CVE - B) = 0,06446 (14/07 a 20/08/00)

b) Custo do consumo de gás na casa de vegetação C = CCG (CVE - C)

CCG (CVE - B) = 0,05188 (25/05 a 29/06/00)

CCG (CVE - B) = 0,04605 (14/07 a 20/08/00)

4.7.2.6. Custo das embalagens

Para contabilizar os custos com embalagens para a alface entrou-se em contato com empresas que forneciam o material apropriado para o empacotamento e realizou-se a distribuição deste custo por unidade produzida. O custo da embalagem foi de R$0,03 por unidade.

4.7.2.7. Custo com manutenção

O cálculo do custo de manutenção (reposição de peças) - CM foi realizado em função do capital investido, considerando-se de 10% do mesmo. Desta forma, o cálculo do custo de manutenção foi realizado pela seguinte fórmula:

$$CM = CI * 0{,}1$$

a) Custo de manutenção da casa de vegetação A = CM (CVE - A)

CM (CVE - A) = 0,007704 (25/05 a 29/06/00)

CM (CVE - A) = 0,008132 (14/07 a 20/08/00)

b) Custo de manutenção na casa de vegetação B = CM (CVE - B)

CM (CVE - B) = 0,01246 (25/05 a 29/06/00)

CM (CVE - B) = 0,01315 (14/07 a 20/08/00)

b) Custo de manutenção na casa de vegetação C = CM (CVE - C)

CM (CVE - C) = 0,01678

CM (CVE - C) = 0,01771

4.7.3. Custo total para cada casa de vegetação

O cálculo do custo total (CT) é dado pelo somatório do custo fixo (CF) e custo variável (CV), ou seja,

$$CT = CF + CV$$

O custo total para cada casa de vegetação, em função da unidade produzida está explicitado na Tabela 23.

Tabela 23. Custo total de produção por unidade produzida em cada casa de vegetação

Casa de vegetação	Custo total por unidade produzida (R$)	
	25/05 a 29/06/00	**14/07/ a 20/08/00**
CVE - A	0,32	0,31
CVE - B	0,46	0,44
CVE - C	0,59	0,56

Analisando-se a Tabela 23, observa-se que os custos de produção da alface ficaram muito alto para os três ambientes. Porém, ressalta-se que o custo total do projeto considerou produtores que não possuíam casas de vegetação, apenas área disponível para implantação das mesmas.

Um fator que levou a obter tais custos de produção foi considerar o consumo de energia elétrica da potência nominal do equipamento, uma vez que não se tinha um medidor de kWh da energia consumida.

A aquisição de casas de vegetação menos sofisticadas, feitas com materiais com custos menores e a utilização de materiais mais baratos também poderia diminuir estes custos de produção e desta forma viabilizar o custo efetivo do projeto.

Destaca-se que a qualidade do material colhido na casa de vegetação C foi visualmente melhor que nas demais casas de vegetação, tendo um período de produção menor e, também, estatisticamente superior na produção de massa fresca, massa seca e número de folhas em menor tempo. Essa melhor qualidade visual pode ser referida ao maior controle de temperatura associado à injeção de dióxido de carbono aplicado a esta casa de vegetação.

As casas de vegetação A e B demorariam um tempo maior para obter o mesmo peso da alface na casa de vegetação C e os aspectos de qualidade não seriam atingidos na mesma proporção.

4.7.4. Taxa de rentabilidade do capital

O preço da alface hidropônico em Campinas, nos mercado e feiras livres, varia de R$0,59 à R$0,89 e o valor venal, para o produtor, oscila entre R$0,35 e R$0,55.

Para determinação de uma taxa de rentabilidade do capital (TRC), para as três casas de casas de vegetação, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$TRC = \left(\frac{P - C}{C} \right) * 100$$

onde,

P = preço obtido pelo produtor, (R$);

C = custo de produção, (R$).

Considerando três pontos no valor recebido pelo produtor, mínimo, médio e máximo, ou seja, R$0,35; R$0,45 e R$0,55 respectivamente, tem-se através da Tabela 25, o valor da taxa de rentabilidade do capital.

A Tabela 24 mostra os preços do valor venal da alface e da taxa de rentabilidade do capital (TRC), para cada casa de vegetação, em função do período de produção.

Tabela 24. Preço da alface e taxa de rentabilidade do capital

Preço (R$)	TRC - % (CVE - A)		TRC - % (CVE - B)		TRC - % (CVE - C)	
	25/05 a 29/06/00	14/07 a 20/08/00	25/05 a 29/06/00	14/07 a 20/08/00	25/05 a 29/06/00	14/07 a 20/08/00
0,35	9,37	12,90	-	-	-	-
0,45	40,62	45,16	-	2,27	-	-
0,55	71,87	77,42	19,56	25,00	-	-

Utilizando como referência os juros de 12% ao ano, aplicado nos custos de investimento, através da Tabela 24 é fácil notar que para a casa de vegetação C, não importando o preço da alface, em função da taxa de rentabilidade, não é viável a produção de alface nos dois períodos acima citados. Para a casa de vegetação B a viabilidade de produção só é permitida quando o preço da alface alcançar valores de R$0,55 nos dois períodos e, para a casa de vegetação A existe viabilidade para a produção para quase todos os preços nos dois períodos, excetuando o preço de R$0,35 para o período de 25/05 a 29/06/00.

Novamente, destaca-se que a qualidade do material colhido na casa de vegetação C foi visualmente melhor que nas demais casas de vegetação, tendo um período de produção menor e, o ganho percentual, de massa fresca, massa seca e número de folhas, estatisticamente superior as demais casas de vegetação e em menor tempo.

4.7.5. Comparação da porcentagem de ganho de massa fresca com os custos de produção

Comparando a porcentagem de ganho de massa fresca com o custo de produção nos três ambientes, tem-se:

Massa fresca (25/05 a 29/06/00) - Casa de vegetação C (23,63%) > Casa de vegetação B (15,38%) > Casa de vegetação A

Custo de produção (25/05 a 29/06/00) - Casa de vegetação C (22,03%) > Casa de vegetação B (30,43%) > Casa de vegetação A

Massa fresca (14/07 a 20/08/00) - Casa de vegetação C (22,09%) > Casa de vegetação B (8,62%) > Casa de vegetação A

Custo de produção (14/07 a 20/08/00) - Casa de vegetação C (21,42%) > Casa de vegetação B (29,55%) > Casa de vegetação A

O aumento de porcentagem de massa fresca para os dois experimentos, na casa de vegetação C em relação a A e B, foi similar ao aumento do custo de produção. No entanto, o aumento de massa fresca da casa de vegetação B em relação a A, foi muito inferior ao aumento do custo de produção.

4.7.6 Estudo de caso

Considerando-se os seguintes aspectos:

a) Custo de energia elétrica de 90% (CEE) em relação ao custo gasto com os equipamentos a plena potência; Produção de mudas no local - PML (R$23,00); Embalagens de custo menor - EM (R$46,04); Preparação da solução nutritiva - PSN (R$20,32); Utilização de materiais de menor custo [Bancadas de cultivo - BB (R$500,00), Canais de cultivo - CC (R$550), Tubulações condução solução -TCS (R$1200,00), 2 Reservatórios da solução - RS (R$800,00), 1 Bombas sucção solução - BSS, Tubulações condução do CO_2 - TCC (R$800,00), 2 Válvulas solenóides para o controle do CO_2 - VSC (R$1500,00), 1 Ventiladores - CO_2 V (R$350,00); Manutenção do sistema - MS], conforme Tabela 26;
b) Os demais termos do custo total não se alterando (Depreciação - D; Controlador de tempo da bomba de sucção - CTB; Controlador de tempo do CO_2 - CTC; Serviços de Montagem - SM; Mão-de-obra - MO; Consumo de gás - CG);
c) Produtor que já possui casas de vegetação.

Com essas hipóteses e com os dados fornecidos pela Tabela 25, a qual mostra detalhadamente os novos custos com os materiais e as mudanças ocorridas nos novos custos de produção, pode-se fazer um estudo de caso em relação ao custo total de produção, e avaliar quanto os custos baixaram em relação ao projeto inicial.

Tabela 25. Custo total de um estudo de caso

Custo total de um estudo de caso						
Itens de cálculo	**CVE - A**		**CVE - B**		**CVE - C**	
	25/05 a 29/06/00	**14/07 a 20/08/00**	**25/05 a 29/06/00**	**14/07 a 20/08/00**	**25/05 a 29/06/00**	**14/07 a 20/08/00**
CEE	0,05916	0,06293	0,06058	0,06395	0,12020	0,10841
PML	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
EM	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
PSN	0,015	0,01	0,015	0,01	0,015	0,01
BB	0,00252	0,00259	0,00252	0,00259	0,00252	0,00259
CC	0,00288	0,00304	0,00288	0,00304	0,00288	0,00304
TCS	0,00612	0,00646	0,00612	0,00646	0,00612	0,00646
RS	0,00411	0,00433	0,00411	0,00433	0,00411	0,00433
BSS	0,00216	0,00228	0,00216	0,00228	0,00216	0,00228
TCC	-	-	0,0504	0,0532	0,0504	0,0532
VSC	-	-	0,01152	0,01216	0,01152	0,01216
V	-	-	0,00252	0,0259	0,00252	0,0259
MS	0,001887	0,001984	0,008871	0,01168	0,008871	0,01168
CTB	0,00036	0,00038	0,00036	0,00038	0,00036	0,00038
CTC	-	-	0,0054	0,0057	0,0054	0,0057
SM	0,00072	0,00076	0,00072	0,00076	0,00072	0,00076
MO	0,02412	0,02546	0,02412	0,02546	0,02412	0,02546
D	0,0486	0,0513	0,0576	0,0608	0,0936	0,0988
CG	-	-	0,07263	0,06446	0,05188	0,04605
Custo Total	**0,197637**	**0,201514**	**0,357511**	**0,38315**	**0,432381**	**0,4472**

A Tabela 26, com os novos custos de produção nas três casas de vegetação, expressa o custo total de um estudo de caso, utilizando outros custos para os materiais e os requisitos a, b e c.

Observa-se que, através da Tabela 26 que os custos de produção para este estudo de caso baixaram muito em relação ao custo inicial do projeto, viabilizando,

dependendo do preço de venda da alface, a implantação de qualquer uns dos três tipos de ambientes. No entanto os custos de produção das casas de vegetação B e C continuam altos, mas ressalva-se, novamente, a qualidade do produto obtido na casa de vegetação C.

Tabela 26. Custo total de produção para um estudo de caso

Casa de vegetação	Custo total por unidade produzida (R$)	
	25/05 a 29/06/00	14/07/ a 20/08/00
CVE - A	0,20	0,20
CVE - B	0,36	0,38
CVE - C	0,43	0,45

A Tabela 27 expressa quão foi a queda nos custos de produção para este estudo de caso em relação ao projeto inicial.

Tabela 27. Porcentagem de queda nos custos de um EC (estudo de caso)

Casa de	25/05 a 29/06/00		% de	14/07/ a 20/08/00		%
vegetação	Projeto	EC	queda	Projeto	EC	de queda
CV - A	0,32	0,20	37,50	0,31	0,20	35,48
CV - B	0,46	0,36	21,74	0,44	0,38	13,64
CV - C	0,59	0,43	27,12	0,56	0,45	19,64

A taxa de rentabilidade do capital (TRC) para este estudo de caso está caracterizada na Tabela 28.

Tabela 28. Preço da alface e TRC de um estudo de caso

Preço	TRC - % (CVE - A)		TRC - % (CVE - B)		TRC - % (CVE - C)	
(R$)	25/05 a 29/06/00	14/07 a 20/08/00	25/05 a 29/06/00	14/07 a 20/08/00	25/05 a 29/06/00	14/07 a 20/08/00
0,35	75	75	-	-	-	-
0,45	125	125	25	18,42	4,65	0,00
0,55	175	175	52,78	44,73	27,90	22,22

Para este estudo de caso, considerando a taxa de juros anual de 12%, a viabilidade de produção é constatada em quase todos os preços de venda para os dois

períodos de produção, excetuando-se a casa de vegetação C para os preços de R$0,35 e R$0,45 e a casa de vegetação B para o preço de R$0,35.

4.8. Sugestões para trabalhos futuros

Nota-se pelo trabalho, que há clara relação entre os parâmetros analisados e que há necessidade de implementação de um sistema de controle automático que leve em consideração a variação destes parâmetros em tempo real. O sistema de controle automático deve obedecer a uma estratégia de controle que minimize o custo de produção e maximize a quantidade produzida. Para realização de um controle automático poderia utilizar-se programação multi-objetivo, técnicas de inteligência artificial etc;

Utilizar bancadas com espaçamento maior entre os canais de cultivo, proporcionando um menor sombreamento entre os canais e promovendo um melhor espaçamento para o crescimento da planta;

V. CONCLUSÃO

Mesmo não sendo épocas de altas temperaturas diurnas, o sistema de resfriamento evaporativo se mostrou eficiente em manter a temperatura desejada na casa de vegetação C e proporcionou um ambiente satisfatório à produção vegetal.

No sistema de resfriamento evaporativo, acionado por um controlador liga-desliga (termostato), verificou-se, ainda, a necessidade de instalação de um controle de umidade (umidostato), pois mesmo em altas umidade relativa o meio poroso continuava sendo umedecido, e ocasionava aparecimento de fungos na folha da alface.

A relação entre a velocidade do vento e a concentração de dióxido de carbono na casa de vegetação B foi fundamental para avaliar o comportamento do gás em uma estrutura com laterais móveis e o ganho de massa fresca, evidenciando que a aplicação de CO_2 em estruturas abertas pode não ser um procedimento viável.

A relação entre a concentração do gás no horário de aplicação e a distribuição de radiação fotossinteticamente ativa possibilitou avaliar a disponibilidade às plantas destes dois parâmetros importantes na realização da fotossíntese, no entanto não se relacionou estes dois parâmetros com a distribuição de temperatura no mesmo horário, uma vez que esta não atingiu valores críticos à realização da fotossíntese.

O acompanhamento do ganho de massa fresca ao longo de todo o experimento, para os dois ensaios, foi uma importante característica para avaliar o crescimento vegetal nos três ambientes e verificar em qual período a planta teve um maior incremento de massa.

Para o experimento realizado no período de 25/05/00 a 29/06/00 a produção de massa de matéria fresca da casa de vegetação C foi em média, estatisticamente significativa ao nível de 5%, superior à produção de massa fresca da casa de vegetação

B e esta, estatisticamente significativa ao nível de 5%, superior a casa de vegetação A. Em porcentagem de ganho de massa fresca, a casa de vegetação C foi superior em 23,63% em relação a casa de vegetação B e esta foi superior em 15,38% em relação a casa de vegetação A.

Para o experimento realizado no período de 14/07 a 20/08/2000 a produção de massa fresca da casa de vegetação C foi em média, estatisticamente significativa ao nível de 5%, superior à produção de massa fresca da casa de vegetação B e esta não diferiu, estatisticamente ao nível de 5%, à casa de vegetação A. Em porcentagem de ganho de massa fresca a casa de vegetação C foi superior em 22,09% em relação a casa de vegetação B e esta foi superior em 8,62%% em relação a casa de vegetação A.

Esses resultados de ganho de massa fresca, em porcentagem, para os dois experimentos, evidenciam como o enriquecimento atmosférico com dióxido de carbono interagiu entre os ambientes enriquecido e não enriquecido. O controle de temperatura, associado ao enriquecimento com dióxido de carbono mostrou ser o melhor ambiente, casa de vegetação C, para a produção da alface nos dois experimentos realizados.

Destaca-se que a qualidade do material colhido na casa de vegetação C foi visualmente melhor que nas demais casas de vegetação, tendo um período de produção menor.

Os custos de implantação do projeto ficaram elevados para os três tipos de ambientes, no entanto, o aumento em porcentagem de massa fresca da casa de vegetação C foi proporcional ao aumento de porcentagem de custo de produção, em relação as demais casas de vegetação, porém a casa de vegetação B não acompanhou o mesmo aumento, tendo um aumento em porcentagem de produção de massa fresca bem inferior ao aumento de porcentagem nos custos de produção, em relação a casa

de vegetação A. Porém, ressalta-se que os gastos com energia foram superestimados em função da não possibilidade de medir a energia consumida real e considerou-se produtor que não possuía casa de vegetação, apenas área disponível para implantação da mesma.

A taxa de rentabilidade do capital foi um bom índice de comparação do capital investido em função da renda obtida.

Uma outra alternativa para diminuir os custos de implantação, seria utilizar casas de vegetação construídas com materiais de menores custos e o sistema hidropônico com materiais mais baratos e com a mesma funcionalidade.

VI. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AGUIAR E SILVA, M.A.; GALVANI, E.; ESCOBEDO, J.F.; GOMES, E.N. Estimativa dos componentes do saldo de radiação em casa de vegetação. **Sinergia**. Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999.

ALDRICH, R. A. Environmental principles of plant growth structures. In: LESMAY, M. ; DIXON, J. **Environmental control for agricultural buildings**. Editora The Avi Publishing Company, Westport, Connecticut, 1986.

ASHRAE. Chapter 22. Environment control for animals and plants, p. 22.1-22.20 in **ASHRAE Handbook of aplications**, 1978.

ASHRAE. Chapter 9. Environment control for animals and plants. p. 9.1-9.18 in **ASHRAE Handbook of Fundamentals**, 1981.

BAILEY, B. J. The environment in evaporatively cooled greenhouses: Protected Cultivation of Vegetables. **Acta Horticulturae**, 287, p.59-66, 1990.

BARBEE, D. G. et al. A review categorizing engineering techniques of plant environment simulators. . **Journal Agricultural Engineering Resourch.** Mechanical Engineering Department, Texas A ; M Uiversity, College Station, Texas, USA, 18, 13-29, 1973

BARNEY, G. C. Intelligent instrumentation: **Microprocessador applications in measurement and control**. 2ª edição. University Press, Cambridge, Great Britain, 1988.

BLISKA JR, A.; HONÖRIO, S. L. **Cartilha tecnológica**: Plasticultura e estufa. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 1996.

BOILY, R. **Estufa**: Controle do meio ambiente. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999 (Apostila).

BORSATTO, R. S.; SENTELHAS, P. C.; MINAMI, K. Avaliação da influência da coloração da cobertura plástica (PVC) na incidência da radiação solar no interior de estufas. In: **XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Fortaleza, CE, 2000.

CAMACHO, J. M. et al. Avaliação de elementos meteorológicos em estufa plástica em pelotas, RS. **Revista brasileira de agrometeorologia**. Santa Maria, RS, v.3 p. 19-24, 1995.

CAPORN, S. J. M. et al. Canopy photosynthesis of CO_2-enriched lettuce (*Lactuca sativa L.*): Response to short-term changes in CO_2, temperature and oxides of nitrogen. **New Phytologisty**. vol. 126, 45-52, 1994.

CARMO Jr, R. R.; COSTA, E.; LEAL, P. M. Otimização de espaço em casas de vegetação com u uso de bancadas com seção “A” para o cultivo hidropônico de alface. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 18**, Pelotas: SBEA, n. 144, 1999.

CARMO Jr, R. R. **Produção de alface (Lactuca sativa L.) em cultivo hidropônico utilizando atmosfera modificada no interior da estufa**. Campinas, SP, 2000. 96f. Dissertação de Mestrado (Construções Rurais e Ambiência). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

CASTELLANE, P. D.; ARAÙJO. J. A. C. **Cultivo sem solo**: Hidroponia, Faculdade de Ciências Agronômica e Veterinária, Jabotical, FUNEP, 1995, 43p.

CHURCH, G. A.; WATERS, W. F.; LAZIN, M. B. Application of ground water to greenhouse cooling systems. **Winter meeting,** American Society of Agricultural Engineers, Chicago, Illinois, dezembro, p. 15-18, 1981.

CORTEZ, G. E. P. **Cultivo de alface em hidroponia associado à criação de peixes**. Jaboticabal, SP, 1999. 75f. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agronômica e Veterinária, Universidade Estadual Paulista.

DA SILVA, E. T.; SCHWONKA, F. Comportamento da temperatura do ar sob condições de cultivo em ambiente protegido. In: **XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola,** CONBEA, 2000.

DUNCAN, G. A.; LOEWER, O. L.; COLLIVER, D. G. Simulation of energy flows in a greenhouse: magnitudes and conservation potencial. **Transactions of the ASAE**. St Joseph, Michigan, 1981.

EHLER, N.; KARLSEN, P. OPTICO - a model based real-time expert system for dynamic optimization of CO_2 enrichment of greenhouse vegetable crops. **Journal of horticultural science**, 68, p. 485-494, 1993.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas:** princípios e perspectivas. Tradução por E. Malavolta. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos; São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1975, 344p. Tradução de: Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. 1st Edition.

FANG, W. Greenhouse cooling in subtropical regions: Greenhouse Environment Control and Automation. **Acta Horticulturae**, 399, p. 37-47, 1995.

FRISINA, V. A.; ESCOBEDO, J. F. Balanço de radiação e energia da cultura de alface em estufa de polietileno. **Revista pesquisa agropecuária brasileira,** Brasília, DF, v.34, n.10, p.1775-786, outubro, 1999.

FURLAN, R.A. et al. Efeito do manejo de cortinas no resfriamento do ar em ambiente protegido. In: **XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Fortaleza, CE, 2000.

FURLANI, P.R. **Soluções nutritivas para o cultivo hidropônico**: composição, química e manejo. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1998, 15p.

GAUDREAU, L. et al. Photoperiod and photosynthetic photon flux influence growth and quality of greenhouse-grown lettuce. **Hort. Science**, vol. 29(11), 1285-1289,november 1994.

GOMES, T. M.; SILVA, E.F. de F.; BOTREL, T. A. Concentrações iônicas na solução do solo e na alface, sob diferentes doses de CO_2 via água de irrigação. In: **XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Fortaleza, CE, 2000.

GRAZIANO DA SILVA, J. **A propósito de diagnóstico de insuficiência da oferta de produtos agrícolas**. Campinas, SP. Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 1986, 11p. mimeo (Notas para discussão).

HANAN, J. J. The influence of greenhouse on internal climate with special reference to Mediterranean regions. Protected Cultivation of vegetables. **Acta Horticulturae,** 287, p. 23-34, 1990.

HANSEN, J.M. et al. Decreasing the environmental load by photosynthetic based system for greenhouse climate control. International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems - Automation, Culture and Environment. **Acta Horticulturae**, 440, 26-29 August 1996.

HASLAM, J. A.; SUMMERS, G. R.; WILLIAMS, D. **Engineering instrumentation and control**. London, England, 1981.

HOFFMAN, R. **Estatística para economistas**. São Paulo. Livraria Pioneira Editora, 1980, 379p.

HOFFMANN, R. et al. **Administração da empresa agrícola**. Editora Pioneira, São Paulo - SP, 1978.

HOPEN, H.J.; OEBKER, N.F. Mulch effects on ambient carbon dioxide levelsand growth of several vegetables. **HortScience**, v.10, n.2, 1975.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Anuário estatístico**. São Paulo : IEA/SAASP. Capturado em 03 jan. 2001. Disponível na Internet http://www.iea.sp.gov.br/publica.htm

JEWETT, T. J.; SHORT, T. H. Computer control of a five-stage greenhouse shading system. , **American Society Agricultural Engineers.** St Joseph, Michigan, 1992.

JIN, J. Y.; HONG, S. H. Online measurement and control of plant growth – development of CO_2 control algorithm. **American Society Agricultural Engineers.** St Joseph, Michigan, 1993

JOHNSON, C. D. **Process control instrumentation technology**. 5ª edição. University of Houston, New Jersey, USA, Editora Prentice-Hall International, 1997.

JONES Jr, J.B. Hidroponics: its history and use in plant nutrition studies. **J. Plant Nutr**., v.5, n.8, p.1003-1030, 1982.

JONES, J. W. et al. Modeling tomato growth for optimizing greenhouse temperatures and carbon dioxide concentrations. Modeling in protected cultivation. **Acta Horticulturae**, 248, 1989.

JONES, P. et al.. Greenhouse environment control using a tomato model. **American Society Agricultural Engineers**. St Joseph, Michigan, 1988.

JONES, P. et al. Dynamic computer control of closed environment plant growth chambers. Design and verificaton. **Transactions of the ASAE**. St Joseph, Michigan, , 1984.

JONES, P.; JONES, J. W.; Y, HWANG. Simulation for determining greenhouse temperatures setpoints. **Transactions of the ASAE**. St Joseph, Michigan, USA, 1990.

JUNIOR, M.J. DE A.; LIMA, A. M. DE. Uso de sombreamento em estufa coberta com polietileno e com ventilação natural: Efeitos sobre variáveis climáticas. In: **XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Fortaleza, CE, 2000.

KAI, E. S.; DA SILVA, I.J.O.; PIEDADE, S. M. S. Avaliação do microclima gerado no interior de estufas cobertas com PEBD e PVC na região de Piracicaba, SP. In: **XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Fortaleza, CE, 2000.

KIMBALL, B. A.; ENOCH, H. Z. **Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops**. **Status and CO_2 Sources**. Volume (I), Editora CRC Press, Boca Raton, Florida U.S.A., 1986.

KIMBALL, B. A.; ENOCH, H. Z. **Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops. Physiology, yield and economics**. Volume (II), Editora CRC Press, Boca Raton, Florida U.S.A., 1986.

KIMBAL, B. A.; MITCHEL, S.T. Tomato yields from CO_2 - enrichment in unventilated and conventionally ventilated greenhouses. **J. Amer. Soc. Hort. Sci**., v.104, n.4, p.515-520, 1979.

KOEFENDER, V. N. **Crescimento e absorção de nutrientes pela alface em fluxo laminar de solução**. Piracicaba, SP, 1996. 85f. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

KORTHAUS, R. L.; CHRISTIANSON, L. L.; KNIGHT, S. Greenhouse modeling environment control. **American Society Agricultural Engineers**. St Joseph, Michigan, 1989.

LANGHANS, R.W. **A growth chamber manual - Environmental control for plants**. Cornell University Press, New York, USA, 1978.

MARSH, L. S. ; ALBRIGHT, L. D. Economically optimum day temperatures for greenhouse hydroponic lettuce production. Part - I: A computer model. **Transactions of the ASAE**. St Joseph, Michigan, v.34, n. 2 , 1991.

MARTINEZ, E. P. **Formulações de soluções nutritivas para cultivos hidropônicos comerciais**. Editora Afiliada. Faculdade de Ciências Agronômica e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, 1997.

MARTINEZ, E. P. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**, (Cadernos didáticos), Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, Viçõsa, MG, 1999.

MARTINEZ, P. F. The influence of environment conditions of mild winter climate on the physiological behavior of protected crops. Protected Cultivation in Mild Winter Climates III. **Acta Horticulturae 357**, p. 29-48, 1994.

MOE, R.; MORTENSEN, L. M. CO_2 enrichment in Norway, in KIMBALL, B. A. ; ENOCH, H. Z. **Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops**. Status and CO_2 Sources volume (I), Editora CRC Press, Boca Raton, Florida U.S.A., 1986.

MONTEIRO, J.E.B.A.; DA SILVA, I.J.O.; PIEDADE, S.M. Uso dos plásticos perfurados na modificação da ambiência de túneis baixos. In: **XXIX Congresso de Engenharia Agrícola**, Fortaleza, CE, 2000.

MONTERO, J. I. et al. The influence of various water evaporation systems in the greenhouse environment. **American Society Agricultural Engineers**. Orlando, Florida, June 21-24, 1981).

O que é a hidroponia? Eng. Agr. Ruy Roberto do Carmo Júnior. Capturado em junho de 2000. Disponível na Internet http:// www.hidropônica.cjb.net.

OKUSHIMA, L.; SASE, S.; NARA, M. **A support system for natural ventilation design of greenhouses based on computational aerodynamics**. Ibaraki, Japan, (sem data).

PRADOS, N.C. **Contribucion al estúdio de los cultivos enarenados em Almeria: necessidades hídricas y extración del nutrientes del cultivo de tomate de crescimento indeterminado en abrigo de polietileno**. Almeria, Espanha, Tese de Doutorado, 1986.

REILLY, Al. Temperature, humidity, ventilation, and cooling: pratical aplication. In: **Greenhouse systems - automation, culture, and environment**. New Brunswick: NRAES, p. 176-188, 1994. (NRAES, 1972)

RESH, H. M. **Hydroponic food production**: **a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower**. Santa Barbara: Woodbridge Press Publishing Company, 1997.

SALLES, J. T. A. de O. **Comercialização de hortigranjeiros na CEASA-Campinas (1981-1990)**. Campinas, SP, 1991. 195f. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

SGANZERLA, E. **Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com os plásticos**. Petroquímica Triunfo, Porto Alegre, RS, 1987.

SIGHIERI, L.; NISHINARI, A. **Controle automático de processos industriais** - Instrumentação. 2ª.Edição. Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1973.

SIGRIMIS, N.; RERRAS, N. A linear model for greenhouse control. **Transactions of the ASAE**. St Joseph, Michigan, 1996.

TAKAKURA, T. et al. Feedforward control for a floor heat greenhouse. **Transactions of the ASAE**. St Joseph, Michigan, USA, 1994.

TIBBITTS, T. W. Humidity. In: LANGHANS, R.W. **A growth chamber manual - Environmental control for plants**. Cornell University Press, New York, USA, p. 57-79. 1978.

TING, K. C. et al. Engineering economy of controlled environment for greenhouse production. **Transactions of the ASAE**. St Joseph, Michigan, 1989.

TRIGUI, M.; GAUTHIER, L.; BARRINGTON, S. Measuring and modeling greenhouse mass balance. **American Society Agricultural Engineers**. St Joseph, Michigan, 1993.

VAN HENTEN, E. J. Validation of a dynamic lettuce growth model for greenhouse climate control. **Agricultural Systems**, England, 1994.

VAN MEURS, W. Th. M.; VAN HENTEN, E. J. An experiment on the optimization of CO_2 in greenhouse climate control. Solamacea in Mild Winter Climates II. **Acta Horticulturae**, 366, p. 201-208, 1994.

VOGEL, G.; HEIBNER, P.; KLÄRING, P. Ways and possibilities for automatic control of plant growth and yield formation processes and computer-aided soil and crop management in vegetable production**.** Growth ; Yield control in vegetable production. **Acta Horticulturae**, 260, 1989.

WALKER , P. N.; LANZANS, S. S.; BRADEN , J. B. Surface heated greenhouse: algorithms for modulating flow. **Transactions of the ASAE**. St Joseph, Michigan, , 1983.

WITTWER, S. H. Worldwide status and history of CO_2 enrichment - an overview, in KIMBALL, B. A. ; ENOCH, H. Z. **Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops**. Status and CO_2 Sources, volume (I), Editora CRC Press, Boca Raton, Florida U.S.A., 1986.

YANG, X. et al. The microclimate and transpiration of a greenhouse cucumber crop. **American Society Agricultural Engineers**. St Joseph, Michigan, 1989.