

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FREQÜÊNCIA DE AMOSTRAGEM DE PLANTAS DE
ALFACE HIDROPÔNICA PARA AJUSTE DE CURVAS
DE CRESCIMENTO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Paula Machado dos Santos

**Santa Maria, RS, Brasil
2006**

**FREQÜÊNCIA DE AMOSTRAGEM DE PLANTAS DE
ALFACE HIDROPÔNICA PARA AJUSTE DE CURVAS DE
CRESCIMENTO**

por

Paula Machado dos Santos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de
concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de
Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Sidinei José Lopes

Santa Maria, RS – Brasil

2006

Santos, Paula Machado dos, 1980-

S237f

Freqüência de amostragem de plantas de alface hidropônica para ajuste de curvas de crescimento / por Paula Machado dos Santos ; orientador Sidinei José Lopes. – Santa Maria, 2006.
80 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2006.

1. Agronomia 2. Fitomassa 3. Regressão não linear 4. Área foliar 5. Alface I. Lopes, Sidinei José, orient. II. Título

CDU: 635.52-158.92

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a
Dissertação de Mestrado

**FREQÜÊNCIA DE AMOSTRAGEM DE PLANTAS DE ALFACE
HIDROPÔNICA PARA AJUSTE DE CURVAS DE CRESCIMENTO**

elaborada por
Paula Machado dos Santos

como requisito para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Sidinei José Lopes, Dr. (Presidente/ Orientador)

Lindolfo Storck, Dr. (UFSM)

Adriano Mendonça Souza, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 22 de fevereiro de 2006.

“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada.
Caminhando e semeando, no fim terás o que colher.”

Cora Coralina

**Dedico a meus pais, Paulo e Rosângela
pelo constante exemplo de vida e por me
ensinarem o valor do trabalho, da
persistência, da honestidade e do caminho
da vitória.**

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Meu Deus, pela vida que me deste, pelos caminhos que me acompanhou, pelas vitórias alcançadas e pela certeza da vida eterna.

Aos meus pais, Paulo e Rosângela, por tudo, muito mais do que dessa dissertação, a vida, o amor, o carinho, o cansaço, incansáveis que foram o suporte, o ensino, eu caráter, minha experiência de vida... ora, essa dissertação é pequena para esse agradecimento.

Ao professor Dr. Sidinei José Lopes pela orientação, amizade que caracterizou nosso trabalho, empenho e disposição para os momentos de ensinamentos de fundamental contribuição para minha formação profissional, e pelo apoio e bom humor constante.

Ao professor Lindolfo Storck, sem o qual eu jamais seria ou estaria realizando este sonho, mais que amigo, como um pai.

Aos professores Alessandro Dal'Col Lúcio, Osmar Santos pela amizade e convivência enriquecedora, além de muito contribuir para a realização deste trabalho.

À minha família, apoio incessável para todos os momentos, ao Eric pelo bem que faz ao meu coração e seu companheirismo, aos amigos pela compreensão e paciência na minha ausência.

Aos colegas pela companhia no setor de Experimentação Agrícola, que suportaram meu ritmo, mas que também me fizeram rir muito, e muito mais me ajudaram na execução dos experimentos. Luís Fernando, Henrique, Betânea, Valdecir, Vilson e Vilnei. Também agradeço a minha amiga, Carine, que me acompanhou em todos os experimentos realizados, incessantemente, sempre ao meu lado. Companheira de muitos problemas, mas também de muitas descobertas, de muitas análises e de muitos resultados.

Aos amigos Thomas, Melissa, Sandra e Luciane pelo companheirismo e ajuda incansável para a realização de tantos trabalhos.

Aos colegas de pós-graduação pela amizade, especialmente à Clarissa, Léo, Luciane, Ricardo e todos que estiveram sempre próximos.

À Universidade Federal de Santa Maria, instituição que me acolheu desde o segundo grau. E, especialmente, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela realização do curso de Mestrado.

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

Aos dedicados funcionários do departamento de Fitotecnia Elenice, Adriana, João e Bibliotecários Sr. Luís e Salete pelo agradável convívio e constante solicitude.

Aos colegas de profissão Clarissa, Aline, Benjamim, Luís Fernando, Adriano, Rosane, Mônica, Átila, Rafael, Léo, Sérgio, Sandra, Angélica, Alessandra, para sempre amigos.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

FREQÜÊNCIA DE AMOSTRAGEM DE PLANTAS DE ALFACE HIDROPÔNICA PARA AJUSTE DE CURVAS DE CRESCIMENTO

AUTORA: PAULA MACHADO DOS SANTOS

ORIENTADOR: SIDINEI JOSÉ LOPES

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 22 de fevereiro de 2006.

Durante o crescimento da planta de alface é necessária uma seqüência de várias coletas de amostras até a maturação de colheita para construção de curvas de crescimento, porém, a freqüência em que se coletam amostras é limitada, principalmente quando o experimento é realizado em ambientes controlados. Para isso, buscou-se reduzir o efeito destrutivo de amostragens sem comprometer a precisão dos experimentos determinando-se a freqüência de amostragem de plantas de alface em hidroponia para o ajuste de curvas de crescimento. Foram realizados dois experimentos em estufa plástica nas estações de primavera e outono, no período de 20/09/2004 a 12/01/2005 e 27/02/2005 a 20/07/2005, respectivamente, em área pertencente ao Departamento de Fitotecnia, na UFSM, Santa Maria, RS. A partir do ajuste do modelo de amostragem diária, simularam-se diferentes freqüências de amostragem. Para encontrar a freqüência ideal de amostragem, foi comparado o modelo de amostragem diária com os modelos das diferentes amostragens simulados, dois a dois, pelo teste de F em nível de 5% de probabilidade de erro, utilizando-se os quadrados médios do erro da análise de regressão não linear, ponderados pelos respectivos graus de liberdade. Foram realizadas simulações considerando apenas o período vegetativo e ciclo completo (transplante até produção de sementes), para variáveis de fitomassa seca da planta e de partes da planta e área foliar. Em experimentos realizados com alface hidropônica na primavera, para o ciclo completo, devem ser realizadas amostragens a cada 3, 8, 20 e 9 dias para fitomassa seca relativa total da planta de alface, de folhas, de raiz e área foliar, respectivamente; enquanto que, para o período vegetativo, deve ser a cada 2, 2, 4 e 1 dias, respectivamente. Para o ciclo completo, utilizando-se as variáveis fitomassa seca relativa total, de folhas, de raiz e área foliar relativa em experimentos realizados no outono é recomendável utilizar freqüências de amostragens a cada 2, 11, 12 e 11 dias, respectivamente; e, para o período vegetativo, de 2, 3, 4 e 1 dias, respectivamente.

Palavras-chave: fitomassa, regressão não linear, área foliar.

ABSTRACT

Master Dissertation
Post-Graduate Program in Agronomy
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

HIDROPONIC LETTUCE SAMPLING FREQUENCY TO ADJUST GROWTH CURVES

Author : Paula Machado dos Santos

Adviser: Sidinei Jose Lopes

Place and data of defese : Santa Maria, February, 2006.

In order to construct growth curves is necessary a sequence of many samples taken during lettuce growth period. However, mainly when the trial is made in a controlled environment, sampling frequency is limited. This work was carried out with the aim to reduce sampling destruction effect without change the result precision. Two field trials were made in a controlled environment, during two season, spring (09/20/2004 a 01/12/2005) and autumn (02/27/2005 a 07/20/2005), in the UFSM experimental area, Santa Maria, RS. Different sampling frequencies were simulated, using the adjust of diary sampling model. Optimum sampling frequency was made by comparing daily sampling model with simulated sampling model, in twos, by F test ($p < 0,005$), using the error mean square of non linear regression analysis, pondered by freedom degrees. Simulations of the following variables: total, foliar, root and foliar area phytomass, were made just considering vegetative period and complete growth period. The result shows that season and period of growth should be taken into account to establish the best sampling frequency. Trials conducted during spring season, with complete growth period, show best results with samples taken in intervals of 3 (total), 8 (foliar), 20 (roots) and 9 (foliar area) days; with vegetative period, samples should be taken in intervals of 2,2,4 and 1 days. Trials conducted during autumn season, with complete growth period, the sample frequency should be of 2, 11, 12 and 11 days; and for vegetative growth, should be 2, 3, 4 and 1 days.

Key Word: regression non linear, phytomass, foliar area.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Composição da solução nutritiva proposta por Castellane & Araújo, 1995. Santa Maria, RS, 2004/2005.....	30
TABELA 2 - Datas de semeadura, transplante ou e colheita, concentração da solução nutritiva de Castellane & Araújo (1995) (SN), estádios de crescimento e desenvolvimento da alface variedade Regina em hidroponia sob ambiente protegido nos experimentos de primavera e outono. Santa Maria, RS, 2004/2005.....	32
TABELA 3 - Variáveis dependentes e procedimento de coleta no i-ésimo dia de amostragem durante o cultivo de alface hidropônica sob ambiente protegido, nos experimentos de primavera e outono. Santa Maria, RS, 2004/5005.....	36
TABELA 4 - Média das temperaturas máximas do ar (T _{máx.}), temperaturas mínimas do ar (T _{mín.}) e temperaturas médias do ar (T média) e amplitudes térmicas respectivas durante o período vegetativo e ciclo completo nos experimentos de primavera e outono em estufa de polietileno com a cultura de alface hidropônica. Santa Maria, RS, 2004/2005.....	42
TABELA 5 - Frequência de amostragem (em dias) recomendada em cada estação de cultivo para as variáveis fitomassa seca relativa total da planta de alface (FSTr _i), de folhas (FSFr _i), de raízes (FSRr _i) e área foliar relativa (AFr _i), para o período vegetativo e ciclo completo em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos. Santa Maria, 2004/2005.....	45

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Parte de uma bancada de produção de alface hidropônica salientando a unidade experimental útil de cinco plantas nos perfis hidropônicos, composto por plantas de bordadura (B) e plantas úteis (A), e o espaçamento (0,25 x 0,25 m) de forma alternada entre as plantas nos orifícios dos perfis.....	32
FIGURA 2 - Variação diária (em dias após o transplante e dia juliano) das temperaturas máximas e mínimas do ar em casa-de-vegetação com cultivo hidropônico de alface, variedade Regina. Experimento de primavera: 5 de outubro de 2004 a 12 de janeiro de 2005; Experimento de outono: 14 de março a 20 de julho de 2005.....	41
FIGURA 3 - Desvio Padrão dos experimentos de primavera (a) e outono (b), segundo os dias após o transplante (DAT) para as variáveis fitomassa seca total (FST), de folhas (FSF) e de raízes (FSR). Santa Maria, RS, 2004/2005.....	43
FIGURA 4 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de primavera.....	46
FIGURA 5 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada quatro dias para o ciclo completo no experimento de primavera.....	46

FIGURA 6 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o período vegetativo no experimento de primavera.....	47
FIGURA 7 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada três dias para o período vegetativo no experimento de primavera.....	47
FIGURA 8 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de primavera.....	48
FIGURA 9 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada nove dias para o ciclo completo no experimento de primavera.....	48
FIGURA 10 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o período vegetativo no experimento de primavera.....	49
FIGURA 11 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada três dias para o período vegetativo no experimento de primavera.....	49

FIGURA 12 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de primavera.....	50
FIGURA 13 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada vinte e um dias para o ciclo completo no experimento de primavera.....	50
FIGURA 14 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o período vegetativo no experimento de primavera.....	51
FIGURA 15 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada cinco dias para o período vegetativo no experimento de primavera.....	51
FIGURA 16 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a área foliar relativa na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de primavera.....	52
FIGURA 17 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a área foliar relativa na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada dez dias para o ciclo completo no experimento de primavera.....	52

FIGURA 18 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de outono.....	53
FIGURA 19 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada quatro dias para o ciclo completo no experimento de outono.....	53
FIGURA 20 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o período vegetativo no experimento de outono.....	54
FIGURA 21 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada três dias para o período vegetativo no experimento de outono.....	54
FIGURA 22 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de outono.....	55
FIGURA 23 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada doze dias para o ciclo completo no experimento de outono.....	55

FIGURA 24 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o período vegetativo no experimento de outono.....	56
FIGURA 25 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada quatro dias para o período vegetativo no experimento de outono.....	56
FIGURA 26 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de outono.....	57
FIGURA 27 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada treze dias para o ciclo completo no experimento de outono.....	57
FIGURA 28 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o período vegetativo no experimento de outono.....	58
FIGURA 29 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada cinco dias para o período vegetativo no experimento de outono.....	58

FIGURA 30 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a área foliar na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de outono.....	59
FIGURA 31 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a área foliar na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada dois dias para o ciclo completo no experimento de outono.....	59
FIGURA 32 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a área foliar na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o período vegetativo no experimento de outono.....	60
FIGURA 33 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a área foliar na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada dois dias para o período vegetativo no experimento de outono.....	60
FIGURA 34 - Frequência de amostragem para modelos de crescimento de alface com diferentes datas para início de coleta de amostras para as variáveis fitomassa seca relativa do total da planta ($FSTR_i$), fitomassa seca relativa de folhas ($FSFr_i$), fitomassa seca relativa de raízes ($FSRr_i$) e área foliar relativa (AFr_i) para o ciclo completo (a) e somente período vegetativo (b) no experimento de primavera. Santa Maria, RS, 2004/2005.....	63

FIGURA 35 - Frequência de amostragem para modelos de crescimento de alface com diferentes datas para início de coleta de amostras para as variáveis fitomassa seca relativa do total da planta ($FSTr_i$), fitomassa seca relativa de folhas ($FSFr_i$), fitomassa seca relativa de raízes ($FSRr_i$) e área foliar relativa (AFr_i) para o ciclo completo (a) e somente período vegetativo (b) no experimento de outono. Santa Maria, RS, 2005.....

64

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Caracterização das variáveis climáticas: temperatura máxima ($T_{máx.}$), mínima ($T_{mín.}$) e média (T_i) do ar, no interior da casa-de-vegetação, durante o experimento de primavera da cultura de alface no período de 5 de outubro de 2004 a 12 de janeiro de 2005. Santa Maria, RS (latitude $29^{\circ}41'25''S$).....

71

APÊNDICE B - Caracterização das variáveis climáticas temperatura máxima (T _{máx.}), mínima (T _{mín.}) e média (T _i) no interior da casa de vegetação durante o experimento de outono da cultura de alface no período de 15 de março de 2005 a 20 de julho de 2005. Santa Maria, RS (latitude 29°41'25"S).....	75
---	----

SUMÁRIO

RESUMO	06
ABSTRACT	07
LISTA DE TABELAS	08
LISTA DE FIGURAS	09

LISTA DE APÊNDICES	15
1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
2.1 A cultura de alface	19
2.2 Ciclo da cultura	20
2.2.1 Crescimento vegetativo	21
2.3 Temperatura e crescimento	23
2.4 Modelos matemáticos para a construção de curvas de crescimento	24
2.5 Amostragem	26
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5. CONCLUSÕES.....	65
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
7. APÊNDICES	71

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população e mudanças no hábito alimentar por parte do consumidor vem aumentando o consumo de hortaliças, o que torna inevitável o aumento de sua produção. Somado a quantidade, ainda existe uma crescente exigência do consumidor em adquirir produtos de qualidade. Além de produzir hortaliças de qualidade e em quantidade, precisa-se manter o fornecimento o ano todo.

A alface (*Lactuca sativa* L.), olerícola tradicionalmente cultivada em quase todo território nacional, de consumo popular na forma de salada, apresenta valor nutritivo, que além de excelente fonte de vitamina A, possui ainda vitaminas do complexo B, assim como cálcio e ferro.

O cultivo comercial de alface pelo sistema hidropônico é uma atividade consolidada e crescente, principalmente nas proximidades das grandes concentrações urbanas, onde a capacidade de produção intensiva em pequenas áreas atende a grande demanda que esses locais apresentam, tanto em quantidade como em qualidade de produtos hortifrutigranjeiros. Além disso, a produção de alface nesse sistema é mais bem controlada do que em campo, com menor dependência das condições climáticas, melhor aproveitamento de insumos, possibilitando a distribuição da produção ao longo do ano, regularizando a oferta e dando oportunidade de produzir em épocas de maior preço. Também é possível atingir mais rapidamente o ponto de comercialização e proporcionar rápido retorno financeiro.

A previsão do momento ótimo da colheita de alface ainda tem como base a data em que se fez o plantio, de acordo com a experiência de anos anteriores. Os índices para a maturação comercial estão geralmente relacionados com o tamanho do produto, embora tenham relação também com o mercado e com as apetências do consumidor, o que implica medidas objetivas a partir de julgamentos por vezes subjetivos. Através da construção de modelos para simulação de crescimento, detecta-se os fatores que possam limitar o crescimento, criando-se a possibilidade de se prever o momento da maturação para colheita.

Em hidroponia, a condição de crescimento da planta é potencial, ou seja, existe um suprimento ótimo de água e nutrientes, prontamente disponíveis, a ocorrência de ervas daninhas, insetos pragas e doenças é altamente controlada. Portanto, a taxa de crescimento é determinada principalmente pela radiação solar e temperatura do ar. Este aspecto torna-se importante principalmente quando se procura desenvolver modelos matemáticos para a simulação de crescimento.

Para desenvolver modelos de crescimento e desenvolvimento da planta de alface são necessárias seqüências de coletas de amostras até a maturação de colheita. Se o cultivo hidropônico depende basicamente da radiação solar e temperatura do ar, a freqüência de amostragem deve ser diferente conforme a disponibilidade destes fatores.

Para o ajuste de curvas de crescimento sob ambientes controlados, o número de coletas de amostras exigidas, restringe, muitas vezes, o número de efeitos de tratamentos a serem estudados, pois em hidroponia, a área experimental é restrita.

Com isso, torna-se importante a determinação da freqüência em que são coletadas as amostras de plantas para melhor representar as curvas de crescimento, buscando reduzir o efeito destrutivo das amostragens, sem comprometer a precisão dos experimentos e evitando o desperdício de tempo e recursos financeiros.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo determinar a freqüência de amostragem de plantas de alface para ajuste de curvas de crescimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura de alface

A alface (*Lactuca sativa* L.), pertencente à família Cichoriaceae, é originária da região do Mediterrâneo e percorreu vários locais até chegar ao Brasil, trazida pelos portugueses.

No Brasil é a hortaliça folhosa mais consumida e, portanto, é considerada como uma das principais espécies cultivadas, tanto do ponto de vista econômico como de consumo. Estando assim a alface entre as hortaliças folhosas de maior comercialização, pela grande aceitação na alimentação humana na forma de salada e servir como fonte de vitaminas A, B1, B2 e C, e sais minerais como cálcio e ferro.

A alface lisa predomina no mercado brasileiro, especialmente nos grandes centros consumidores, com 73% da produção, seguida pelo tipo crespa, com 21%, e dos outros tipos com 6%.

É uma planta herbácea, com caule diminuto, não ramificado, ao qual se prendem as folhas, que são relativamente grandes, podendo ser lisa ou crespa, fechando-se ou não a uma cabeça. Sua coloração varia de verde-amarelada até verde-escura, sendo encontrados tipos com as margens das folhas arroxeadas ou totalmente arroxeadas. As raízes são do tipo pivotante, podendo atingir até 60 cm de profundidade, apresentando ramificações delicadas, finas e curtas. Como planta anual, a fase vegetativa se completa quando atinge o máximo desenvolvimento de suas folhas, fase em que deve ser colhida para o consumo. O ponto de colheita da alface é quando as folhas externas estão bem abertas ou então, baseando-se em dias pós plantio. Em campo, a colheita é feita de quatro a cinco semanas após o transplante. Já em ambientes protegidos, esse índice cai para vinte até no máximo trinta dias para alfaces do tipo lisa e crespa, enquanto as americanas, por possuir um ciclo mais longo, ficam mais uma a duas semanas (Rumy, 2000). A parte reprodutiva (florescimento) exige temperaturas elevadas e fotoperíodo longo (Schimidt *et al.*, 2000).

Como planta de inverno, prefere temperaturas amenas (15 °C) para seu desenvolvimento vegetativo, existindo, no entanto, cultivares que produzem bem no verão. Através do melhoramento genético foram desenvolvidos cultivares mais tolerantes ao calor, e atualmente, é possível seu pleno desenvolvimento em dias mais longos, sem estimular o pendoamento, ou com retardamento de pendoamento, e sem alterar seu sabor original, impedindo o acúmulo de lactato, responsável pelo sabor amargo.

As espécies do gênero *Lactuca* são cultivadas na maioria das zonas temperadas e subtropicais do mundo. O período do ano em que é produzida em cada região depende da temperatura, sendo mais facilmente cultivada em estações relativamente frias à temperaturas moderadas.

Os Estados Unidos é considerado o maior produtor comercial de alface do mundo, sendo que o Estado da Califórnia produz mais alface do que qualquer país do mundo (Ryder, 1998). A Holanda destaca-se entre os demais países produtores por apresentar maior parte da produção de alface principalmente em casas-de-vegetação.

É a espécie de maior expressão no sistema de cultivo sem solo, adquirindo maior ênfase nos cultivos intensivos, como na hidroponia, por ocupar pouco espaço, atingir rapidamente o ponto de comercialização e rápido retorno financeiro (Zito *et al.*, 1994). Além disso, a alface apresenta manejo fácil, ciclo curto de crescimento, alta produtividade, maior número de cultivos por ano e rápido retorno financeiro (Londero *et al.*, 2000).

A alface encontra-se entre as cinco hortaliças de maior movimento financeiro na CEASA (RS), sendo somente menor do que tomate, batata, cebola e cenoura. É a segunda maior em termos de volume comercializado dentre as folhosas, apresentando um montante de 7,72 t comercializadas no ano de 2001 (CEASA, 2002).

2.2 Ciclo da cultura

Ryder (1998) divide a seqüência de desenvolvimento e crescimento da alface em quatro estádios:

a) Mudas: compreende três fases. (i) germinação da semente, com a emissão da radícula que forma a raiz primária; (ii) cotilédones emergem e aumenta de tamanho; e (iii) as primeiras folhas verdadeiras são formadas.

b) Roseta e formação da cabeça: consistem na emissão, expansão e maturação das folhas (em que cada folha emitida é mais larga do que a anterior) até o final da maturidade vegetativa, formando uma roseta ereta ou prostrada. O aumento do diâmetro da planta se dá em grande parte neste estádio.

c) Cabeça: a formação das folhas continua num talo reduzido até o início da fase reprodutiva.

d) Reprodutivo: ocorre em três fases: alongação do talo, florescimento e desenvolvimento da semente. O talo fica mais grosso e permanece por um longo tempo

pequeno antes do florescimento. O aparecimento da inflorescência ocorre após a planta atingir o final da fase vegetativa. O talo alonga, e é produzida uma flor terminal, limitando a altura final da planta, passando então a ramificar-se formando flores secundárias e terciárias. Dependendo da temperatura e da intensidade da luz a flor da alface pode abrir por uma hora ou permanecer aberta por mais tempo, porém, abre somente uma vez, quando se dá a fertilização e num período de até duas semanas para os aquênios amadurecerem.

No caso da alface, sua produção econômica refere-se principalmente ao crescimento vegetativo, que finda com o início do pendão floral. No entanto, o estágio de colheita na fase vegetativa, ainda não possui uma definição de caráter experimental definido. Até então, tem sido tomada a decisão da colheita segundo critérios, tais como: a estação do ano que altera a formação da cabeça ou da fitomassa da planta, e quanto ao tempo para atingir este estágio; a expectativa de mercado: suprimento regular e produtos homogêneos (Lopes, 2002).

Wurr & Fellows. (1991), após vários experimentos utilizando fitomassa de cabeça para estimar a colheita, chegaram à conclusão de que a variável fitomassa de planta não é considerada eficiente como forma de prever o estágio de colheita.

Para definir o estágio de colheita alguns trabalhos determinam uma massa mínima de referência a ser atingida ou então se utilizam da contagem de dias desde a semeadura até o término do experimento. Por não haver uma padronização do estágio de colheita, existe uma dificuldade em comparar resultados ou até mesmo de extrapolá-los.

2.2.1 Crescimento vegetativo

O crescimento de espécies vegetais é representado graficamente por uma curva sigmóide e envolve pelo menos cinco subperíodos: germinação até emergência das plântulas, emergência das plântulas até início da floração, início da floração até final da floração, final da floração até final da frutificação, final da frutificação até maturação das sementes. A duração de cada um dos subperíodos é influenciado pelos fatores genéticos e ambientais: radiação solar, temperatura do ar, umidade do ar, CO₂, que ao interagir entre si determinam o crescimento e o desenvolvimento de cada espécie.

Crescimento é definido como o acréscimo no peso ou volume do total da planta ou de órgãos das plantas através da incorporação de nova fitomassa. E, desenvolvimento é definido como a passagem por consecutivas fases fenológicas; este é caracterizado pela ordem e taxa

que aparecem os órgãos vegetativos e reprodutivos de plantas. Os dois processos, crescimento e desenvolvimento, são fortemente relacionados (Van Keulen & Wolf, 1986).

Em agricultura, a energia solar é conservada para futuro uso via fixação em biomassa pelo processo de fotossíntese. Neste processo o CO_2 do ar é convertido em carboidratos. O processo também é chamado de assimilação de CO_2 . Parte dos carboidratos produzidos é usada para constituir a fitomassa seca de estrutura da planta, como celulose, proteínas, lignina e gorduras, e parte é usada como fonte de energia para os processos da planta. A liberação de energia dos carboidratos produzidos durante o processo de assimilação é chamada de respiração. Subtraindo a taxa de respiração da taxa de assimilação, temos os incrementos na fitomassa seca da planta, isto é, a taxa de crescimento (na abscissa, o tempo).

Para a maioria das espécies, a taxa de crescimento pode ser distinguida em três fases: primeiro, a cultura consiste de plantas individuais que não sobrepõem umas as outras e a taxa de crescimento passa a aumentar; após, a cultura cobre completamente o solo e a taxa de crescimento é constante; e, finalmente, a cultura está na fase de maturação e a taxa de crescimento decresce (Van Keulen & Wolf, 1986).

Na primeira fase, a maior parte dos assimilados é investida em área foliar. Este aumento de área foliar é acompanhado por um proporcional aumento na interceptação de energia, porque as plantas vizinhas são tão pequenas que o sombreamento mútuo quase não existe. O peso de plantas individuais aumenta em uma proporção constante por dia, então conduzindo para um crescimento exponencial. Depois de a cultura fechar a superfície, mais folhas crescem sem conduzir a mais interceptação de luz, conseqüentemente a taxa de crescimento permanece constante e o peso total da planta aumenta linearmente. Na última fase as folhas senescentes levam a um decréscimo na taxa de crescimento.

A maior parte do total de fitomassa seca acumulada se dá durante a segunda fase. O total de matéria seca da cultura é então largamente determinado pela magnitude da taxa de crescimento durante a fase linear e a duração desta fase (Van Keulen & Wolf, 1986).

Para estimar índices fisiológicos, faz-se necessário conhecer a variação temporal da fitomassa seca e do índice de área foliar. Na avaliação da fitomassa seca deve haver uma padronização dos métodos de secagem do material, pois a quantidade de água no tecido vegetal varia com a hora do dia, com as condições ambientais e com o estágio de desenvolvimento da planta. A variação temporal da área foliar em geral aumenta até um máximo, onde permanece por algum tempo, decrescendo em seguida, devido à senescência das folhas velhas. Como a fotossíntese depende da área foliar, o rendimento da cultura será maior

quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo à área foliar permanecer ativa (Pereira & Machado, 1987).

2.3 Temperatura do ar e crescimento

Além de índices relacionados à cultura, Goudriaan (1994) cita que existem importantes fatores climáticos a serem considerados, tais como radiação solar e temperatura do ar.

A temperatura e o comprimento do dia são as condições climáticas que mais influenciam o desenvolvimento fenológico. A alface é classificada como uma planta de dias longos, a qual quando cultivada em condições de fotoperíodo inferior ao crítico pode manter-se por um prazo maior no estágio vegetativo. Todas as cultivares produzem melhor sob temperaturas amenas, inclusive as recomendadas para o cultivo no verão. Temperaturas mais elevadas aceleram o ciclo da cultura, o que resulta em plantas menores, com a formação da cabeça pouco compacta, endurecimento rápido das folhas, que ficam com sabor amargo, além de favorecer a emissão floral e diminuir a produtividade (Filgueira, 2000).

A interação entre a resposta fotossintética de folhas individuais com a disponibilidade de luz que incide sobre elas resulta no rendimento fotossintético da planta (Costa, 1994). Portanto, o rendimento depende do balanço de energia ao nível do dossel da cultura, que por sua vez está relacionado com a temperatura média do ar.

A temperatura do ar tem uma característica de ciclo que vai do mínimo, ao nascer do sol, até um máximo, próximo ao meio dia, podendo ocorrer variações. Conhecendo-se essas temperaturas é possível descrever o ciclo de algumas culturas anuais com boa precisão dependendo do propósito (Goudriaan, 1994).

Em hidroponia, em que as condições de crescimento são potenciais, a fração de repartição da fitomassa seca no incremento de cada órgão é primariamente determinada pelo estágio fenológico da cultura e a sua interação com a radiação solar e a temperatura (Van Keulen & Wolf, 1986).

No cultivo em campo, a cultura de alface passa por dois períodos com condições meteorológicas pouco favoráveis. O primeiro ocorre nos meses de inverno, devido às baixas temperaturas (inferiores a 10 °C) e precipitações pluviométricas prolongadas que retardam o crescimento e danificam as plantas. O segundo período desfavorável ocorre no verão, provocado pelas elevadas temperaturas do ar (acima de 20 °C) e pela elevada radiação solar, que favorecem, sobretudo o pendoamento das plantas (Segovia *et al.*, 1997). Na região de

Santa Maria, a ocorrência das temperaturas mínimas prejudiciais é mais freqüente durante o inverno, mas pode ocorrer também no final do outono e no início da primavera (Estefanel *et al.*, 1978). A fase vegetativa de desenvolvimento da planta é favorecida por temperaturas baixas, 15,5 e 21,5 °C e dias curtos, em torno de 10 horas de luz. Sob estas condições, todas as cultivares produzem comercialmente. Temperaturas amenas são essenciais durante toda a fase vegetativa, especialmente quando produzidas com a finalidade de formar cabeças. As temperaturas noturnas amenas, em torno de 15 °C são as mais importantes. A fase reprodutiva, de interesse para o produtor de sementes, é favorecida por temperaturas de 21 a 25 °C e dias longos, com mais de 12 horas de luz. Todas as cultivares serão induzidas a florescer sob estas condições climáticas.

Para evitar o efeito negativo das baixas temperaturas no período de inverno, o cultivo em ambientes controlados, como túneis e estufas cobertas com filmes de polietileno, propiciam um ganho térmico e conseqüentemente são importantes alternativas para obtenção de maior regularidade na produção no Sul do País.

2.4 Modelos matemáticos para a construção de curvas de crescimento

Quando o desempenho de um sistema é representado matematicamente por equações, temos então um modelo matemático. Este vai definir quantitativamente hipóteses assumidas sobre o sistema real, permitindo deduzir suas conseqüências (Dourado Neto *et al.*, 1998).

A modelagem matemática tem como função interagir os fatores ambientais com a planta, permitindo um estudo mais detalhado no intuito de prever processos de interesse. Segundo Pereira & Machado (1987) o ideal é formular um modelo suficientemente complexo para desenvolver dados originais, sem, no entanto dificultar sua utilização prática. Entretanto, todo modelo matemático é uma simulação do sistema a ser estudado, e por isso, não é possível contemplar todas as variáveis existentes, o que resulta numa previsão não exata da realidade.

A experimentação é indispensável para a determinação dos parâmetros empíricos que constituem os modelos matemáticos.

Uma das principais utilizações destes modelos matemáticos na agricultura é visto na previsão da resposta da planta em certas condições climáticas ou de manejo, o que auxilia basicamente no manejo da cultura, como pode ser exemplificado pelos trabalhos com: feijão (Pimenta *et al.*, 1999) e cana-de-açúcar (Teruel, 1995). A proposição de um modelo matemático é justificável por se tratar de importante instrumento para definição de: população

de plantas, épocas de semeadura, colheita e da utilização de fertilizantes, ou ainda, o momento do ponto de maturidade fisiológica.

A tendência da agricultura moderna é desenvolver modelos para simulação de crescimento, com objetivo de detectar os fatores que possam limitar o crescimento, influenciando no potencial produtivo das espécies. Conseqüentemente, a técnica descreve curvas de crescimento permitindo prever a época de colheita e auxilia na decisão do momento mais conveniente para o procedimento da coleta de amostras de plantas.

A taxa de crescimento da planta é composta por todas as partes da planta e pode ocasionalmente ser dividida para efeito de estimativa do particionamento da fitomassa através de modelos matemáticos.

Funções de crescimento são extensamente aplicadas em pesquisas de ciências biológicas, através de dados experimentais com plantas e estudos com animais (Hunt, 1982; France & Thornley, 1984). O termo função de crescimento geralmente denota uma função analítica que pode ser escrita como uma única equação. Assim uma função de crescimento, pode, por exemplo, ser representada através da variável fitomassa seca $W = f(t)$ onde t é o tempo.

A mais importante mudança na fenologia da planta ocorre na passagem da fase vegetativa à reprodutiva, modificando as trocas na alocação de fitomassa seca entre os órgãos. Essas mudanças morfológicas e também fisiológicas exigem a quantificação precisa dos estádios fenológicos para o funcionamento adequado dos modelos de simulação, sendo a temperatura a variável climática mais importante nos processos de troca na planta (Kropff *et al.*, 1995).

A temperatura do ar é uma das variáveis independentes mais utilizadas em modelos de previsão da variação temporal do acúmulo de fitomassa seca em diversas culturas, inclusive a alface, tanto pela sua facilidade de obtenção quanto pelo seu relacionamento com a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa necessária para a planta completar o ciclo. Silva *et al.* (1999) citam ainda que a temperatura do ar na forma de tempo térmico ($^{\circ}\text{C}.\text{dia}$) é de grande utilidade pela sua independência da época e local de plantio, sendo um “relógio” mais eficiente do que o uso dos dias do calendário civil.

Os modelos agrometeorológicos podem ser estatísticos (onde são testadas correlações entre as variáveis de interesse, isto é, dados de rendimento ou de maturidade das culturas, e as variáveis meteorológicas, consideradas importantes), e determinísticos (onde os processos de

interesse particular são relacionados por um modelo matemático para os fatores do tempo e da planta que os dirigem) (Hume & Callander, 1990).

Por outro lado, o modelo qualitativo é uma importante ferramenta de manejo em sistemas agrícolas. Um exemplo usual é a descrição do ciclo da cultura em estádios fenológicos (fenologia), associando-os com os eventos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem na planta e com as condições edafoclimáticas.

2. 5 Amostragem

Amostragem é o estudo de apenas uma parte dos elementos de um dado grupo. A finalidade da amostragem é obter uma indicação do valor de um ou mais parâmetros de uma população, tais como a média, o desvio padrão populacional, ou a proporção dos itens que possuem determinada característica (Stevenson, 1981). A parcela do grupo examinada é chamada de amostra, e o grupo todo, do qual se extrai a amostra, é designado como população.

Existem vários métodos para extrair uma amostra. A maior parte dos testes estatísticos estudados se baseia na amostragem aleatória.

A amostra aleatória de uma população discreta exige que cada elemento da população tenha a mesma oportunidade de ser incluído na amostra.

Em casos em que a população alvo é finita, há essencialmente duas maneiras de escolher uma amostra aleatória. Um método envolve a compilação de uma lista de todos os elementos da população, aplicando-se então à listagem um método aleatório para selecionar os itens que compõem a amostra. O segundo método é usado quando os elementos da população não são claramente identificáveis, o que torna impossível a listagem (Stevenson, 1981).

A determinação do tamanho de amostra é importante em todos os experimentos científicos, podendo influenciar na precisão dos mesmos. Se a amostra for subdimensionada, os resultados não são confiáveis, e se for grande demais em relação ao tamanho ideal, ocorre desperdício de tempo e recursos financeiros.

Para a utilização dos modelos matemáticos de crescimento e desenvolvimento de plantas existe a necessidade de determinação de seus parâmetros empíricos através de experimentação, com a necessidade de várias amostragens.

No caso de amostragens, em que parte das plantas é destruída, há interferência na população restante. Na análise quantitativa de crescimento de comunidades vegetais, os intervalos de amostragens mais utilizados variam entre 7 e 14 dias (Pereira & Machado, 1987;

Lima, 1995) e de forma empírica. Portanto, o tamanho dos experimentos deve ser em função do número de amostragens necessárias.

Os experimentos conduzidos sob ambientes controlados dispõem de áreas restritas, tornando ainda mais importante a determinação da frequência em que são coletadas amostras de plantas, buscando uma representação eficiente de curvas para análise de crescimento, e, conseqüentemente, reduzindo o efeito destrutivo das amostragens sem comprometer a precisão dos ensaios.

Existe a tendência de coletas semanais para o estudo do crescimento da cultura de alface, porém com a primeira coleta em diferentes números de dias após o transplante. Segovia *et al.* (1997) realizaram um trabalho comparando o crescimento e o desenvolvimento de três cultivares de alface durante o inverno, no interior de uma estufa de polietileno localizada em Santa Maria, RS, coletando quatro plantas por parcela a cada sete dias durante o transcorrer do período experimental. Medeiros *et al.* (2001) também utilizaram coletas semanais para determinar índices de crescimento e desenvolvimento de alface.

Radin *et al.* (2004) analisaram alguns indicadores de crescimento das cultivares de alface Verônica, Marisa e Regina, através de um experimento em estufa de plástico e a campo, de 15/04 a 03/06/99, em Eldorado do Sul, RS. As amostragens das plantas iniciaram-se uma semana após o transplante e prosseguiram semanalmente até o final do ciclo da cultura. Wurr *et al.* (1992) também utilizaram coletas semanais para desenvolver uma técnica de predição do momento em que a cabeça de alface hidropônica alcançasse determinado tamanho ou peso específico.

Com o objetivo de determinar o efeito da idade fisiológica das mudas de alface no momento de transplante sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, Andriolo *et al.* (2003) coletaram cinco plantas de cada tratamento a cada cinco dias a partir dos 25 dias após o transplante.

Enquanto Lopes *et al.* (2004), realizaram amostragem em intervalos diferentes, com frequências de amostragens menores nas fases iniciais e finais (lento ou nenhum crescimento), e maior frequência durante as fases intermediárias de crescimento e desenvolvimento da planta de alface, buscando propor modelos que caracterizassem a variação temporal na fitomassa seca de folhas e total da cultura de alface hidropônica, bem como determinar a época de florescimento e de máxima taxa de acúmulo de fitomassa seca em função do desenvolvimento

relativo da cultura (graus-dia relativo), radiação solar e graus-dia efetivo, realizaram dois experimentos (primavera e outono), conduzidos em ambiente protegido em Santa Maria, RS.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Aspectos Gerais

Foram conduzidos dois experimentos sob ambiente controlado, em casa-de-vegetação do Núcleo de Pesquisa em Ecofisiologia e Hidroponia (NUPECH) do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, localizada no município de Santa Maria, RS, apresentando como coordenadas geográficas: 53°48'42" (latitude oeste); 29°41'25" (latitude sul); e, 95 m de altitude.

O clima da região é subtropical úmido: invernos úmidos, temperaturas baixas e alta nebulosidade, segundo a classificação climática proposta por Köppen, é do tipo Cfa. Os valores médios anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar são, respectivamente: 1769 mm, 19,2 °C e 82%.

Os experimentos foram conduzidos sob o sistema NFT de cultivo em hidroponia, em bancadas de perfis hidropônicos (Hidrogood®) sob estufa plástica de 10 x 25 m, com piso de concreto, modelo arco (Ohse, 1999), coberta com policloreto de vinil (PVC) plastificado e com espessura de 0,0002 m, aditivado contra raios ultravioletas.

Os nutrientes da solução nutritiva foram quantificados para uma solução de 2000 L e 500 L, proposta por Castellane & Araújo (1995). A entrada da solução nutritiva foi realizada por dois conjuntos moto-bomba, um com potência de 1,5 CV e frequência de 60 Hz, conectado ao reservatório de 2000 L e à entrada da solução nutritiva de seis bancadas por tubos de PVC soldáveis de 0,25 m, e um segundo conjunto moto-bomba com potência de 0,5 CV e frequência de 60 Hz, conectado ao reservatório de 500 L e à entrada da solução nutritiva de duas bancadas. A circulação da solução nutritiva era automatizada por um temporizador ou "timer", que permitiu o funcionamento do sistema durante o dia, com 15 minutos em funcionamento e 15 minutos desligado (das 8 h as 20 h no experimento que teve início em setembro de 2004; e, das 8 h as 19 h no experimento que teve início em fevereiro de 2005); e, à noite, 15 minutos funcionando e 2 h desligado, durante todo o ciclo da planta nos dois experimentos.

Os nutrientes que compuseram a solução nutritiva foram quantificados para uma solução de 2000 L e outra de 500 L, relacionados na Tabela 1.

O desnível das bancadas possibilitou o retorno da solução nutritiva por gravidade dos perfis hidropônicos até o reservatório, de onde a moto-bomba redistribuiu a mesma para os perfis.

Tabela 1 - Composição da solução nutritiva proposta por Castellane & Araújo (1995). Santa Maria, RS, 2004/2005.

Nutrientes	Reservatório de 2000 L (g)	Reservatório de 500 L (g)
Nitrato de Cálcio	1.900	475
Fosfato Monobásico de Potássio	544	136
Nitrato de Potássio	1.800	450
Sulfato de Magnésio	492	123
Sulfato de Manganês	3,40	0,85
Sulfato de Zinco	2,30	0,57
Sulfato de Cobre	0,38	0,09
Ácido Bórico	5,7	1,42
Molibdato de Sódio	0,24	0,06
Ferro EDTA *	2 L	0,5 L

* Utilizou-se Ferro-EDTA como fonte de ferro, através da dissolução de 24,1 g de sulfato de ferro em 400 ml de água e 25,1g de sódio-EDTA em 400 ml de água quente (80 °C), misturando-se as duas soluções frias, completando o volume para um litro.

A variedade de alface cultivada foi a Regina, do tipo lisa, indicada para plantio durante todo o ano, principalmente no período de verão. As folhas são lisas, soltas, de coloração verde-clara, com tamanho grande. Apresenta resistência ao pendoamento precoce e ao ataque do vírus mosaico da alface.

3.2 Manejo da Cultura

Em ambos os experimentos, as mudas foram produzidas em placas de espuma fenólica para germinação. Em cada célula realizou-se um orifício central para realizar a semeadura de uma semente por célula. Antes de proceder a semeadura, a espuma fenólica passou por um processo de lavagem, ficando acondicionada em recipientes com água durante duas horas, para evitar que resíduos químicos de sua fabricação prejudicassem a germinação. Durante o período

que compreendeu a semeadura, germinação e formação de plântulas (até três folhas mais as duas folhas cotiledonares) as espumas foram acondicionadas em um berçário de fibrocimento, medindo 3 x 4 m, sob estufa plástica. A solução nutritiva utilizada para o berçário foi segundo Castellane & Araújo (1995), de concentração de 50% do total recomendado para um recipiente de 500 L de água, via sistema NFT. A frequência de irrigação foi inicialmente de quatro turnos (7, 11, 15 e 19 h) de duração de 15 minutos cada turno. Aumentou-se gradualmente para seis turnos (7, 9, 12, 15, 18 e 21 h) segundo as necessidades da planta e a temperatura do ar.

Quando as plantas completaram quatro a cinco folhas totalmente abertas mais as duas folhas cotiledonares foi realizado o transplante das mesmas para bancadas com perfis médios, cada um com orifícios de 0,05 m de diâmetro espaçados em 0,25 m dentro dos perfis e 0,25 m entre plantas de perfis vizinhos, totalizando 450 plantas úteis para a coleta de amostras, dispostas de forma alternada entre os canais (Figura 1), com 100% da solução nutritiva, quando iniciou a contagem do número de dias após o transplante (DAT).

O manejo teve ainda a reposição de água para completar o volume total; a leitura e ajuste do pH da solução nutritiva; e, a leitura dos valores da condutividade elétrica, que foram realizados a cada 48 horas durante o ciclo da cultura nos dois experimentos. Quando os valores de pH estiveram fora do intervalo ideal de $6,0 \pm 0,2$ (FAO, 1990), ajustou-se para este intervalo com a adição de NaOH para sua elevação e de H₂SO₄ para sua redução.

A leitura da condutividade elétrica da solução nutritiva objetivou verificar o limite mínimo para a troca total da solução, que foi estabelecido em aproximadamente $1,4 \text{ mS cm}^{-1}$.

No estágio de emissão do talo, fez-se necessário realizar o tutoramento individual das plantas, para facilitar o manejo e propiciar um ambiente favorável para o crescimento da planta até o final do ciclo. Utilizando-se de fitilhas de nylon, que eram amarradas na base do talo e enroladas até a extremidade apical, as plantas foram suspensas por fios de arame, fixados na altura do pé direto da estufa.

Para controlar o ataque do fungo *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.), foram realizadas pulverizações a cada quatro dias com fungicida sistêmico Sumilex[®], até o desaparecimento dos sintomas. Algumas plantas doentes foram descartadas para diminuir o nível de infecção do sistema de cultivo.

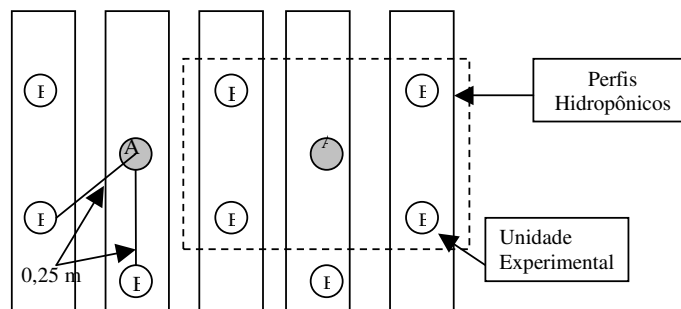


Figura 1 – Parte de uma bancada de produção de alface hidropônica salientando a unidade experimental útil de cinco plantas nos perfis hidropônicos, composto por plantas de bordadura (B) e plantas úteis (A), e o espaçamento (0,25 x 0,25 m) de forma alternada entre as plantas nos orifícios dos perfis.

Tabela 2 - Datas de semeadura, transplante ou e colheita, concentração da solução nutritiva de Castellane & Araújo (1995) (SN), estádios de crescimento e desenvolvimento da alface variedade Regina em hidroponia sob ambiente protegido nos experimentos de primavera e outono. Santa Maria, RS, 2004/2005.

Datas	Descrição	Estádio	SN (%)
Primavera			
08/set/04	Semeadura – berçário	2 a 3 folhas ¹	50
05/out/04	Transplante – perfis médios	4 a 5 folhas	100
12/jan/05	Colheita	Plantas com 50% dos aquênios maduros	100
Outono			
22/fev/05	Semeadura – berçário	2 a 3 folhas ¹	50
15/mar/05	Transplante – perfis médios	4 a 5 folhas	100
20/jul/05	Colheita	Plantas com 50% dos aquênios maduros	100

* Contagem das folhas totalmente abertas, sem contabilizar as folhas cotiledonares.

3.3 Técnicas experimentais

Cada unidade experimental foi composta de cinco plantas (Figura 1), sendo coletada a planta central, desprezando-se as quatro plantas das extremidades. Cada planta útil foi numerada, e no momento do transplante para os perfis médios montou-se um croqui do experimento com a localização de cada unidade experimental para a realização do sorteio de três amostras diárias, ou seja, diariamente coletaram-se três plantas úteis, desprezando-se as bordaduras. As coletas eram realizadas as 8 h da manhã, sendo cada planta separada em partes: raiz, talo, folhas verdes e folhas senescentes (quando existentes), e retirados discos foliares, acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa (65 °C e 0% de umidade relativa do ar) até massa constante. Foi realizada a contagem de folhas verdes e senescentes de cada planta.

A amostragem realizada desde o primeiro DAT até a colheita foi a mesma, ou seja, três plantas coletadas por dia. A partir desta frequência de amostragem diária ajustaram-se curvas de crescimento com o auxílio do programa computacional Table Curve 2D v.2.03 (Jandel Scientific). Além da amostragem em todos os dias do ciclo da planta, considerada como padrão de comparação, foram simuladas diferentes frequências de amostragem com intervalos constantes, desde intervalos de um dia até 25 dias.

Para encontrar a frequência ideal de amostragem, foi comparado o modelo de crescimento com amostragem diária com os modelos de diferentes amostragens simulados. A comparação foi realizada dois a dois, pelo teste de F, em nível de 5% de probabilidade de erro, com os quadrados médios do erro da análise de regressão não linear ponderados pelos respectivos graus de liberdade. Foi considerada a frequência de amostragem ideal, aquela de maior intervalo possível entre a coleta de amostras que não diferisse significativamente da frequência de amostragem diária.

As simulações das frequências de amostragens foram realizadas nos conjuntos de dados de cada época, simulando também o início das coletas com o primeiro, segundo, terceiro, quarto, quinto, sexto e sétimo DAT, com a finalidade de servir como repetições para cada frequência de amostragem simulada.

Todas as simulações foram realizadas para cada época de cultivo (primavera e outono); para cada variável coletada (da planta); e, no ciclo completo (vegetativo e reprodutivo) e somente para o período vegetativo.

3.4 Determinações referentes à planta: variáveis dependentes

3.4.1 Crescimento

As determinações referentes ao crescimento das plantas nos experimentos em hidroponia foram: número de folhas por planta; fitomassa seca de folhas (FSF_i); de talo ($FSTalo_i$); das raízes (FSR_i); de discos; e, de discos (FSD_i).

A partir da soma dos diferentes compartimentos da planta avaliados em cada experimento, bem como, da fitomassa seca de discos, obteve-se a fitomassa seca total (FST_i) por planta no i -ésimo dia de amostragem, seguindo as equações abaixo para os experimentos de primavera e outono:

$$FST_i = FSR_i + FSTalo_i + FSF_i + FSD_i \quad (1)$$

Para ambos os experimentos, foi calculada a fitomassa seca total relativa ($FSTr_i$), no i -ésimo dia de amostragem, como segue:

$$FSTr_i = \frac{FST_i}{FST_n} \quad (2)$$

em que: FST_n = fitomassa seca total no n -ésimo (último) dia de amostragem (kg m^{-2}).

A fitomassa seca de folhas relativa ($FSFr_i$) foi calculada como segue:

$$FSFr_i = \frac{FSF_i}{FSF_{máx}} \quad (3)$$

em que: $FSF_{máx}$ se refere à fitomassa seca de folhas máxima observada nas amostragens durante o ciclo da cultura.

A fitomassa seca relativa de raízes ($FSRr_i$) foi calculada como segue:

$$FSRr_i = \frac{FSR_i}{FSR_{máx}} \quad (4)$$

em que: $FSR_{máx}$ se refere à fitomassa seca de raízes máxima observada nas amostragens durante o ciclo da cultura, sendo a FSR_i a fitomassa seca de raízes no i -ésimo dia de amostragem.

A fitomassa seca de discos foi utilizada para estimar a área foliar através da seguinte equação:

$$AF_i = \frac{(AD * ND_i) * (FSF_i + FSD_i)}{FSD_i} \quad (5)$$

em que: AF_i se refere à área foliar no i -ésimo dia de amostragem, em cm^2 ; AD , à área de um disco; ND_i , ao número de discos coletados no i -ésimo dia de amostragem; FSF_i , à fitomassa seca de folha no i -ésimo dia de amostragem, em kg.m^{-2} ; e, FSD_i , à fitomassa seca de discos no i -ésimo dia de amostragem, em kg.m^{-2} .

3.4.2 Determinação referente ao ambiente: variável independente

Com os valores de temperatura média diária do ar, calculou-se o índice térmico ou soma calórica (GD_i em $^{\circ}\text{C.dia}$).

$$GD_i = \sum_{i=1}^{ni} (\bar{T}_i - T_{BI}) \quad (6)$$

O crescimento relativo da cultura (Cr) em função de graus-dia acumulado [$Cr(GD)_i$] foi obtido através da seguinte equação (se: $T_{BI} > \bar{T}_i$, então: $T_{BI} = \bar{T}_i$):

$$Cr_{(GD)_i} = \sum_{i=1}^{ni} (\bar{T}_i - T_{BI}) / GD_{pmf} \quad \text{com: } 0 \leq Cr_{(GD)_i} \leq 1 \quad T_{BI} \leq \bar{T}_i \quad (7)$$

$$\bar{T}_i = \frac{T_{máx_i} + T_{mín_i}}{2} \quad (8)$$

em que: \bar{T}_i se refere à temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); $T_{máx_i}$ e $T_{mín_i}$, às temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) máxima e mínima do ar; GD_{pmf} , ao índice térmico da cultura correspondente ao ponto de maturidade fisiológica ($^{\circ}\text{C.dia}$); T_{BI} , à temperatura basal da cultura de alface (10°C , Brunini *et al.*, 1976).

A temperatura do ar foi verificada diariamente às 18 horas, em um termômetro de máxima e mínima, localizado à altura de 1,50 m.

Tabela 3 - Variáveis dependentes e procedimento de coleta no i-ésimo dia de amostragem durante o cultivo de alface hidropônica sob ambiente protegido, nos experimentos de primavera e outono. Santa Maria, RS, 2004/2005.

Variável Dependente	Procedimento de coleta
Fitomassa ¹ seca de folhas (FSF _i)	Foram destacadas as folhas verdes e senescentes com comprimento maior do que 0,05 m, e após secagem, foram pesadas em balança analítica de precisão igual a 0,001 g.
Fitomassa seca de raízes (FSR _i)	As raízes foram cortadas na base do talo, e após secagem, foram pesadas em balança analítica de precisão igual a 0,001 g.
Fitomassa seca de talo (FSTalo _i)	Cortou-se na base da planta, onde não havia mais inserção de raízes e destacou-se as folhas, e após secagem foram pesados em balança analítica de precisão igual a 0,001 g.
Fitomassa seca de discos (FSD _i)	Foram extraídos de todo limbo foliar das plantas amostradas com um perfurador de diâmetro 0,018 m, e após secagem foram pesados em balança analítica de precisão igual a 0,001 g.
Número de discos (ND _i)	Foram extraídos e contados um número de discos proporcional ao número e tamanho das folhas, até um limite de 50 discos por planta.

¹ todas as partes da planta coletadas para fins de determinação de fitomassa seca foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa (65 °C e 0% UR) até massa constante.

3.4.3 Desenvolvimento do modelo e simulação

Caracterizou-se a duração do crescimento da planta conforme os graus-dia acumulados (Equação 7), em °C.dia.

O segundo passo constituiu-se do estabelecimento das bases teóricas do modelo empírico pela validação dos valores extremos da variação temporal diária de fitomassa seca relativa total da planta, das raízes, das folhas e área foliar relativa em função do crescimento relativo, caracterizado por graus-dia.

3.4.3.1 Modelo proposto por Dourado Neto (1998)

No período de adaptação ao sistema hidropônico, ou seja, da emergência até a formação das duas primeiras folhas verdadeiras, o crescimento relativo foi considerado igual à zero ($Cr_i = \text{zero}$). A partir do dia de transplante das plantas para os perfis médios (1º DAT), com 100% da formulação original da solução nutritiva, a fitomassa seca de raiz, folha e talo começou a serem amostradas e quantificadas, e com estes valores calculou-se a taxa de acúmulo de fitomassa seca e área foliar em função de graus dia.

Para a fitomassa seca total e de raízes pressupôs-se que seu máximo valor foi alcançado no ponto de maturidade fisiológica, onde a taxa de acúmulo é nula, enquanto que, para fitomassa seca de folhas e área foliar o máximo valor ocorreu antes da maturidade fisiológica. Para a variação temporal diária de fitomassa seca relativa total da planta ($FSTr_i$), temos os modelos empíricos em função da escala (variável dependente) em graus-dia:

$$FSTr_i = \cos\left\{\frac{\pi}{2}(1 - Cr(X)_i)\right\} \quad (9)$$

em que: $Cr(X)_i$ se refere ao crescimento relativo da cultura no i-ésimo DAT, em função dos graus-dia acumulados.

O modelo empírico para a variação temporal diária de fitomassa seca relativa de folhas, de raízes e de área foliar relativa em função da escala em graus-dia:

$$FSFr_i = \cos\left\{\frac{\pi}{2}\left(\frac{Cr_{(X)_m} - Cr_i}{Cr_{(X)_m}}\right)\right\} \quad (10)$$

$$FSRr_i = \cos\left\{\frac{\pi}{2}(1 - Cr_{(X)_i})\right\} \quad (11)$$

$$AFr_i = \cos\left\{\frac{\pi}{2}\left(\frac{Cr_{(X)_m} - Cr_{(X)_i}}{Cr_{(X)_m}}\right)\right\} \quad (12)$$

em que: $Cr(X)_m$ se refere ao crescimento relativo em função de graus-dias, em que a fitomassa seca de folhas é máxima; $Cr(X)_i$, ao desenvolvimento relativo da cultura no i-ésimo DAT, em função de graus-dia acumulados.

3.4.3.2 Modelo proposto

Inserindo-se os parâmetros empíricos estimados pelo programa computacional Table Curve 2D v.2.03 (Jandel Scientific) para melhor ajuste dos dados ao modelo do co-seno:

$$F\hat{S}Tr_i = \frac{\cos^\alpha \left\{ \frac{\pi}{2} (1 - Cr_i)^\beta \right\}}{\delta} \quad (\alpha, \beta, \delta \in \mathfrak{R}) \quad (12)$$

$$F\hat{S}Fr_i = \frac{\cos^\alpha \left\{ \frac{\pi}{2} \left(\frac{Cr_{(X)m} - Cr_i}{Cr_{(X)m}} \right)^\beta \right\}}{\delta} \quad (\alpha, \beta, \delta \in \mathfrak{R}) \quad (13)$$

$$F\hat{S}Rr_i = \frac{\cos^\alpha \left\{ \frac{\pi}{2} (1 - Cr_i)^\beta \right\}}{\delta} \quad (\alpha, \beta, \delta \in \mathfrak{R}) \quad (14)$$

$$\hat{A}Fr_i = \frac{\cos^\alpha \left\{ \frac{\pi}{2} \left(\frac{Cr_{(X)m} - Cr_i}{Cr_{(X)m}} \right)^\beta \right\}}{\delta} \quad (\alpha, \beta, \delta \in \mathfrak{R}) \quad (15)$$

Para encontrar a frequência ideal de amostragem, foram comparados sempre o modelo de amostragem diária com o modelo de intervalo de 1, 2, 3, ..., 25 dias entre amostragens, dois a dois, pelo teste de F em nível de 5% de probabilidade de erro, com a razão das estimativas de máxima verossimilhança da variância residual (Equação 16), ou seja, os quadrados médios do erro da análise de regressão não linear ponderados pelos respectivos graus de liberdade (Ratkowsky, 1983). Foi considerada a frequência ideal de amostragem o modelo de maior número de dias de intervalo que não diferisse do modelo de amostragem diária.

$$QME = \left[\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (\eta - 1) \right] \quad (16)$$

em que: Y_i se refere a valores observados no i -ésimo dia de amostragem; \hat{Y}_i a valores estimados; e η ao número de amostragens.

Com os sete modelos gerados (simulando o início das coletas com o primeiro, segundo, terceiro, quarto, quinto, sexto e sétimo DAT para cada época, variável e período do ciclo da cultura estudado), adotaram-se como critérios de escolha da frequência ideal de amostragem, o que segue:

- a) Identificação da maior frequência de amostragem que não diferisse do modelo de frequência diária, pelo teste de F, nos sete modelos simulados;

b) A frequência de amostragem modal entre os sete modelos foi considerada a ideal.

Quando não foi encontrada a estatística moda entre os sete modelos, utilizou-se como ideal, a maior frequência.

3.4.3.3 Fitomassa seca total, de folha e raízes

Para estimar os parâmetros empíricos dos modelos do co-seno, entre a fitomassa seca e o crescimento relativo da cultura de alface, utilizou-se o procedimento iterativo para mínimos quadrados não lineares de Levenberg-Marquardt, com o auxílio do programa computacional Table Curve 2D v.2.03 (Jandel Scientific).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o ciclo vegetativo (Figura 2) observa-se que tanto as temperaturas mínimas como as temperaturas máximas do ar mantiveram-se sempre acima dos limites de temperaturas consideradas ideais em diversos trabalhos para esta fase do ciclo (Brunini *et al.*, 1976, Mattos *et al.*, 2001, Sanches *et al.*, 1989, Silva *et al.*, 1999), com temperaturas médias de 20° e 26 °C para o experimento de primavera e outono, respectivamente (Tabela 4).

No experimento de primavera, as plantas atingiram o período reprodutivo com 36% (GD=672 °C.dia) do total de GD do ciclo, contra 61% (GD=1160,2 °C.dia) do total de GD do ciclo de outono. Esta precocidade na emissão do talo, ou seja, no início do período reprodutivo do experimento de primavera, possivelmente pode ser explicada pelas condições de temperaturas durante o período vegetativo (Tabela 4) estarem mais próximas da faixa de temperatura considerada ideal para a cultura de alface (Brunini *et al.*, 1976; Cermeño, 1977; Slack *et al.*, 1994), estimulando uma translocação dos fotoassimilados das folhas (órgão característico da fase vegetativa da cultura de alface) e raízes para o talo, onde estarão armazenados para o período de florescimento. Segovia *et al.* (1997) verificaram que o talo passa a receber uma parcela importante da fitomassa total da planta após aproximadamente 40 dias do transplante, em detrimento das folhas. Brunini *et al.* (1976) comentam que temperaturas altas são responsáveis pela emissão do talo.

Durante o início da primavera as temperaturas são mais baixas, aumentando gradativamente com o final da estação e início do verão, o mesmo ocorre com o fotoperíodo, propiciando condições favoráveis para o desenvolvimento das plantas. Viggiano (1990) cita que temperaturas do ar acima de 20 °C e dias mais longos influenciam na redução do ciclo da cultura de alface pelo estímulo ao florescimento. Glen (1984) cita que o aproveitamento da luz é mais eficiente nas estações mais quentes, como o que ocorre no transcorrer da primavera. No experimento de outono verificou-se o contrário, com a ocorrência de temperaturas do ar altas e disponibilidade de luz maior do que a primavera durante o período vegetativo, porém estes valores de temperatura e horas de luz diminuem gradativamente até o final da estação e o início do inverno, este decréscimo possivelmente pode ser o responsável pelo atraso no florescimento.

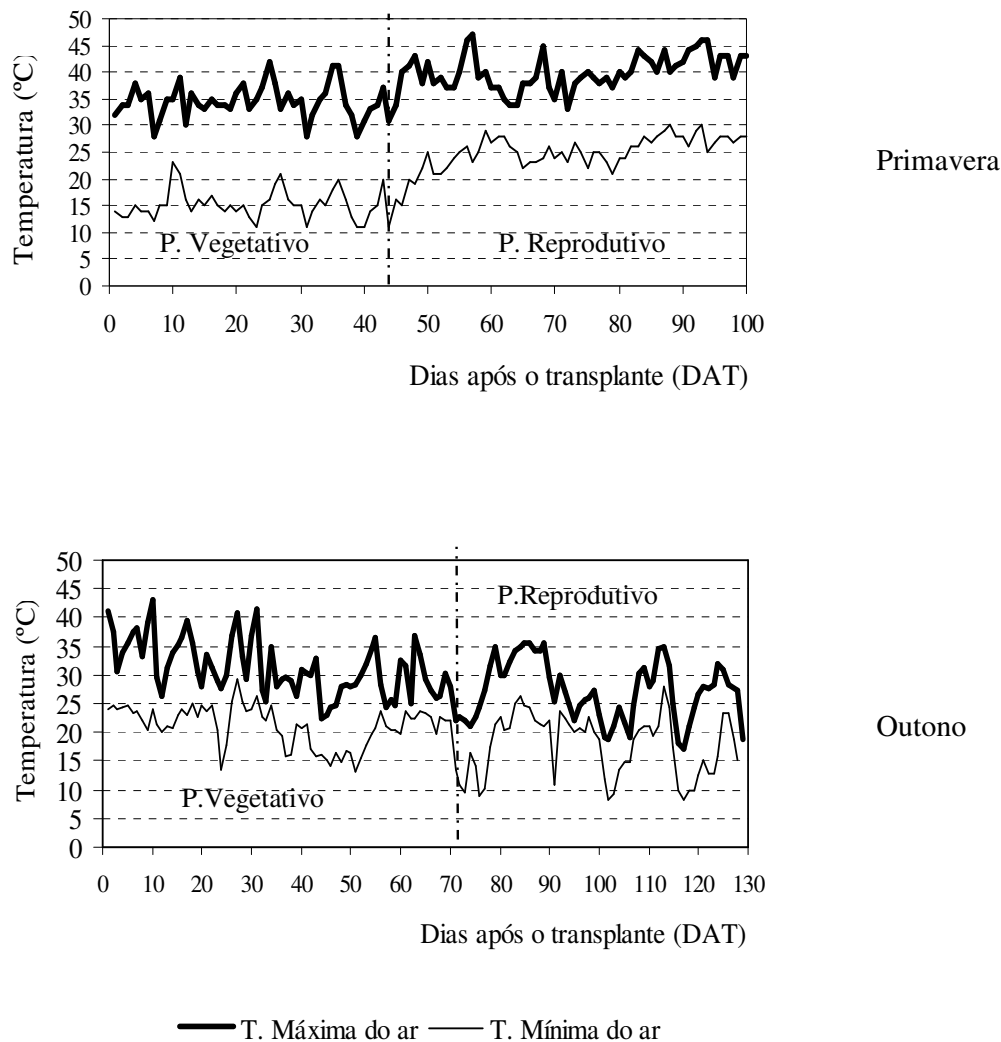


Figura 2 – Variação diária (em dias após o transplante) das temperaturas máximas e mínimas do ar em casa-de-vegetação com cultivo hidropônico de alface, variedade Regina. Experimento de primavera: 5 de outubro de 2004 a 12 de janeiro de 2005; Experimento de outono: 14 de março a 20 de julho de 2005.

Os experimentos completaram seu ciclo com quantidade semelhante de soma calórica (GD=1886,5 °C.dia e 1881,3 °C.dia na primavera e outono, respectivamente), porém o experimento de primavera atingiu o ponto de colheita de sementes mais rapidamente, com 100 DAT, enquanto o experimento de outono completou seu ciclo com 129 DAT. Portanto, a fase

do florescimento é mais influenciada pelas horas de luz e o ciclo para produção de sementes pela soma térmica.

Tabela 4 - Média das temperaturas máximas do ar (T_{máx.}), temperaturas mínimas do ar (T_{mín.}) e temperaturas médias do ar (T média) e amplitudes térmicas respectivas durante o período vegetativo e ciclo completo nos experimentos de primavera e outono em estufa de polietileno com a cultura de alface hidropônica. Santa Maria, RS, 2004/2005.

Experimento	T _{máx.} (°C)	Amplitude (°C)	T _{mín.} (°C)	Amplitude (°C)	T média (°C)	Amplitude (°C)
Período Vegetativo						
Primavera	28	28 - 42	12	11 - 23	20	19 - 30
Outono	31	22 - 43	21	13 - 29	26	17 - 35
Ciclo Completo						
Primavera	37	28 - 47	20	11 - 30	29	19 - 38
Outono	29	17 - 43	19	8 - 27	24	12 - 35

Observa-se (Figura 3) que o desvio padrão das variáveis aumenta gradativamente com o transcorrer do ciclo da planta, podendo-se dizer que aumentando o número de coletas de amostras segundo cada fase do ciclo, poderíamos reduzir o erro experimental. No entanto, a execução do experimento em casas-de-vegetação apresenta a limitação de espaço, dificultando uma melhor estimativa de curvas de crescimento de plantas.

Os modelos de crescimento da planta de alface para o período vegetativo e reprodutivo da variável fitomassa seca relativa total da planta de alface, de folhas, de raízes e área foliar relativa, para o período vegetativo e ciclo completo em função do desenvolvimento relativo caracterizado por graus-dia através de coletas de amostras diárias e com intervalos entre amostragens diferentes significativamente, pelo Teste de F, nos experimentos de primavera e outono estão apresentados nas Figuras 4 a 33.

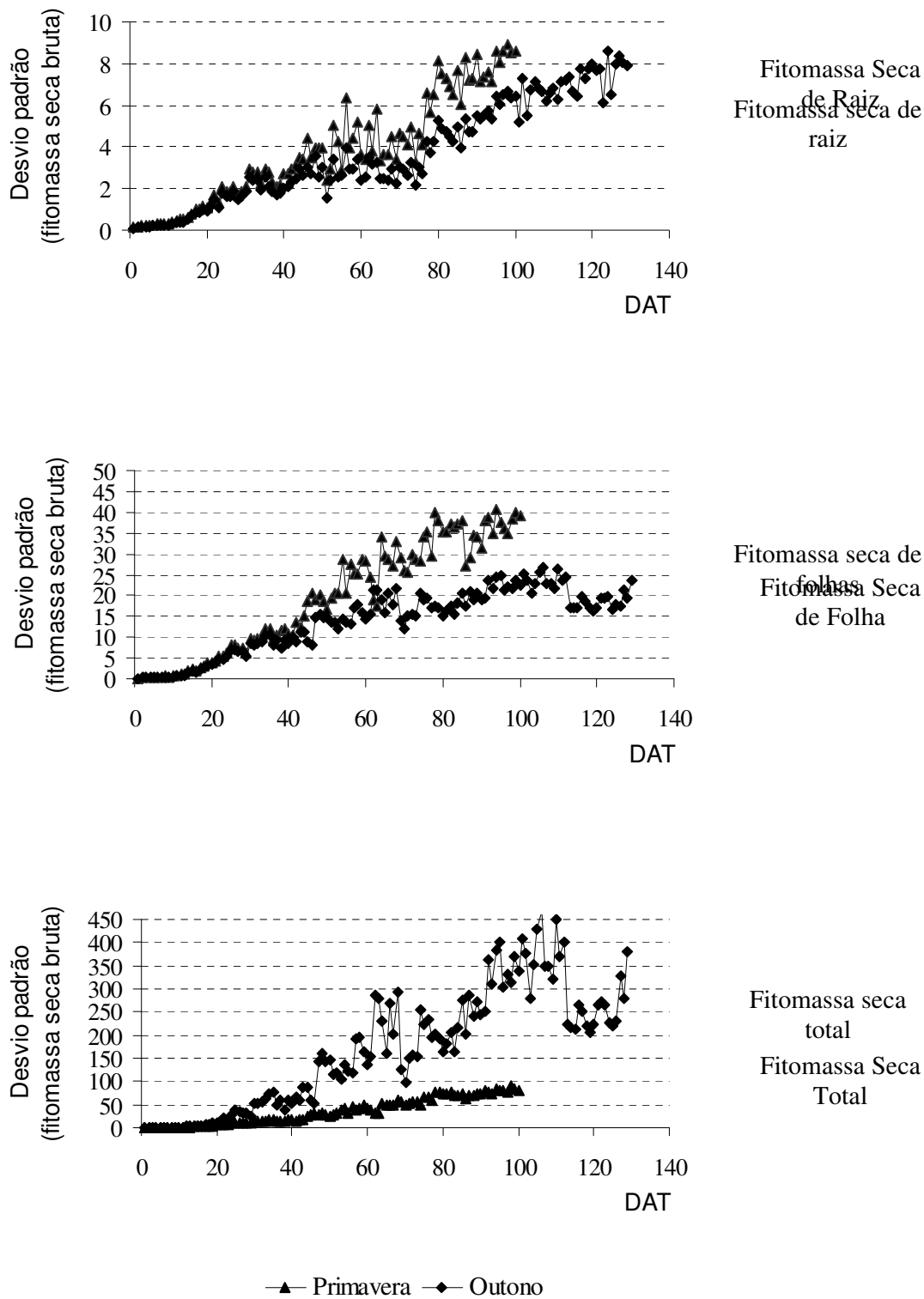


Figura 3 – Desvio Padrão dos experimentos de primavera e outono, segundo os dias após o transplante (DAT) para as variáveis fitomassa seca total, de folhas e de raízes. Santa Maria, RS, 2004/2005.

Sabe-se que o crescimento das plantas, quantificado em acúmulo de fitomassa seca pelo tempo, segue aproximadamente uma curva sigmóide, ou seja, no início do crescimento, a fitomassa seca de plantas individuais aumenta em uma proporção constante por dia, então conduzindo para um crescimento exponencial. Depois de a cultura fechar a superfície, mais folhas crescem sem conduzir a uma proporcional interceptação de luz, conseqüentemente a taxa de crescimento permanece constante e a fitomassa total da planta aumenta linearmente até um ponto de inflexão (máxima taxa de acúmulo de fitomassa seca), a partir do qual, a taxa de crescimento começa a diminuir até a curva se aproximar do valor final (ponto de maturidade fisiológica, ou assintótica da curva) (Dourado Neto *et al.*, 1998). A frequência de amostragem utilizada, segundo Lopes (2002), deve ser maior no período vegetativo do que no período reprodutivo, devido à existência de uma dependência entre a FST e da FSF acumulada no período vegetativo.

Observa-se na Tabela 5 que ao se comparar os modelos com frequências de amostragem simuladas diferentes estatisticamente, pelo Teste de F, dos modelos de frequência de amostragem diária, consideradas como padrão de comparação, para somente o período vegetativo, verifica-se que existe uma exigência maior deste em frequências de amostragens do que quando consideramos o ciclo completo. Pois é no período vegetativo em que ocorre um maior incremento de fitomassa na planta. Enquanto no período reprodutivo existe a translocação de fotoassimilados das folhas para os órgãos reprodutivos, diminuindo a taxa de crescimento da planta. Também se pode explicar a necessidade de intervalos maiores entre as amostragens para o ciclo completo devido a um maior número de graus de liberdade, que permitem maior similaridade entre os quadrados médios dos erros dos modelos, com maior número de observações que o período vegetativo. Existe uma diferença na exigência de intervalos de amostragens segundo as diferentes variáveis (Tabela 5). Verifica-se que a frequência de amostragem depende mais do tipo de variável e do ciclo considerado (completo ou vegetativo) do que da época de cultivo.

A necessidade de frequências de amostragens maiores, ou seja, intervalos menores entre cada coleta de amostras, para a variável $FSTr_i$, pode estar relacionada com a maior variação entre a translocação dos fotoassimilados para as diferentes partes da planta durante o ciclo completo da cultura de alface, que ocorre principalmente na transição entre o período vegetativo e reprodutivo. Enquanto ao se considerar as variáveis $FSFr_i$, $FSRr_i$ e AFr_i isoladas entre si, a exigência de frequências maiores diminui (Tabela 5). A $FSFr_i$ pode ser representada por intervalos maiores entre amostragens devido a um período necessário para que a planta

fixe nova folha, para que ocorra a expansão da área foliar e assim ocorra um aumento na produção de fotoassimilados, responsáveis pelo crescimento do órgão.

Tabela 5 - Freqüência de amostragem (em dias) recomendada em cada estação de cultivo para as variáveis fitomassa seca relativa total da planta de alface ($FSTR_i$), de folhas ($FSFr_i$), de raízes ($FSRr_i$) e área foliar relativa (AFr_i), para o período vegetativo e ciclo completo em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos. Santa Maria, 2004/2005.

Períodos	Ciclo Completo				Período Vegetativo			
	Variáveis	$FSTR_i$	$FSFr_i$	$FSRr_i$	AFr_i	$FSTR_i$	$FSFr_i$	$FSRr_i$
Experimento de Primavera								
Freqüências	3	8	20	9	2	2	4	1
Experimento de Outono								
Freqüências	3	11	12	11	2	3	4	1

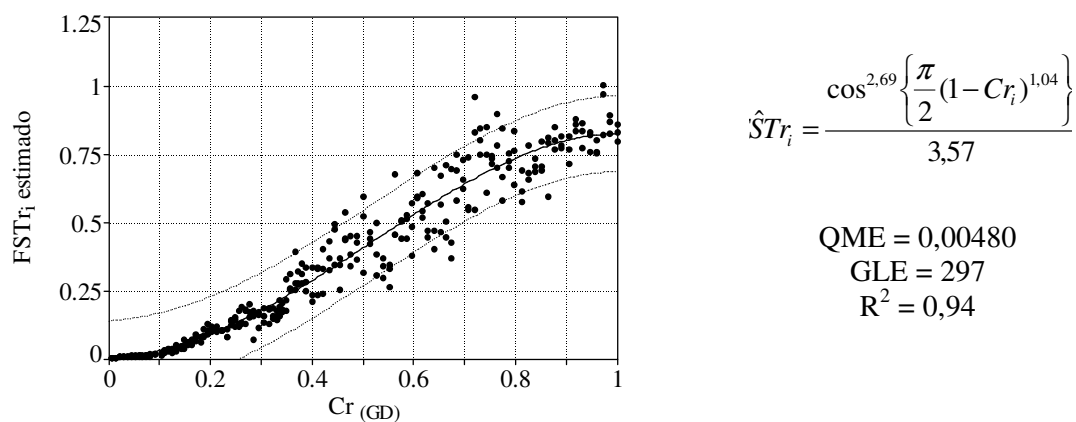


Figura 4 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de primavera.

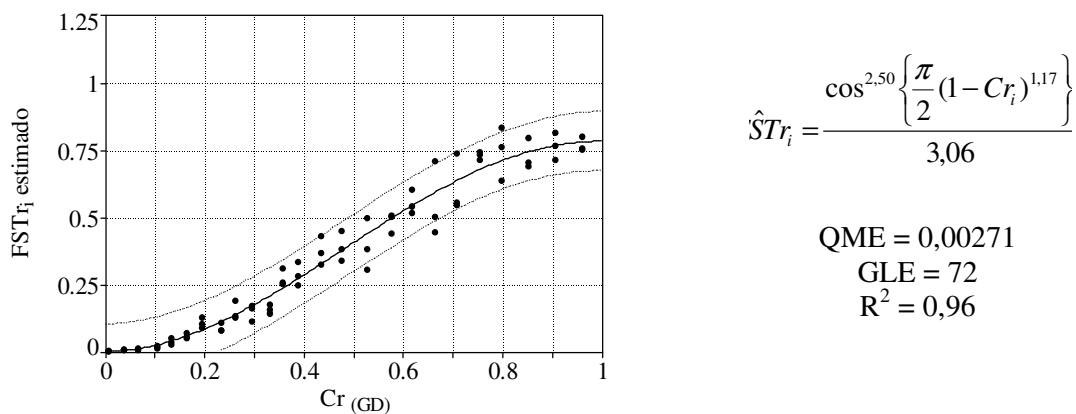


Figura 5 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada quatro dias para o ciclo completo no experimento de primavera.

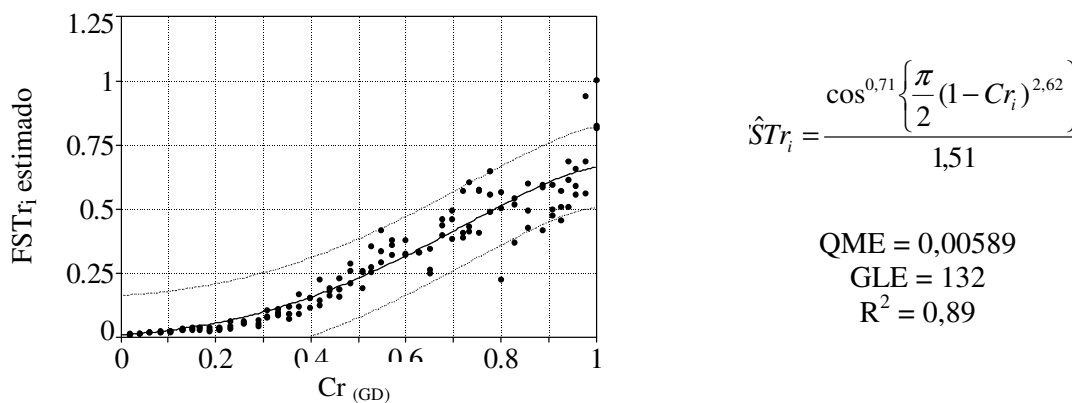


Figura 6 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o período vegetativo no experimento de primavera.

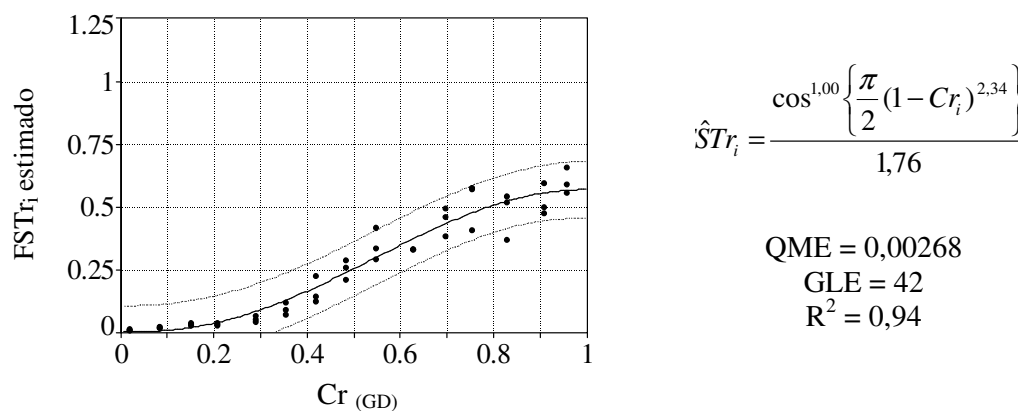


Figura 7 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada três dias para o período vegetativo no experimento de primavera.

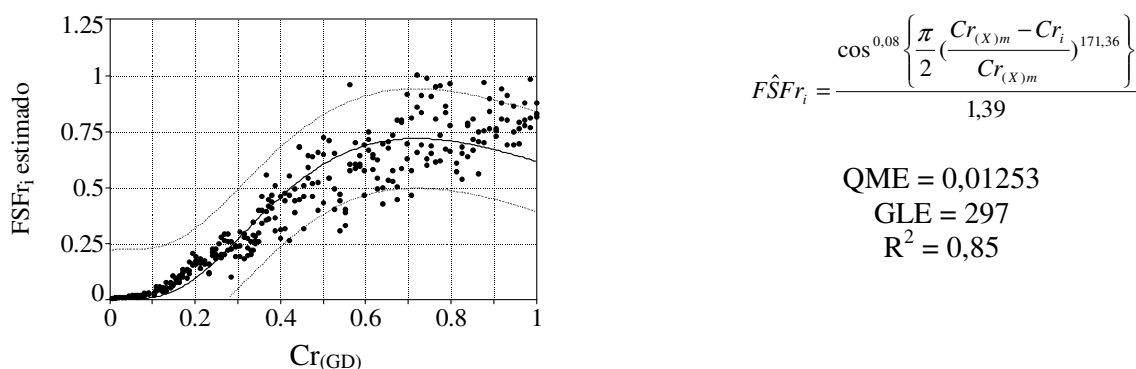


Figura 8 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de primavera.

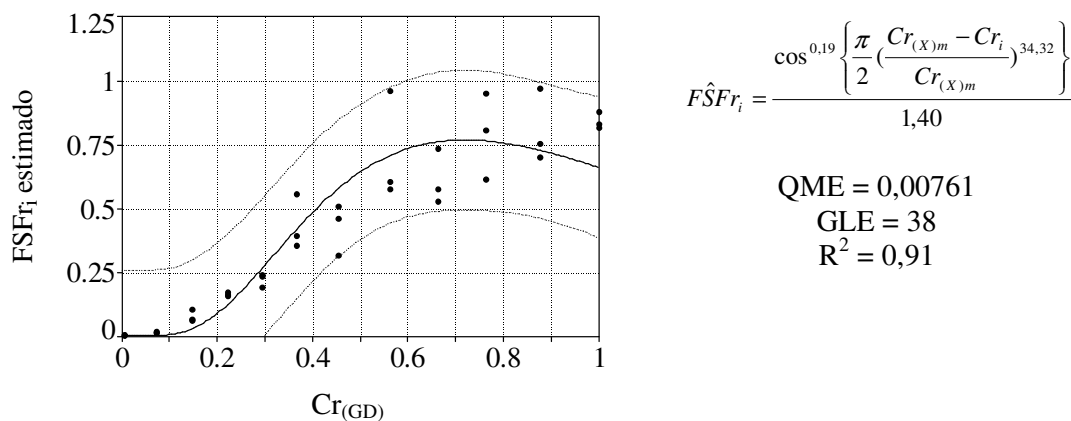


Figura 9 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada nove dias para o ciclo completo no experimento de primavera.

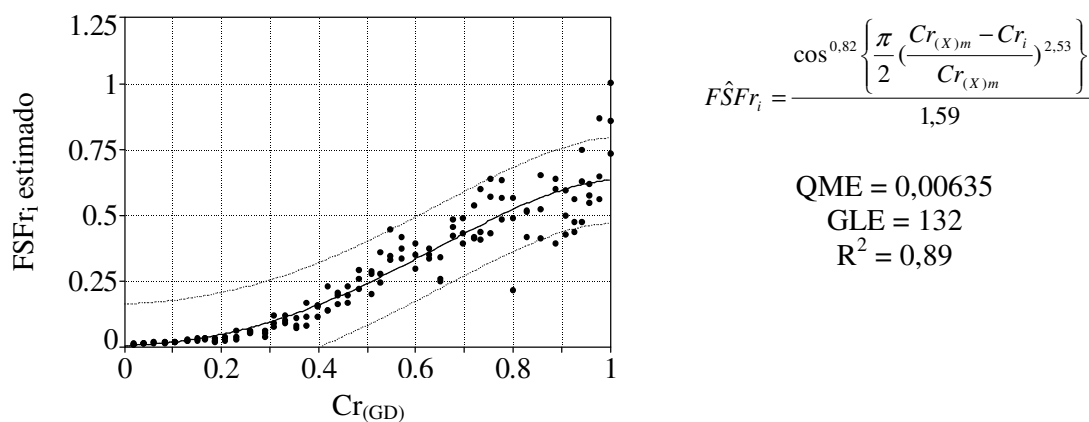


Figura 10 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alfaca em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o período vegetativo no experimento de primavera.

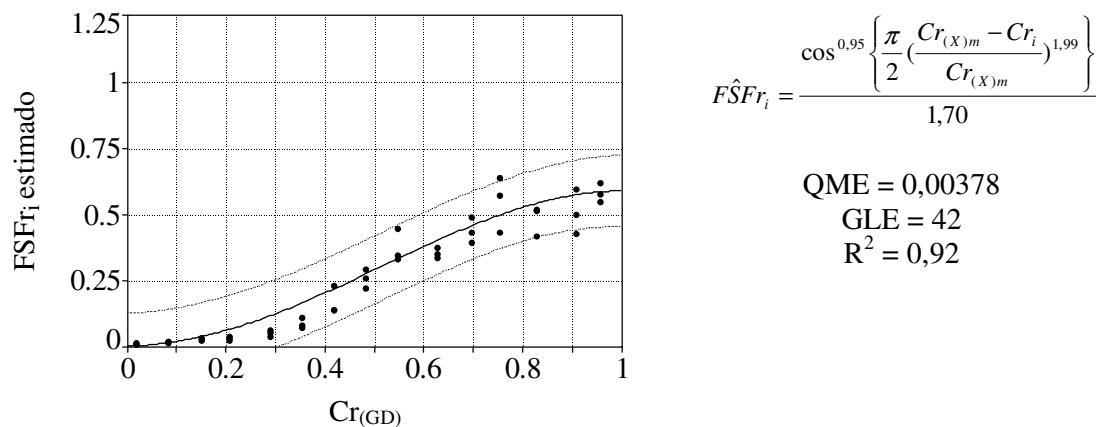


Figura 11 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alfaca em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada três dias para o período vegetativo no experimento de primavera.

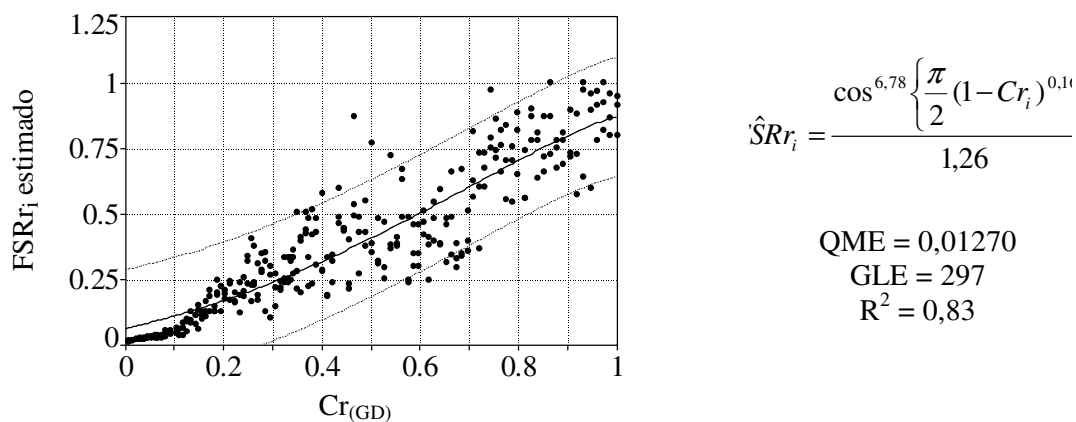


Figura 12 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de primavera.

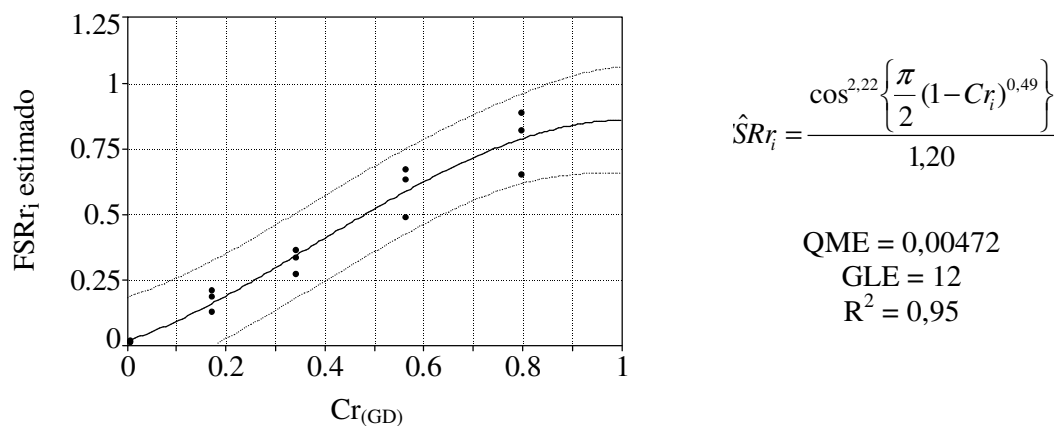


Figura 13 - Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada vinte e um dias para o ciclo completo no experimento de primavera.

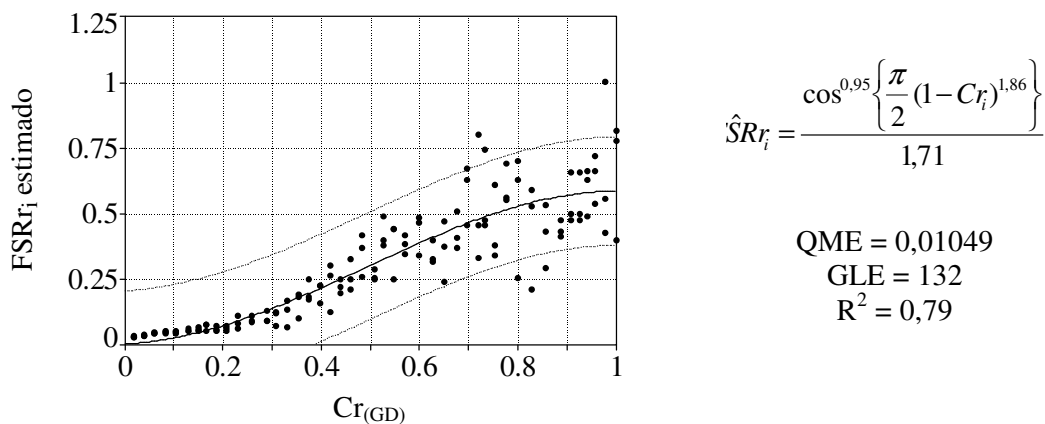


Figura 14 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o período vegetativo no experimento de primavera.

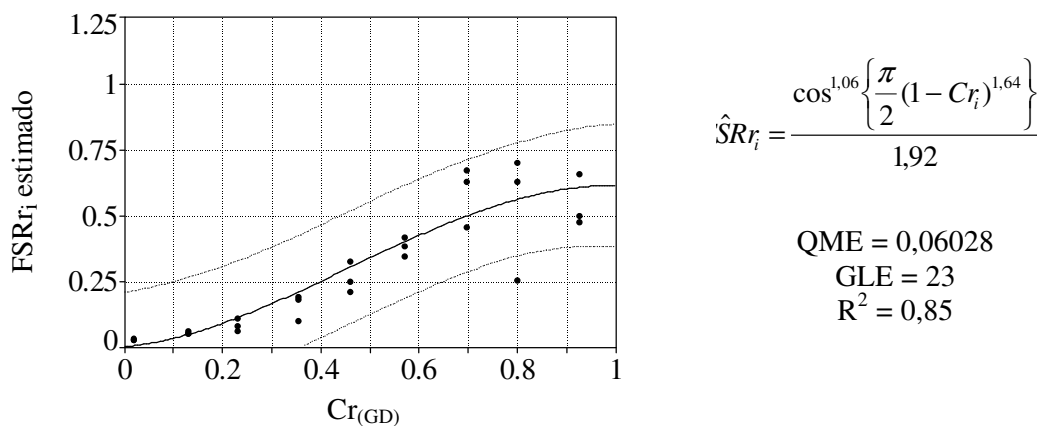


Figura 15 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada cinco dias para o período vegetativo no experimento de primavera.

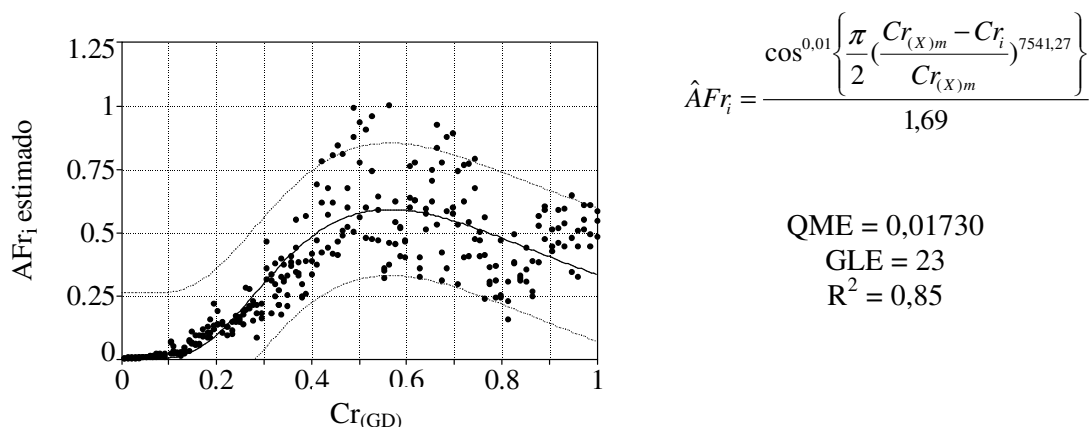


Figura 16 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a área foliar relativa na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de primavera.

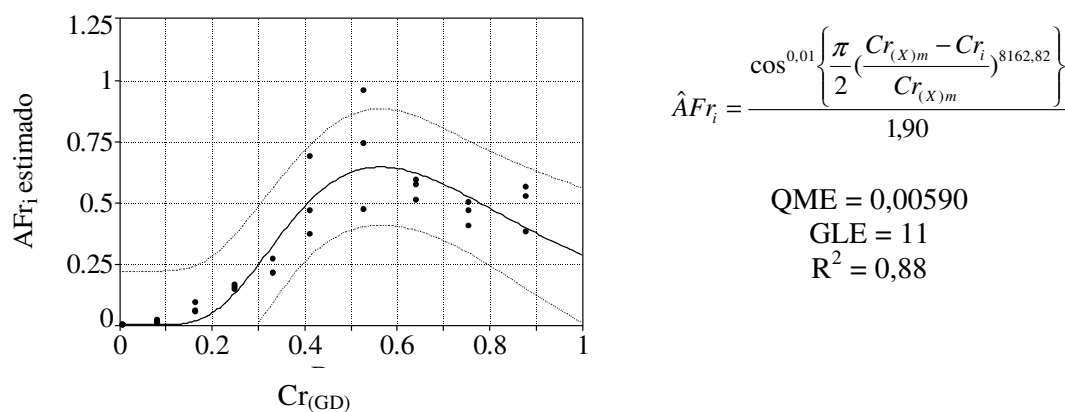


Figura 17 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a área foliar relativa na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada dez dias para o ciclo completo no experimento de primavera.

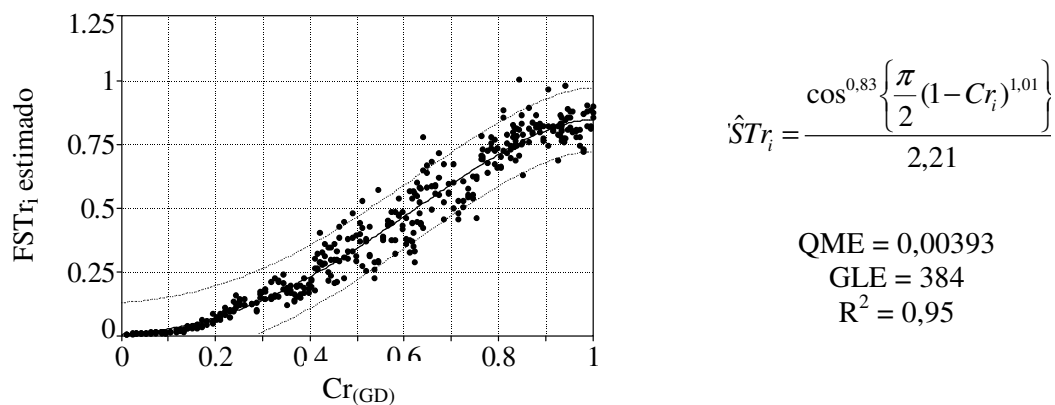


Figura 18 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de outono.

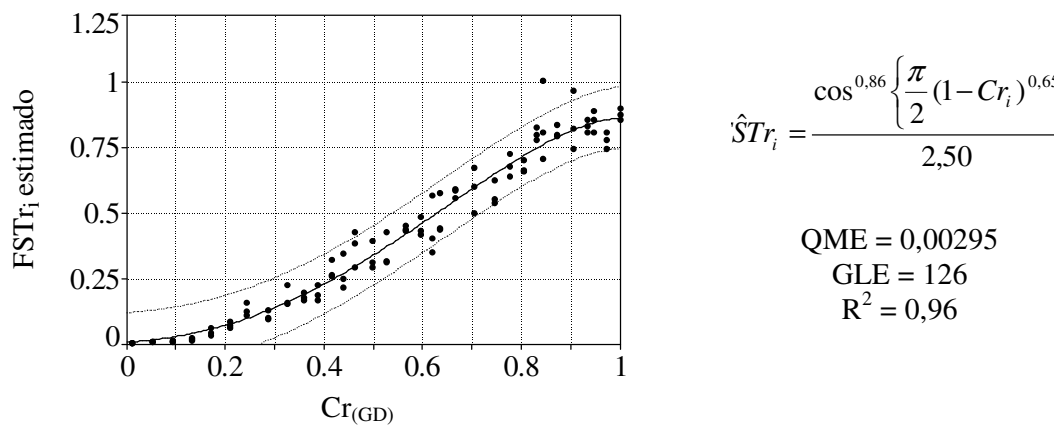


Figura 19 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada quatro dias para o ciclo completo no experimento de outono.

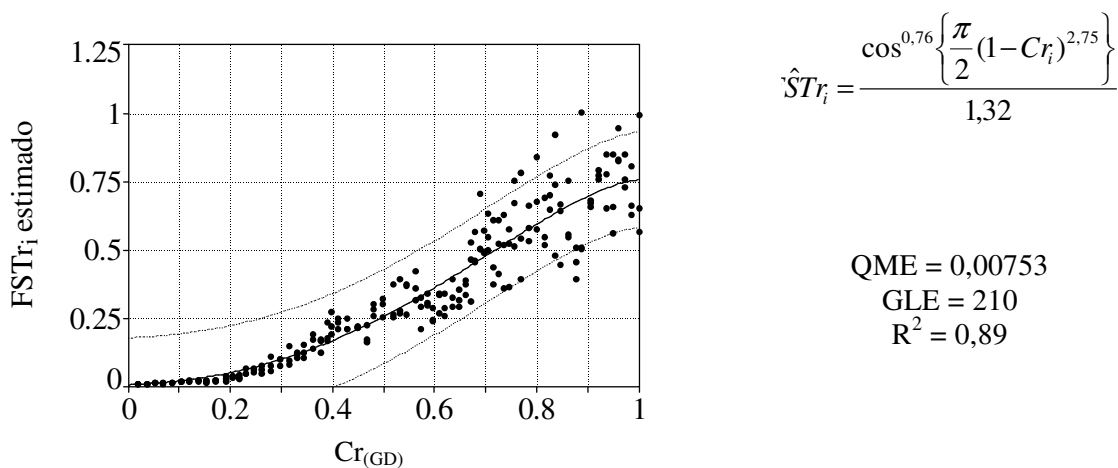


Figura 20 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o período vegetativo no experimento de outono.

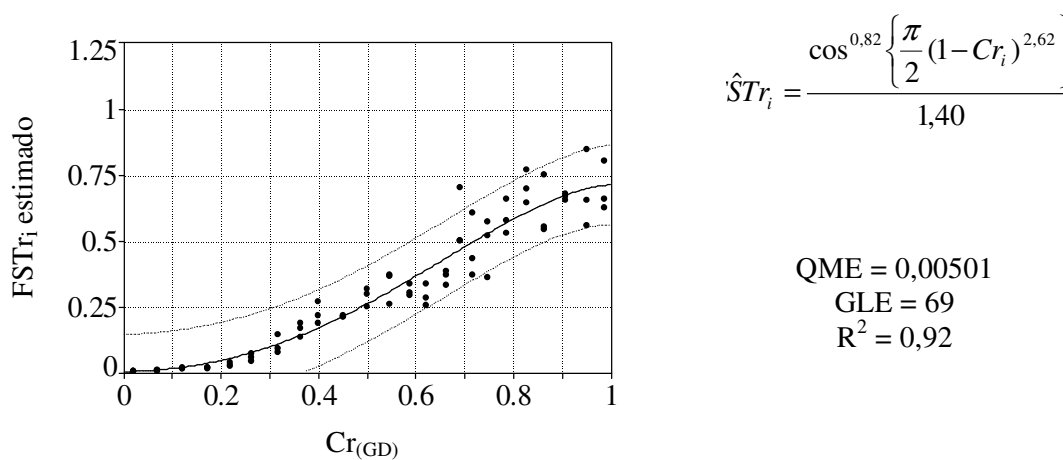


Figura 21 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa total da planta de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada três dias para o período vegetativo no experimento de outono.

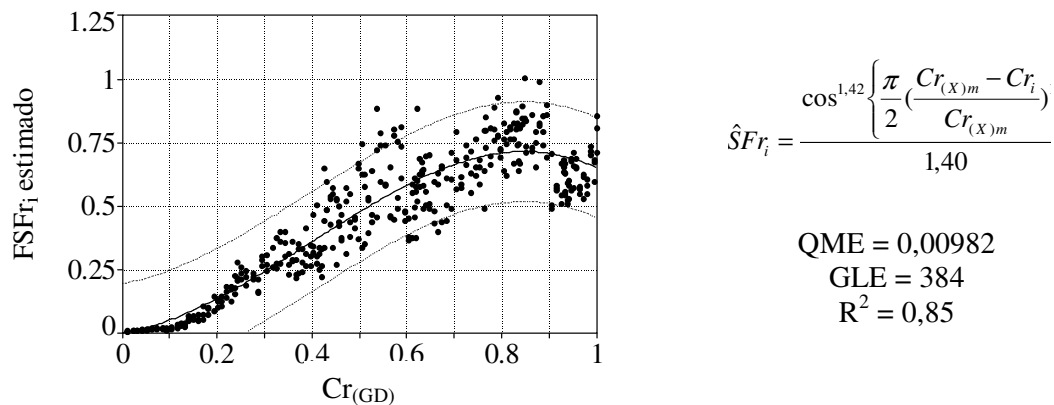


Figura 22 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de outono.

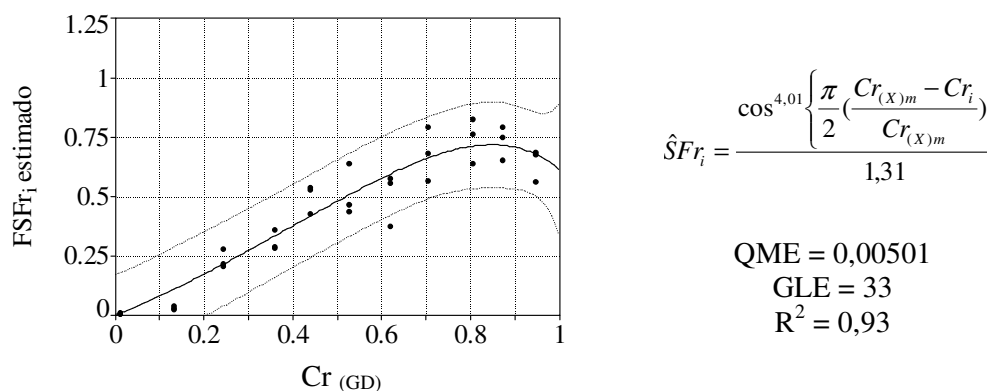


Figura 23 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada doze dias para o ciclo completo no experimento de outono.

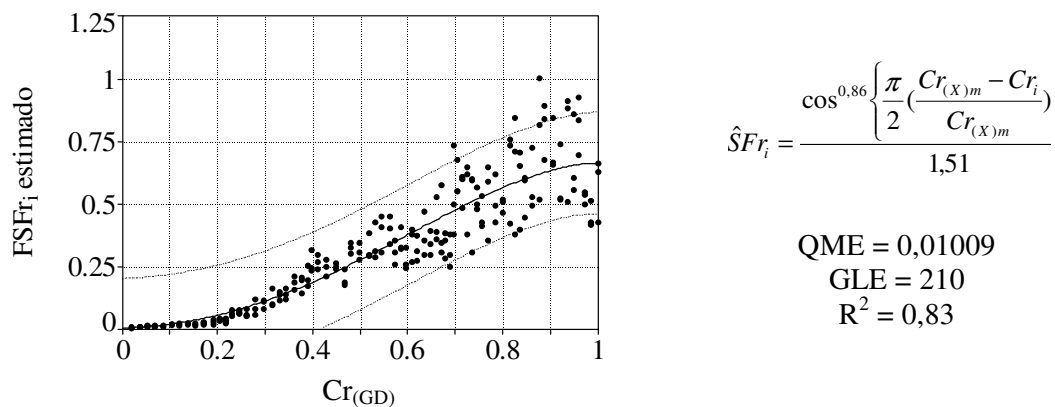


Figura 24 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o período vegetativo no experimento de outono.

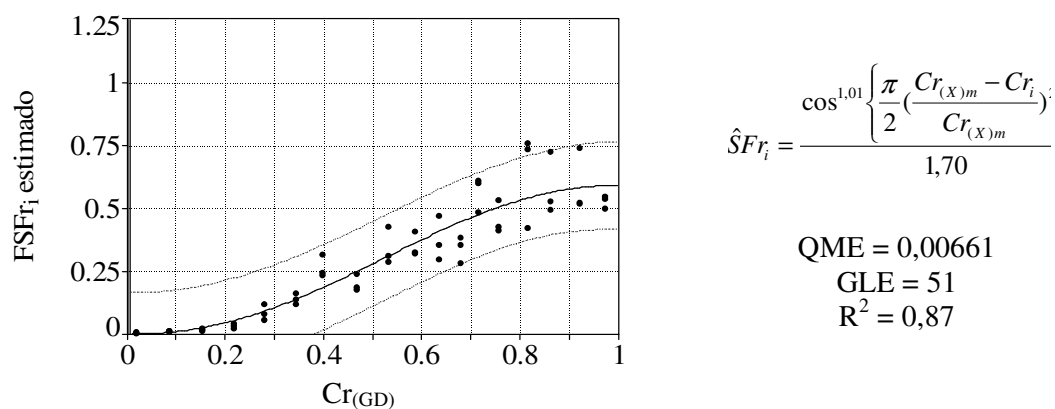


Figura 25 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de folha na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada quatro dias para o período vegetativo no experimento de outono.

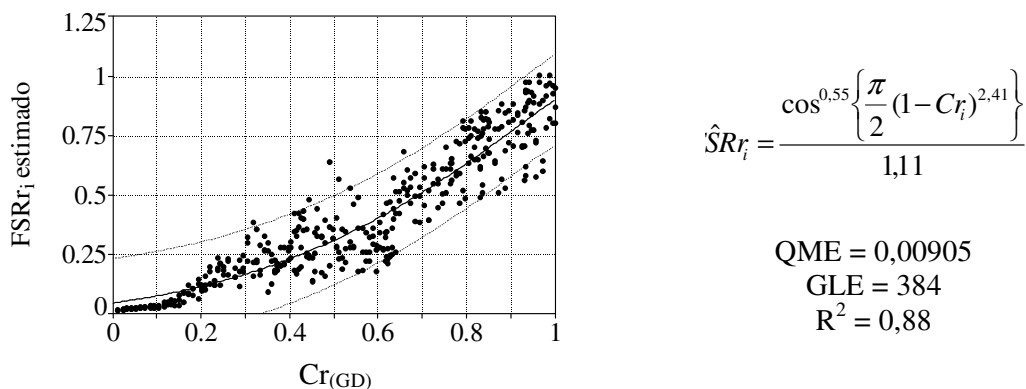


Figura 26 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de outono.

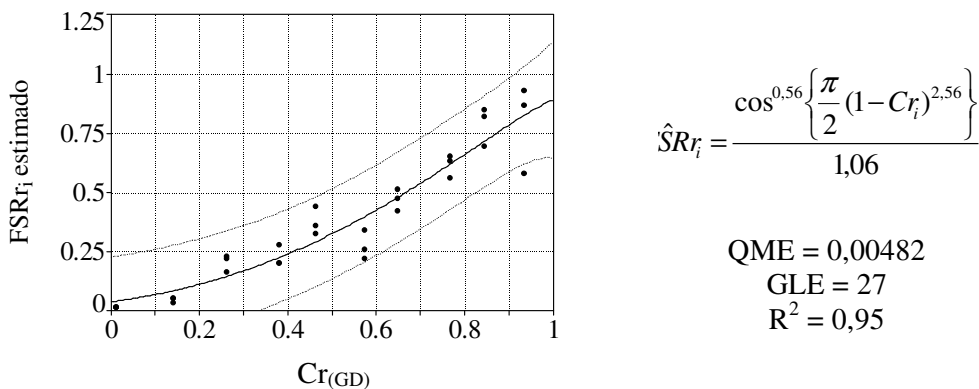


Figura 27 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada treze dias para o ciclo completo no experimento de outono.

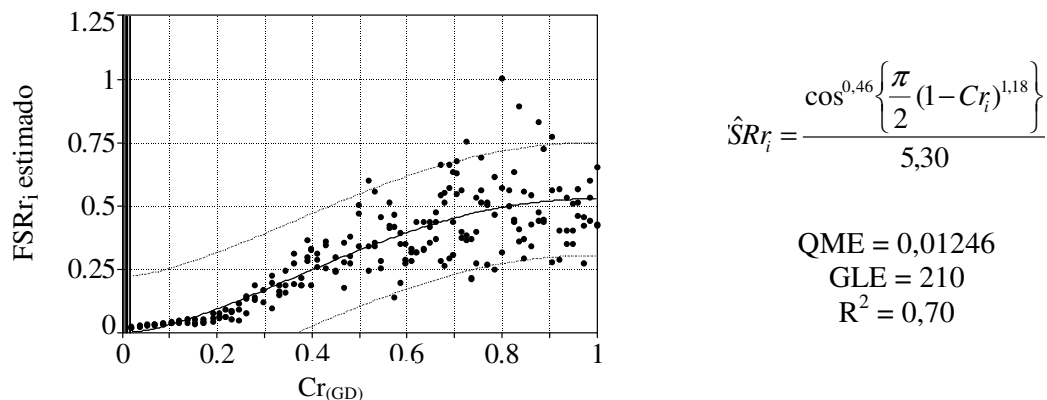


Figura 28 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o período vegetativo no experimento de outono.

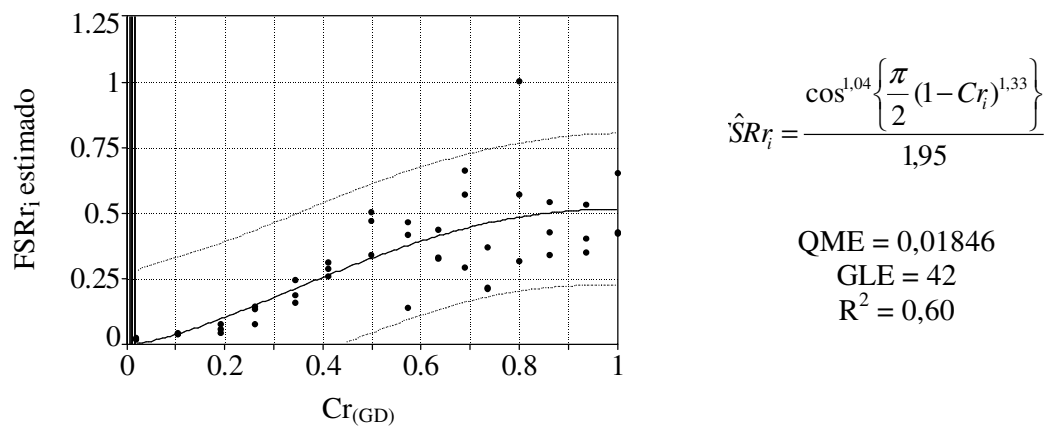


Figura 29 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a fitomassa seca relativa de raiz na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada cinco dias para o período vegetativo no experimento de outono.

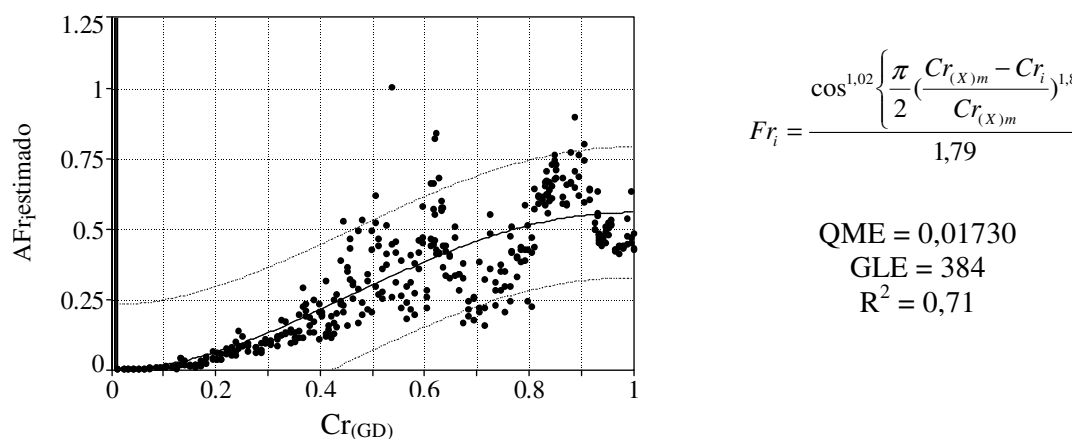


Figura 30 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a área foliar na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o ciclo completo no experimento de outono.

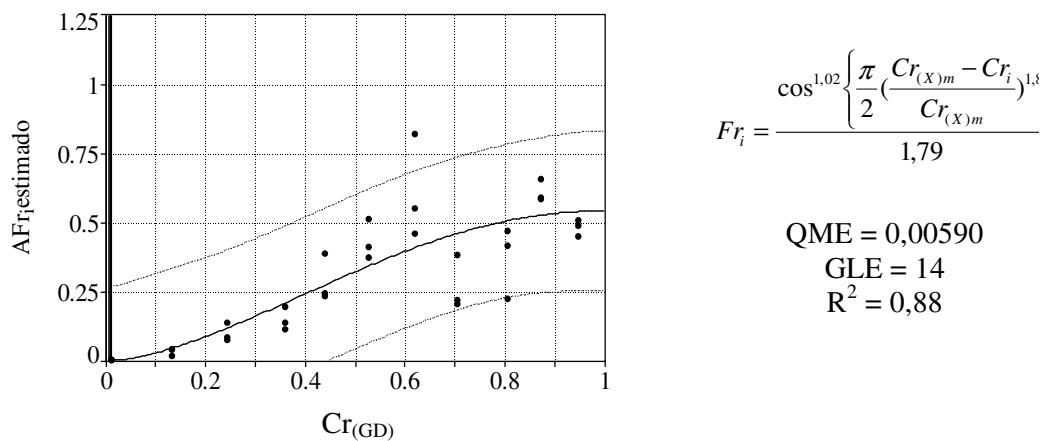


Figura 31 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a área foliar na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada treze dias para o ciclo completo no experimento de outono.

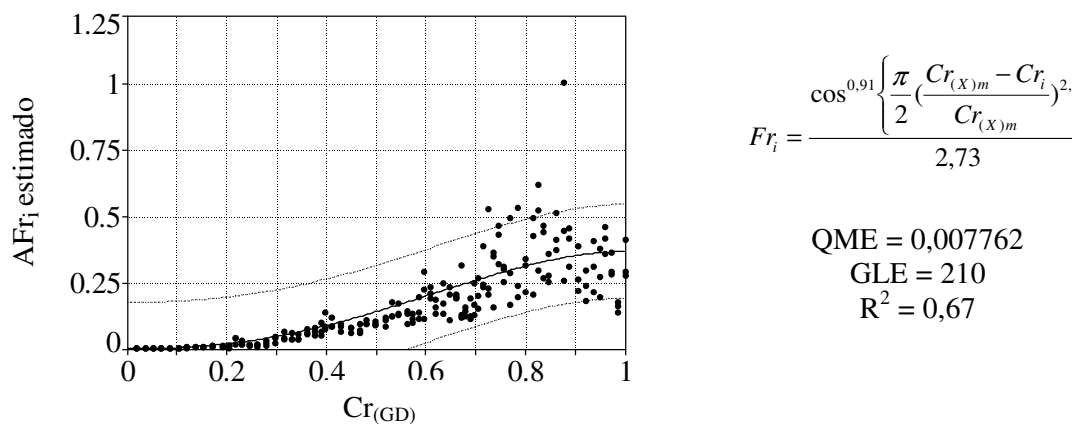


Figura 32 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a área foliar na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras diariamente para o período vegetativo no experimento de outono.

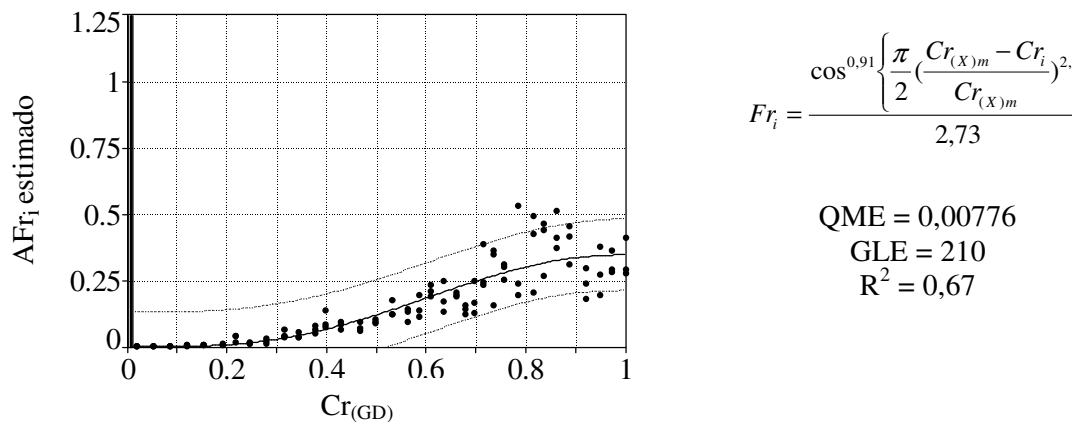


Figura 33 – Faixa de 95% de confiança do modelo do co-seno estimando a área foliar na cultura de alface em função do crescimento relativo caracterizado por graus-dias efetivos através de coletas de amostras a cada dois dias para o período vegetativo no experimento de outono.

A área foliar relativa apresentou resultados de frequências de amostras próximas às encontradas para a variável fitomassa seca relativa de folhas, devido à dependência entre ambas.

É notável que a frequência de amostras seja diferente para as estações de cultivo primavera e outono, sendo atribuída a essa diferença por fatores climáticos, como temperatura do ar e radiação solar característico de cada estação.

Verifica-se uma similaridade entre frequências de amostragens encontradas para somente o período vegetativo nos experimentos de primavera e outono, sendo menores os valores de intervalos entre as amostras. Nesta fase, ocorre um maior incremento de fitomassa e área foliar, para posterior expansão da folha e maior interceptação da radiação solar, favorecendo a fotossíntese e assim aumentando exponencialmente a produção de fitomassa das folhas, característica de crescimento de comunidades vegetais. Como esta variação de fitomassa é um processo acelerado durante esta fase do crescimento, deve ser realizado um maior número de amostras nesse período para que melhor seja representado. Confirma-se também esta dependência da $FSTr_i$ da $FSFr_i$, observando as Figuras 6, 7, 10, 11, 20, 21, 24, 25, onde constata-se que as frequências destas variáveis são praticamente iguais, ou seja, três dias, exceto da $FSFr_i$, a qual foi encontrado um dia a mais em exigência de frequência de amostragem.

Quanto à fitomassa seca relativa de raiz, ainda, verifica-se a necessidade de frequências maiores de amostragens somente para o período vegetativo, porém menores quando comparadas com a necessidade para o ciclo completo da cultura, possivelmente, pela alocação de fotoassimilados ser maior no período vegetativo, principalmente nos estádios de crescimento inicial, juntamente com as folhas.

A variável área foliar relativa no período vegetativo foi a mais exigente em frequências de amostragens, pois existe um acréscimo expressivo em área foliar neste período, devido a maior disponibilidade de luz dentro da comunidade de plantas, onde ainda não existe o fechamento da superfície, permitindo que todas as folhas interceptem a radiação solar.

Na estimação dos valores para a construção dos modelos de crescimento da planta de alface, segundo dias diferentes para o início das coletas de amostras de planta (Figuras 34 e 35), verifica-se que os valores encontrados no experimento de outono, obtiveram maior variação entre os dias de início de coleta. Este resultado pode ser atribuído a problemas de perda de área foliar, através do ataque do fungo *Esclerotinia sclerotiorum*. Os danos foram observados a partir dos 82 DAT, correspondente ao início da alongação do talo, no início do período reprodutivo. Nas folhas mais velhas e baixas encontrou-se manchas de aparência

amarelada formando anéis concêntricos. As estruturas de esclerócios foram encontradas tanto nas folhas, como nos talos e raízes, pois como o sistema de condução dos nutrientes e água na hidroponia é cíclico, os esclerócios circularam pelo sistema em todas as bancadas, afetando a maioria das plantas do experimento. Através do tratamento da doença conseguiu-se estabilizar a fitomassa verde das folhas, e o controle não impediu que houvesse o surgimento de novas folhas, com brotações laterais e o posterior surgimento das inflorescências.

A área foliar relativa no experimento de primavera no sétimo dia DAT para início de coleta de amostras não apresentou nenhum resultado igual, ou seja, não foi encontrada a moda do conjunto de dados, então foi adotada a maior frequência de amostragem como referência para o intervalo de dias entre coletas, a cada nove dias, pois a partir de 10 dias de intervalo, encontrou-se diferença significativa entre as curvas de crescimento estimadas.

Na Tabela 5 está apresentada a frequência de amostragem máxima recomendada para cada variável, considerando que o modelo não superestime ou subestime o crescimento das plantas quando comparados com o modelo de crescimento de frequência diária de amostragem.

A recomendação da frequência de amostragem é para cada variável, no entanto, o intervalo em dias entre cada amostragem deve ser realizado segundo o interesse do pesquisador. Ao desejar estimar fitomassa seca relativa total da planta de alface, no momento da coleta pode ser realizada a partição das demais partes da planta que também se deseja estimar, pois a variável apresentou maior exigência em frequência de amostragem em ambos os períodos do que as demais variáveis de fitomassa.

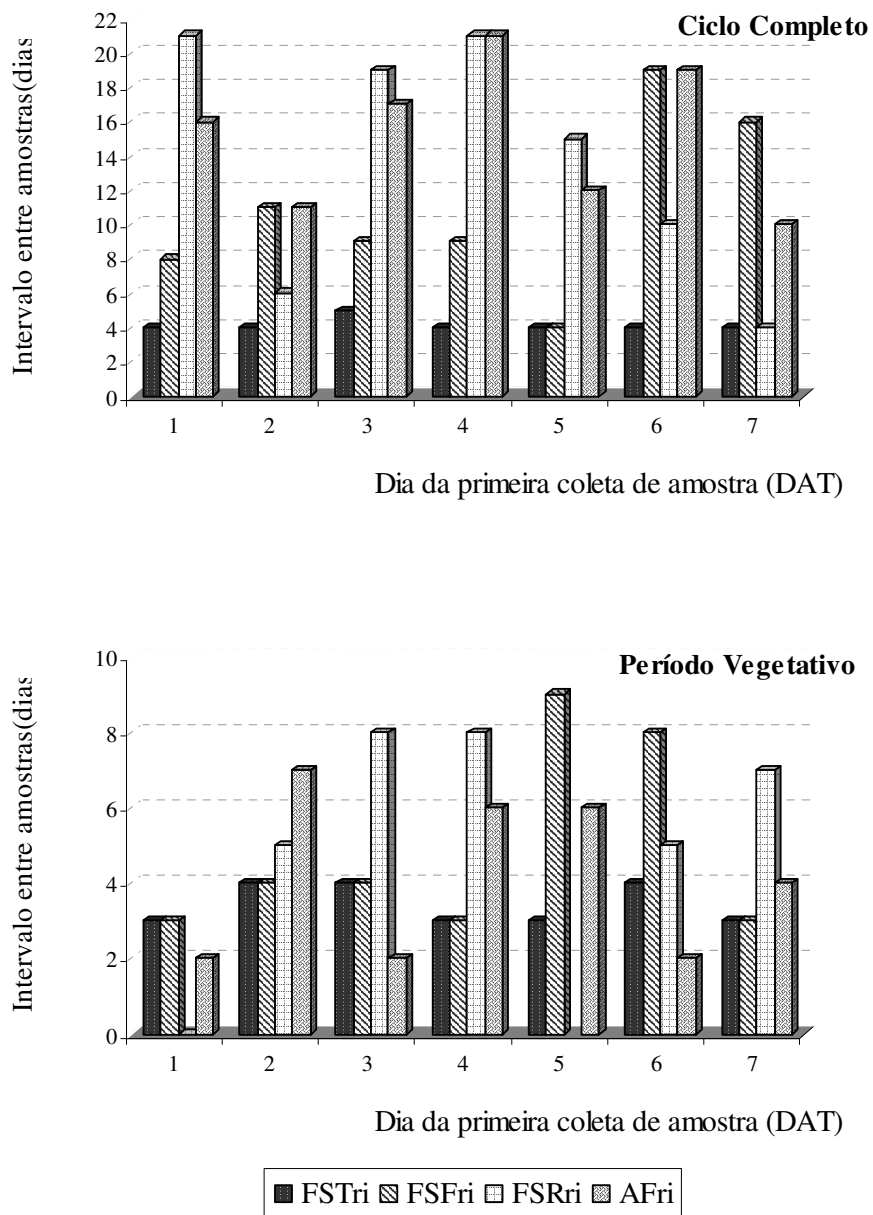


Figura 34 – Frequência de amostragem para modelos de crescimento de alface com diferentes datas para início de coleta de amostras para as variáveis fitomassa seca relativa do total da planta ($FSTr_i$), fitomassa seca relativa de folhas ($FSFr_i$), fitomassa seca relativa de raízes ($FSRr_i$) e área foliar relativa (AFr_i) para o ciclo completo e somente período vegetativo no experimento de primavera. Santa Maria, RS, 2004.

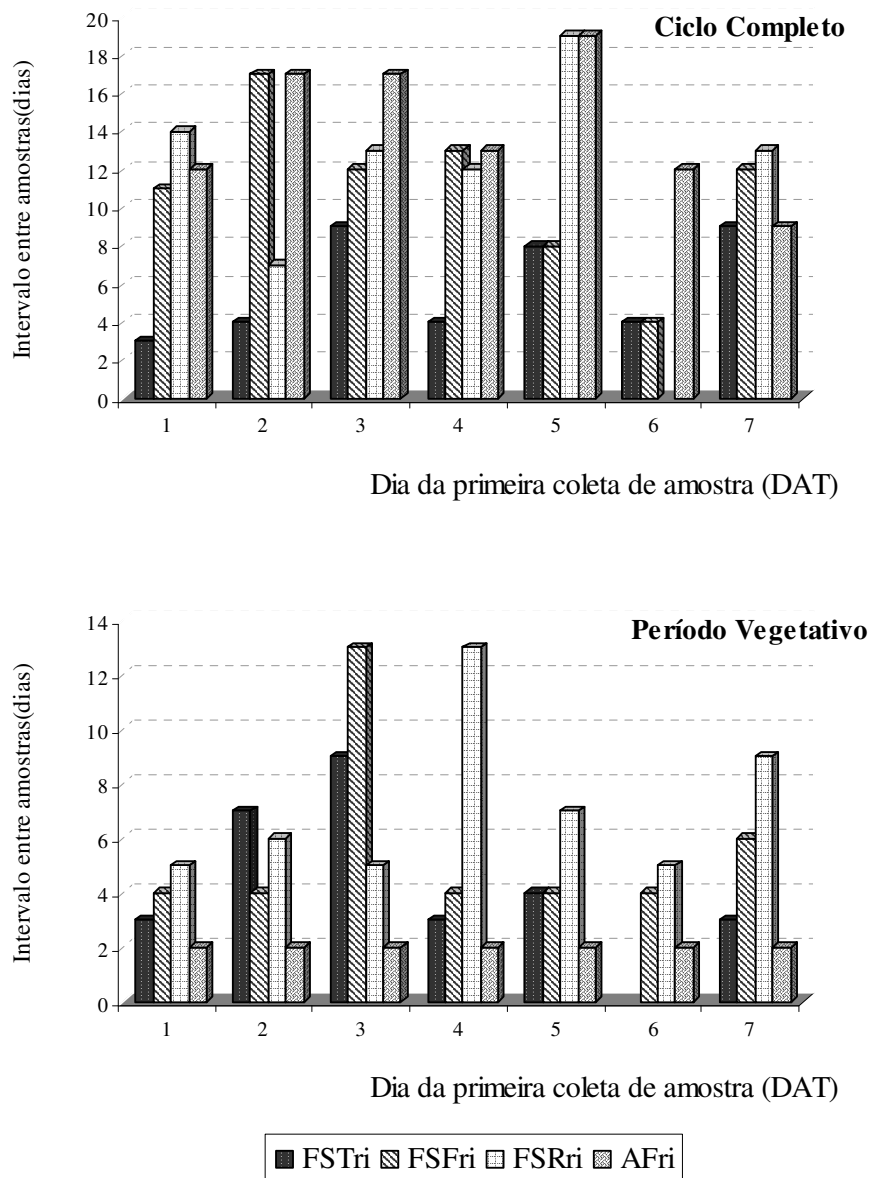


Figura 35 – Frequência de amostragem para modelos de crescimento de alface com diferentes datas para início de coleta de amostras para as variáveis fitomassa seca relativa do total da planta ($FSTr_i$), fitomassa seca relativa de folhas ($FSFr_i$), fitomassa seca relativa de raízes ($FSRr_i$) e área foliar relativa (AFr_i) para o ciclo completo e somente período vegetativo no experimento de outono. Santa Maria, RS, 2005.

5 CONCLUSÕES

As freqüências de amostragens para ajuste de curvas de crescimento de plantas de alface sob hidroponia são:

- a) Experimento de primavera: 3, 8, 20 e 9, para as variáveis fitomassa seca relativa total da planta, de folha, de raiz e área foliar relativa, respectivamente, considerando o ciclo completo; 2, 2, 4 e diária, para as variáveis fitomassa seca relativa total da planta, de folha, de raiz e área foliar relativa, respectivamente, no período vegetativo.
- b) Experimento de Outono: 3, 12, 11 e 12, para as variáveis fitomassa seca relativa total da planta, de folha, de raiz e área foliar relativa, respectivamente, considerando o ciclo completo; 2, 3, 4 e diariamente, para as variáveis fitomassa seca relativa total da planta, de folha, de raiz e área foliar relativa, respectivamente, no período vegetativo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOLO, J.L.; ESPINDOLA, M.C.G.; STEFANELLO, M.O. Crescimento e desenvolvimento de plantas de alface provenientes de mudas com diferentes idades fisiológicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, jan-fev, p.35-40, 2003.

BRUNINI, O. Temperatura-base para alface cultivar "white boston", em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, v.35, p.213-219, 1976.

CASTELLANE, P.D.; ARAÚJO, J.A.C. de. **Cultivo sem solo: hidroponia**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 43p.

CEASA. Disponível em <<http://www.ceasars.gov.br/>> Acesso em maio 2002.

COSTA, A.F.S. da. **Influência das condições climáticas no crescimento e desenvolvimento de plantas de feijão (*Zea mays* L.), avaliadas em diferentes épocas de plantio**. 1994. 109p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

DOURADO NETO, D. *et al.* Principles of Crop Modeling and Simulation. I. Uses of mathematical models in agriculture science. **Scientia Agricola**, v.55, p.46-50, 1998.

_____. Modelos fitotécnicos referentes à cultura de milho. Piracicaba, 1999. 227p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

ESTEFANEL, V. *et al.* Variabilidade e probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Centro de Ciências Rurais**, v.8, n.4, p.363-384, 1978.

FRANCE, J & THORNLEY, J. H. M. **Mathematical models in agriculture**. London: Butterworths, 1984.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 1982. 402 p.

FRISINA, V.A.; ESCOBEDO, J.F. Balanço de radiação e energia da cultura de alface em estrutura de polietileno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.10, p.1775-1786, 1999.

GOUDRIAAN, L.; LAAR, H.H. van. **Modelling potencial crop growth processes: textbook whit exercises**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1994. 238 p.

HUME, C.J.; CALLANDER, B.A. Agrometeorology and model building. **Outlook on Agriculture**, v.19, n.1, p.25-31, 1990.

HUNT, R. **Plant growth curves**. London: Arnold, 1982.

KROPFF, M.J. *et al.* The rice model Oryza1 and its testing. In: MATTHEWS, R.B.; KROPFF, M.J.; BACHELET, D.; van LAAR, H.H. (Ed.). **Modeling the impact of climate change on rice production in Asia**. Manila: International Rice Research Institute, 1995, p.27-50.

LIMA, M.G. **Calibração e validação do modelo Ceres-Maize em condições tropicais do Brasil**. Piracicaba, 1995. 119f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

LONDERO, F.A.A. **Reposição de nutrientes em soluções nutritivas no cultivo hidropônico de plantas**. 2000. 85f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000

LOPES, S.J. **Modelos referentes à produção de sementes de alface sob hidroponia**. 2002, 129f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

LOPES, S.J. *et al.* Models to estimate phytomass accumulation of hydroponic lettuce. **Scientia Agricola**. Vol.61, no.4, p.392-400, 2004.

MARODIM, V.S.*et al.* Delineamento experimental e tamanho de amostra para alface cultivada em hidroponia. **Ciência Rural**, v.30, n.5, p.779-781, 2000.

MATTOS, K.M.da C. **Efeito da temperatura do ar das canaletas e da estufa sobre o crescimento da alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico em função do material de cobertura da bancada.** 2000. 113f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

MEDEIROS, L.A.M. *et al.* Crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) conduzida em estufa plástica com fertirrigação em substratos. **Ciência Rural**, v.31, n.2, p.199-204, 2001.

MEYER, B.S. *et al.*; **Introdução à fisiologia vegetal.** 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1983. 710p.

OHSE, S. **Rendimento, composição e teores de nitrato e vitamina C em alface sob hidroponia.** 1999. 103f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

PEREIRA, A.R; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento e desenvolvimento de comunidade vegetal.** Campinas, Instituto Agrônomo, 1987. 33 p. (Boletim Técnico, 114).

PIMENTA, H.; SANTOS, FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Modelo matemático para estimar o acúmulo de matéria seca e prever as épocas do florescimento e do ponto de maturidade fisiológica da cultura de feijão. **Scientia Agricola**, v.56, n.4, p.915-920. 1999.

RADIN, B; REISSER JUNIOR, C; MATZENUER, R. Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. **Horticultura Brasileira**, abr./jun. 2004, vol.22, n.2, p.178-181.

RATKOWSKY, D.A. **Nonlinear regression modeling – A unified practical approach.** New York and Basel: Marcel Dekker, 1983. 276p.

RUMMY, G. Alface atinge limite de excelência. **Revista Frutas e Legumes.** Set-Out., 2000.

RYDER, E.J. **Lettuce, endive and chicory.** California: CABI, 1998. 203p.

SANCHES, C.A. Growth and yield of crisp head lettuce under various shade conditions. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.114, n.6., p.884-890, 1989.

SEGOVIA, J.F.O.; ANDRIOLO, J.L.; BURIOL, G.A.; SCHNEIDER, F.M. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior e no exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.27, n.1, p.37-41, 1997.

SCHIMIDT, D.; SANTOS, O.S. Cultivares de alface. In: SANTOS, O.S. (Ed.). **Hidroponia da alface**. Santa Maria, RS: UFSM, 2000. p.72-79.

SILVA, E.L.; MARTINEZ, L.F.; YITAYEW, M. Relação entre coeficientes de cultura e guas-dia de desenvolvimento da alface. **Horticultura Brasileira**, v.17, n.2, p.134-142, 1999.

STEVENSON, W.J. **Estatística aplicada à administração**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, p.495, 1981.

TERUEL, D.A. **Modelagem do índice de área foliar da cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos**. 1995. 93f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz", Universidade de São Paulo Piracicaba, 1995.

VAN KEULEN, H.; WOLF, J. **Modelling of Agricultural Production, Weather, Soil and Crops**. Wageningen: The Netherlands, 1986, 613p.

VIGGIANO, J. **Produção de sementes de hortaliças**, Jaboticabal, FCAV/FUNEP, p.61-77, 1990.

WURR, D.C.E.; FELLOWS, J.R. The influence of solar radiation and temperature on the head weight of crisp lettuce. **Journal of Horticultural Science**, v. 66, p.183-190, 1991.

WURR, D.C.E. *et al.* The development and evaluation of techniques to predict when to harvest iceberg lettuce heads. **Journal of Horticultural Science**, v. 67, p.385-393, 1992.

ZITO, R.K.; FRONZA, V.; MARINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G & FONTES, P.C.R. Fontes de nutrientes, relações de nitrato: amônio e molibdênio, em alface (*Lactuca sativa* L.) produzida em meio hidropônico. **Revista Ceres**. Viçosa, v.41, n. 236, p. 419-430, 1994.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Caracterização das variáveis climáticas: temperatura máxima (T_{máx.}), mínima (T_{mín.}) e média (T_i) do ar, no interior da casa-de-vegetação, durante o experimento de primavera da cultura de alface no período de 5 de outubro de 2004 a 12 de janeiro de 2005. Santa Maria, RS (latitude 29°41'25"S).

Dia	Data	T _{máx.}	T _{mín.}	T _i
Juliano		°C	°C	°C
279	5/out/04	32	14	23
280	6/out/04	34	13	23,5
281	7/out/04	34	13	23,5
282	8/out/04	38	15	26,5
283	9/out/04	35	14	24,5
284	10/out/04	36	14	25
285	11/out/04	28	12	20
286	12/out/04	31	15	23
287	13/out/04	35	15	25
288	14/out/04	35	23	29
289	15/out/04	39	21	30
290	16/out/04	30	16	23
291	17/out/04	36	14	25
292	18/out/04	34	16	25
293	19/out/04	33	15	24
294	20/out/04	35	17	26
295	21/out/04	34	15	24,5
296	22/out/04	34	14	24
297	23/out/04	33	15	24
298	24/out/04	36	14	25
299	25/out/04	38	15	26,5
300	26/out/04	33	13	23
301	27/out/04	35	11	23
302	28/out/04	37	15	26
303	29/out/04	42	16	29
304	30/out/04	38	19	28,5
305	31/out/04	33	21	27

APÊNDICE A - Caracterização das variáveis climáticas temperatura máxima (Tmáx.), mínima (Tmín.) e média (Ti) no interior da casa-de-vegetação durante o experimento de primavera da cultura de alface no período de 5 de outubro de 2004 a 12 de janeiro de 2005. Santa Maria, RS (latitude 29°41'25"S).

Dia	Data	Tmáx.	Tmín.	Ti
Juliano		°C	°C	°C
306	1/nov/04	36	16	26
307	2/nov/04	34	15	24,5
308	3/nov/04	35	15	25
309	4/nov/04	28	11	19,5
310	5/nov/04	32	14	23
311	6/nov/04	35	16	25,5
312	7/nov/04	36	15	25,5
313	8/nov/04	41	18	29,5
314	9/nov/04	41	20	30,5
315	10/nov/04	34	16	25
316	11/nov/04	32	13	22,5
317	12/nov/04	28	11	19,5
318	13/nov/04	31	11	21
319	14/nov/04	33	14	23,5
320	15/nov/04	34	15	24,5
321	16/nov/04	37	20	28,5
322	17/nov/04	31	11	21
323	18/nov/04	34	16	25
324	19/nov/04	40	15	27,5
325	20/nov/04	41	20	30,5
326	21/nov/04	43	19	31
327	22/nov/04	38	22	30
328	23/nov/04	42	25	33,5
329	24/nov/04	38	21	29,5
330	25/nov/04	39	21	30
331	26/nov/04	37	22	29,5
332	27/nov/04	37	24	30,5
333	28/nov/04	40	25	32,5
334	29/nov/04	46	26	36

APÊNDICE A - Caracterização das variáveis climáticas temperatura máxima (Tmáx.), mínima (Tmín.) e média (Ti) no interior da casa de vegetação durante o experimento de primavera da cultura de alface no período de 5 de outubro de 2004 a 12 de janeiro de 2005. Santa Maria, RS (latitude 29°41'25"S).

Dia	Data	Tmáx.	Tmín.	Ti
Juliano		°C	°C	°C
335	30/nov/04	47	23	35
336	1/dez/04	39	25	32
337	2/dez/04	40	29	34,5
338	3/dez/04	37	27	32
339	4/dez/04	37	28	32,5
340	5/dez/04	35	28	31,5
341	6/dez/04	34	26	30
342	7/dez/04	34	25	29,5
343	8/dez/04	38	22	30
344	9/dez/04	38	23	30,5
345	10/dez/04	39	23	31
346	11/dez/04	45	24	34,5
347	12/dez/04	37	26	31,5
348	13/dez/04	35	24	29,5
349	14/dez/04	40	25	32,5
350	15/dez/04	33	23	28
351	16/dez/04	38	27	32,5
352	17/dez/04	39	25	32
353	18/dez/04	40	22	31
354	19/dez/04	39	25	32
355	20/dez/04	38	25	31,5
356	21/dez/04	39	23	31
357	22/dez/04	37	21	29
358	23/dez/04	40	24	32
359	24/dez/04	39	24	31,5
360	25/dez/04	40	26	33
361	26/dez/04	44	26	35
362	27/dez/04	43	28	35,5
363	28/dez/04	42	27	34,5

APÊNDICE A - Caracterização das variáveis climáticas temperatura máxima (Tmáx.), mínima (Tmín.) e média (Ti) no interior da casa de vegetação durante o experimento de primavera da cultura de alface no período de 5 de outubro de 2004 a 12 de janeiro de 2005. Santa Maria, RS (latitude 29°41'25''S).

Dia	Data	Tmáx.	Tmín.	Ti
Juliano		°C	°C	°C
364	29/dez/04	40	28	34
365	30/dez/04	44	29	36,5
366	31/dez/04	40	30	35
1	1/jan/05	41	28	34,5
2	2/jan/05	42	28	35
3	3/jan/05	44	26	35
4	4/jan/05	45	29	37
5	5/jan/05	46	30	38
6	6/jan/05	46	25	35,5
7	7/jan/05	39	27	33
8	8/jan/05	43	28	35,5
9	9/jan/05	43	28	35,5
10	10/jan/05	39	27	33
11	11/jan/05	43	28	35,5
12	12/jan/05	43	28	35,5

APÊNDICE B - Caracterização das variáveis climáticas temperatura máxima (Tmáx.), mínima (Tmín.) e média (Ti) no interior da casa de vegetação durante o experimento de outono da cultura de alface no período de 15 de março de 2005 a 20 de julho de 2005. Santa Maria, RS (latitude 29°41'25"S).

Dia	Data	Tmáx.	Tmín.	Ti
Juliano		°C	°C	°C
73	15/mar/05	41,2	24	32,6
74	16/mar/05	37,6	24,6	31,1
75	17/mar/05	30,7	24	27,35
76	18/mar/05	34	24,4	29,2
77	19/mar/05	35,6	24,6	30,1
78	20/mar/05	37,4	23,2	30,3
79	21/mar/05	38	23,6	30,8
80	22/mar/05	33,2	22,1	27,65
81	23/mar/05	39	20,5	29,75
82	24/mar/05	43,2	24	33,6
83	25/mar/05	29,6	21,4	25,5
84	26/mar/05	26,4	20,1	23,25
85	27/mar/05	31,4	20,9	26,15
86	28/mar/05	34	20,7	27,35
87	29/mar/05	35,2	23	29,1
88	30/mar/05	36,4	24	30,2
89	31/mar/05	39,4	23	31,2
90	1/abr/05	35,4	25	30,2
91	2/abr/05	30,6	22,7	26,65
92	3/abr/05	27,8	24,8	26,3
93	4/abr/05	33,6	23,8	28,7
94	5/abr/05	31,2	24,8	28
95	6/abr/05	29	20,5	24,75
96	7/abr/05	27,6	13,5	20,55
97	8/abr/05	30	17,7	23,85
98	9/abr/05	37	25,2	31,1
99	10/abr/05	40,8	29,2	35
100	11/abr/05	33,2	25,2	29,2
101	12/abr/05	29,4	23,6	26,5
102	13/abr/05	37	24	30,5

APÊNDICE B - Caracterização das variáveis climáticas temperatura máxima (T_{máx.}), mínima (T_{mín.}) e média (T_i) no interior da casa de vegetação durante o experimento de outono da cultura de alface no período de 15 de março de 2005 a 20 de julho de 2005. Santa Maria, RS (latitude 29°41'25''S).

Dia	Data	T _{máx.}	T _{mín.}	T _i
Juliano		°C	°C	°C
103	14/abr/05	41,6	26,2	33,9
104	15/abr/05	27,4	22,8	25,1
105	16/abr/05	25,2	22,1	23,65
106	17/abr/05	35	24,6	29,8
107	18/abr/05	27,8	20,5	24,15
108	19/abr/05	29,4	19,5	24,45
109	20/abr/05	29,6	15,7	22,65
110	21/abr/05	28,8	16,1	22,45
111	22/abr/05	26,2	21,5	23,85
112	23/abr/05	31	20,7	25,85
113	24/abr/05	30,2	21,3	25,75
114	25/abr/05	30	17,1	23,55
115	26/abr/05	32,8	15,9	24,35
116	27/abr/05	22,4	16,1	19,25
116	28/abr/05	23	15	19
117	29/abr/05	24,4	14,3	19,35
118	30/abr/05	24,6	16,5	20,55
119	1/mai/05	28	14,9	21,45
120	2/mai/05	28,4	16,9	22,65
121	3/mai/05	27,8	16,5	22,15
122	4/mai/05	28,2	13	20,6
123	5/mai/05	30	15,3	22,65
124	6/mai/05	32	17,7	24,85
125	7/mai/05	34,4	19,7	27,05
126	8/mai/05	36,6	20,7	28,65
127	9/mai/05	28,2	23,6	25,9
128	10/mai/05	24,2	21	22,6
129	11/mai/05	25,6	20,3	22,95
130	12/mai/05	24,8	20,4	22,6

APÊNDICE B - Caracterização das variáveis climáticas temperatura máxima (Tmáx.), mínima (Tmín.) e média (Ti) no interior da casa de vegetação durante o experimento de outono da cultura de alface no período de 15 de março de 2005 a 20 de julho de 2005. Santa Maria, RS (latitude 29°41'25"S).

Dia	Data	Tmáx.	Tmín.	Ti
Juliano		°C	°C	°C
131	13/mai/05	32,6	19,7	26,15
132	14/mai/05	31,6	23,8	27,7
133	15/mai/05	25	22,5	23,75
134	16/mai/05	37	22,5	29,75
135	17/mai/05	33,4	23,6	28,5
136	18/mai/05	29,2	23,2	26,2
137	19/mai/05	27,2	22,7	24,95
138	20/mai/05	26	19,7	22,85
139	21/mai/05	26,2	22,7	24,45
140	22/mai/05	30,4	21,9	26,15
141	23/mai/05	27,8	22	24,9
142	24/mai/05	22	13,5	17,75
143	25/mai/05	22,8	10,7	16,75
144	26/mai/05	22,2	9,7	15,95
145	27/mai/05	21	16,6	18,8
146	28/mai/05	22,8	14,1	18,45
147	29/mai/05	24,4	9	16,7
148	30/mai/05	27,2	10,3	18,75
149	31/mai/05	31,6	17,4	24,5
150	1/jun/05	35	21,3	28,15
151	2/jun/05	30	22,6	26,3
152	3/jun/05	29,8	20,5	25,15
153	4/jun/05	32,2	20,7	26,45
154	5/jun/05	34,2	25	29,6
155	6/jun/05	34,8	26,2	30,5
156	7/jun/05	35,6	24,8	30,2
157	8/jun/05	35,4	24,4	29,9
158	9/jun/05	34,2	22	28,1
159	10/jun/05	34,2	21,5	27,85
160	11/jun/05	35,6	21,1	28,35

APÊNDICE B - Caracterização das variáveis climáticas temperatura máxima (Tmáx.), mínima (Tmín.) e média (Ti) no interior da casa de vegetação durante o experimento de outono da cultura de alface no período de 15 de março de 2005 a 20 de julho de 2005. Santa Maria, RS (latitude 29°41'25"S).

Dia	Data	Tmáx.	Tmín.	Ti
Juliano		°C	°C	°C
161	12/jun/05	29,6	22,1	25,85
162	13/jun/05	25,2	10,7	17,95
163	14/jun/05	29,8	23,6	26,7
164	15/jun/05	27	22,5	24,75
165	16/jun/05	25	21,4	23,2
166	17/jun/05	22	20,2	21,1
167	18/jun/05	24,6	20,7	22,65
168	19/jun/05	25,8	20,1	22,95
169	20/jun/05	26	22,6	24,3
170	21/jun/05	27,4	20,1	23,75
171	22/jun/05	23	18,6	20,8
172	23/jun/05	19	11,7	15,35
173	24/jun/05	18,6	8,3	13,45
174	25/jun/05	21,2	9,3	15,25
175	26/jun/05	24,4	13,5	18,95
176	27/jun/05	21,6	14,7	18,15
177	28/jun/05	19	14,9	16,95
178	29/jun/05	24,8	18,7	21,75
179	30/jun/05	30,4	20,5	25,45
180	1/jul/05	31,4	21	26,2
181	2/jul/05	27,8	21,1	24,45
182	3/jul/05	29	19,5	24,25
183	4/jul/05	34,6	21,1	27,85
184	5/jul/05	34,8	27,8	31,3
185	6/jul/05	31,6	24,4	28
186	7/jul/05	25	17,4	21,2
187	8/jul/05	18	9,9	13,95
188	9/jul/05	17	8,3	12,65
189	10/jul/05	21	10	15,5
190	11/jul/05	24,4	9,9	17,15

APÊNDICE B - Caracterização das variáveis climáticas temperatura máxima (Tmáx.), mínima (Tmín.) e média (Ti) no interior da casa de vegetação durante o experimento de outono da cultura de alface no período de 15 de março de 2005 a 20 de julho de 2005. Santa Maria, RS (latitude 29°41'25"S).

Dia	Data	Tmáx.	Tmín.	Ti
Juliano		°C	°C	°C
191	12/jul/05	26,6	12,5	19,55
192	13/jul/05	27,8	15,1	21,45
193	14/jul/05	27,6	12,9	20,25
194	15/jul/05	28,4	12,7	20,55
195	16/jul/05	32	15,9	23,95
196	17/jul/05	31	23,2	27,1
197	18/jul/05	28,4	23,5	25,95
198	19/jul/05	27,4	18,8	23,1
199	20/jul/05	18,8	15,2	17